

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра Промышленная электроника
(наименование)

11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Автоматизированный стеллаж для гидропоники»

Обучающийся

Д. М. Явкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д. А. Яковлев

(ученая степень (при наличии), звание (при наличии), Инициалы
Фамилия)

Тольятти 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	4
Введение.....	5
1 Состояние вопроса	8
1.1 Показатели обеспеченности ООО «Фазенда» трудовыми ресурсами.....	8
1.2 Характеристика тракторного парка и машин.....	10
1.3 Электрическая часть	13
1.4 Обзор технологий, для обеспечения микроклимата	15
1.5 Оборудования для микроклимата	20
1.6 Характеристика существующего тепличного хозяйства ООО «Фазенда» и обоснование дипломного проекта.....	26
2 Расчетная часть.....	28
2.1 Теплофизический расчет теплицы	28
2.1.1 Назначение теплофизического расчета	28
2.1.2 Этапы теплофизического расчета	28
2.1.4 Расчетная схема теплообмена в пленочной теплице.....	31
2.1.5 Физико-математическая модель формирования энергетического режима.....	31
2.1.6 Выражение тепловых потоков.....	33
2.1.7 Расчет суммарных тепловых потерь	37
2.1.8 Расчет тепловой мощности оборудования пленочной теплицы	38
2.2 Модель формирования энергетического режима в теплице.....	43
2.2.1 Уравнение теплового баланса для рабочей зоны I	45
2.2.2 Уравнение теплового баланса для рабочей зоны II.....	45
2.2.3 Уравнение теплового баланса для поверхности почвы	45
2.2.4 Уравнение, теплового баланса.....	46
2.3 Управление системы электротермического оборудования	47
3 Организационно-технологическая часть	49
3.1 Пути усовершенствования конструкции теплицы	49
3.2 Расчет тягового электромагнита электропривода форточек.....	50
3.3 Расчет пружины электромагнита	51
3.4 Приточно-вытяжные установки	56

3.5 Расчеты системы полива	57
4 Безопасность жизнедеятельности.....	60
4.1 Безопасность жизнедеятельности в электрификации	60
4.2 Состояние охраны труда на предприятии	60
4.3 Обстоятельства и причины травматизма.....	62
4.4 Мероприятия по предупреждению травматизма.....	63
4.5 Мероприятия по предупреждению заболеваний	65
4.6 Противопожарные мероприятия	67
4.7 Мероприятия по улучшению условий труда.....	68
4.8 Экологичность проекта	69
4.8.1 Описание экологически вредных факторов производства	69
4.8.2 Мероприятия по обеспечению экологически чистого производства ..	69
4.9 Заземление	70
Заключение	76
Список используемых источников.....	78

Аннотация

Работа выполнена на тему - Автоматизированный стеллаж для гидропоники. Руководитель – Яковлев Дмитрий Алексеевич, преподаватель кафедры «Промышленная электроника».

Расчетно-пояснительная записка выпускной квалификационной работы (ВКР) содержит: введение, четыре раздела, заключение, список используемой литературы и приложение.

Выпускная квалификационная работа включает расчетно-пояснительная записку, представленную на 82 страницах машинописного текста формата А4 содержащую рисунки 10 шт., таблицы 5 шт., и формулы. Графическая часть представлена на 8 листах формата А1.

Цель ВКР: разработать систему управления микроклиматом в теплице

В первом разделе представлено обоснование проекта.

Во втором разделе рассматривается технология и электрооборудование для обеспечения микроклимата в теплице. Устройство и расчет электрообогрева почвы в теплице. Выполнен расчет питающей сети.

В третьем разделе представлены методы совершенствования конструкции теплицы, выбор системы вентиляции, расчет системы отопления теплицы. Расчет заземляющего устройства.

В четвертом разделе ВКР рассмотрена система безопасности работ

Введение

Множество сельскохозяйственных культур успешно выращивается в защищённом грунте, оборудованном системами для поддержания оптимального микроклимата. Такие условия способствуют стабильному росту растений независимо от внешних погодных факторов.

Теплицы используются преимущественно для выращивания рассады овощей, саженцев и других растений. В современном сельском хозяйстве предпочтение отдается конструкциям с низкими энергозатратами, что позволяет снизить эксплуатационные расходы и повысить эффективность производства.

Ребристые радиаторы с термостатами зарекомендовали себя как долговечные и надёжные устройства. Они обеспечивают равномерное распределение тепла по всей длине, поддерживая стабильную температуру внутри теплицы. В помещениях, где поддерживается температура выше 10°C, важно предусмотреть снижение нагрева в ночное время. Это помогает избежать перегрева и экономить энергию, независимо от мощности обогревательного оборудования.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности сельскохозяйственного производства в условиях изменяющегося климата и ограниченных природных ресурсов. В последние годы в Российской Федерации особое внимание уделяется вопросам развития тепличного хозяйства как одному из важнейших направлений в аграрном секторе. Теплицы обеспечивают возможность круглогодичного выращивания сельскохозяйственных культур, что особенно актуально для регионов с суровыми климатическими условиями. Однако одной из ключевых проблем в этой области остаются значительные затраты на энергоресурсы, что снижает экономическую эффективность тепличного производства. В связи с этим возникает необходимость разработки новых технологий, направленных на снижение энергозатрат, внедрение систем автоматизации и использования

альтернативных источников энергии.

Для теплиц подойдет и водяное отопление, работающее от электричества и обогрев с помощью электрокалориферов.

Высокие расходы на традиционные энергоресурсы часто становятся серьёзным препятствием для тепличного хозяйства. Например, использование стандартных обогревателей может значительно увеличить затраты на электроэнергию, особенно в холодные месяцы. В некоторых регионах доля расходов на отопление достигает до 70% от общих затрат теплицы. Фермеры вынуждены искать альтернативные источники энергии или внедрять более эффективные системы управления микроклиматом. Применение солнечных коллекторов или тепловых насосов помогает снизить потребление электроэнергии, делая производство более экономичным и устойчивым.

Объектом исследования является тепличное хозяйство ООО «Фазенда», функционирующее в условиях умеренно-континентального климата, где проблема энергозатрат стоит особенно остро.

Предметом исследования выступают современные технологии электрификации и автоматизации тепличных сооружений, а также проектирование новой конструкции теплицы с углубленным основанием для оптимизации микроклимата и снижения энергозатрат.

Методы исследования включают анализ хозяйственной деятельности предприятия, сравнительный анализ существующих технологий микроклимата в теплицах, математическое моделирование тепловых процессов, а также расчет теплофизических характеристик и энергоэффективности тепличных сооружений. Применяются методы экономического анализа для обоснования рентабельности предлагаемого проекта.

Информационной базой исследования являются нормативно-правовые акты Российской Федерации, регулирующие вопросы энергоснабжения и сельскохозяйственного производства, данные бухгалтерской отчетности ООО «Фазенда», научные публикации по теме проектирования и эксплуатации

тепличных сооружений, а также материалы, предоставленные предприятием.

Задачи исследования:

- Провести анализ хозяйственной деятельности ООО «Фазенда» и оценить текущие показатели эффективности тепличного производства.
- Исследовать существующие технологии обеспечения микроклимата в теплицах, определить их сильные и слабые стороны.
- Разработать и обосновать конструкцию теплицы с углубленным основанием, направленную на снижение энергозатрат.
- Выполнить теплофизический расчет теплицы и оценить экономическую эффективность предложенных технологий.
- Разработать меры по улучшению экологической чистоты и безопасности производства.

Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности сельскохозяйственного производства в условиях различных климатических регионов России, а также для разработки нормативных рекомендаций по оптимизации тепличного хозяйства в масштабах страны.

1 Состояние вопроса

1.1 Показатели обеспеченности ООО «Фазенда» трудовыми ресурсами

Труд является основой производства материальных благ. Эффективное использование рабочей силы существенно повышает продуктивность в сельском хозяйстве. Например, внедрение современных технологий и механизации позволяет фермерам увеличить урожайность и сократить время на выполнение рутинных задач. В Израиле, где агротехнологии развиты на высоком уровне, фермы достигают значительно большей эффективности благодаря автоматизированным системам управления. Такие подходы не только улучшают результаты, но и способствуют устойчивому развитию сельскохозяйственного сектора.

В течение трёх лет наблюдается заметный рост общего числа сотрудников, увеличившись с 61 до 88 человек. В 2024 году численность рабочих достигла наибольшего показателя, что свидетельствует о расширении деятельности предприятия.

Доля работников, задействованных в сельскохозяйственном производстве, несколько снизилась с 83,6% в 2023 году до 75% в 2024 году, несмотря на абсолютный рост с 51 до 66 человек. Это может указывать на диверсификацию направлений работы или расширение других подразделений.

Постоянные рабочие составляли более половины сотрудников на протяжении всех трёх лет, однако их процент постепенно уменьшался с 62,2% до 53,4%. Такой тренд может отражать переход к гибким формам занятости или необходимость адаптации к изменяющимся производственным требованиям.

Число служащих осталось стабильным в категории руководителей, увеличившись лишь с 5 до 7 человек за три года. Специалисты, напротив, показали значительный рост с 7 до 13 человек, что может свидетельствовать о

внедрении новых технологий или усложнении производственных процессов, требующих более квалифицированных кадров.

Численность работающих в ООО «Фазенда» характеризуется данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Численность работающих в ООО «Фазенда»

Показатели	По годам					
	2022		2023		2024	
	чел	%	чел	%	чел	%
Рабочих всего, в т. ч.:	61	100	63	100	88	100
1. Работников, занятых в с/х производстве, из них:	49	80,3	51	83,6	66	75
а) Рабочие постоянные	36	59,3	38	62,2	47	53,4
б) Служащие, из них:	13	21,3	13	21,3	19	21,5
-Руководители	5	8,1	5	8,1	7	7,9
-Специалисты	7	11,4	7	11,4	13	14,7
2. Работники, занятые в подсобных промышленных предприятиях	10	16,3	10	16,3	10	11,3
3. Работники торговли и общественного питания	2	3	2	3	2	3

Работники подсобных промышленных предприятий оставались неизменными по численности, однако их доля снизилась с 16,3% до 11,3% в 2024 году. Это может отражать оптимизацию производственных процессов или сокращение зависимых подразделений.

Сотрудники торговли и общественного питания стабильно составляли 3% от общего числа работников, что указывает на постоянную потребность в этих функциях независимо от роста предприятия.

Общий анализ показывает, что предприятие растёт и расширяет свою деятельность, однако одновременно происходит изменение структуры занятости, с акцентом на увеличение числа специалистов и сокращение доли постоянных рабочих и сотрудников подсобных подразделений. Такие

изменения могут способствовать повышению эффективности и адаптивности к современным требованиям рынка.

1.2 Характеристика тракторного парка и машин

Тракторный парк в ООО «Фазенда» представлен в таблице 2

Таблица 2 – Состав тракторного парка

№	Марка	Количество				
		2020	2021	2022	2023	2024
1	ДТ-75	6	8	8	7	7
2	T-25	5	4	4	3	3
3	T-70	1	1	1	1	1
4	T-150	3	3	2	2	2
5	MTЗ-80	5	7	7	7	7
6	MTЗ-82	9	7	8	9	9
7	MTЗ-952	1	2	2	2	2
8	ЮМЗ	1	1	1	1	1

Анализ состава тракторного парка с 2020 по 2024 год демонстрирует постепенное увеличение общего числа техники с 31 до 33 единиц. Основные изменения затрагивают распределение различных моделей, что отражает стремление оптимизировать производственные процессы.

Модель ДТ-75 показала рост с 6 единиц в 2020 году до 8 в 2021, после чего снизилась до 7 в 2023 году и осталась стабильной в 2024. Это может свидетельствовать о корректировке потребностей в мощности и функциональности техники. Снижение числа тракторов T-25 с 5 до 3 единиц за рассматриваемый период указывает на переход к более современным или эффективным моделям.

Тракторы T-150 уменьшились с 3 до 2 единиц, что, возможно, связано с их заменой на более продвинутые аналоги или сокращением потребности в этой

мощности. Напротив, количество МТЗ-80 выросло с 5 до 7 единиц и сохранилось на этом уровне, что говорит о стабильном спросе на данную модель благодаря её надежности и универсальности.

МТЗ-82 продемонстрировала нестабильный рост: с 9 единиц в 2020 году снизилась до 7 в 2021, затем увеличилась до 9 к 2024 году. Такая динамика может отражать адаптацию к различным рабочим нагрузкам и условиям эксплуатации. МТЗ-952 увеличилась с 1 до 2 единиц и сохранилась на этом уровне, что, вероятно, связано с внедрением специализированных задач, требующих данной модели.

ЮМЗ оставалась неизменной с одной единицей на протяжении всех пяти лет, что указывает на постоянную, но не расширяющуюся роль этой модели в парке.

За период с 2020 по 2024 год парк сельскохозяйственных машин ООО «Фазенда» претерпел значительные изменения, отражающие рост и модернизацию хозяйства. В 2023 и 2024 годах наблюдается расширение ассортимента техники, что свидетельствует о стремлении к повышению эффективности производственных процессов.

Таблица 3 – Состав парка сельскохозяйственных машин ООО «Фазенда»

№	Наименование и марка машины	Количество				
		2020	2021	2022	2023	2024
1	ПЛУГИ					
	ПЛН-4-35				3	3
	ПЛН-5-35				2	2
2	КУЛЬТИВАТОРЫ					
	КРН-5,6				6	6

Продолжение таблицы 3

КСН-4					3	3
3	БОРОНЫ					
	ЗБП-0,6				6	6
	БДТ-70				3	3
4	ЛУЩИЛЬНИКИ					
ЛДГ-10					2	2
ОПРЫСКИВАТЕЛИ						
ПОМ-630-1					1	1
ОП-2001					1	1
ОВ-2001					1	1

В целом, изменения в составе тракторного парка демонстрируют стремление к балансировке между разнообразием моделей и оптимизацией их количества. Такие корректировки позволяют более эффективно использовать ресурсы, адаптироваться к изменяющимся условиям производства и поддерживать высокую производительность хозяйства.

Плуги стали более разнообразными: введены модели PLN-4-35 и PLN-5-35, их количество стабильно держится на уровне 3 и 2 единиц соответственно. Это позволяет более гибко подходить к обработке различных типов почв и объемов работ, что особенно важно при расширении посевных площадей.

Культиваторы также получили обновление. Модели КРН-5,6 увеличились до 6 единиц, а добавлена модель КСН-4 с 3 машинами. Такое разнообразие обеспечивает более эффективное рыхление и подготовку почвы, снижая время на обработку и повышая качество посевов [17].

В разделе борон увеличено количество машин: модели ЗБП-0,6 остаются на уровне 6 единиц, а добавлены 3 единицы модели БДТ-70. Это позволяет более точно контролировать состояние почвы и предотвращать эрозию, что важно для сохранения плодородия земли.

Лушительники представлены двумя единицами модели ЛДГ-10, что обеспечивает эффективную обработку урожая, снижая потери и повышая качество продукции.

Опрыскиватели включают по одной единице моделей ПОМ-630-1, ОП-2001 и ОВ-2001. Наличие нескольких моделей позволяет выбирать наиболее подходящие устройства для различных типов культур и условий эксплуатации, что способствует более точному и экономичному использованию средств защиты растений.

Общее увеличение ассортимента и количества сельскохозяйственной техники указывает на расширение производственных мощностей ООО «Фазенда». Внедрение новых моделей техники способствует оптимизации рабочих процессов, снижению затрат времени и ресурсов, а также повышению урожайности. Например, наличие нескольких моделей культиваторов позволяет выбирать наиболее эффективные инструменты в зависимости от конкретных условий работы, что напрямую влияет на качество подготовки почвы и, как следствие, на рост растений.

Такие изменения также отражают стремление компании к внедрению современных технологий и повышению квалификации персонала, что является ключевым фактором в конкурентоспособности на рынке сельскохозяйственной продукции. Инвестирование в разнообразную технику позволяет ООО «Фазенда» адаптироваться к меняющимся условиям рынка и эффективно реагировать на вызовы, связанные с климатическими изменениями и требованиями к качеству продукции.

1.3 Электрическая часть

Электрическая часть в ООО «Фазенда» представлен в таблице 4

Таблица 4 – Электрическая часть

№	Наименование	Количество				
		2020	2021	2022	2023	2024
1	Комплексная трансформаторная подстанция РУ-10/0,4кВт	1	1	1	1	1
2	Оросительный насос АБТ-4	4	4	5	5	5
3	Погружной электронасос БЦМ	1	1	1	1	1
4	Сварочный трансформатор ТДС-305	1	2	2	2	2

За период с 2020 по 2024 год электрическая часть хозяйства ООО «Фазенда» претерпела незначительные, но значимые изменения, отражающие адаптацию инфраструктуры к растущим потребностям предприятия.

Комплексная трансформаторная подстанция РУ-10/0,4 кВт остаётся неизменной на протяжении всех пяти лет. Это стабильное количество указывает на достаточную мощность для обеспечения электричеством всего хозяйства, без необходимости расширения электроснабжения. Такой подход обеспечивает надежную работу оборудования и минимизирует риски перебоев в электроснабжении.

Оросительные насосы АБТ-4 увеличились с 4 единиц в 2020 году до 5 в 2022 году, сохраняясь на этом уровне до 2024 года. Этот рост может свидетельствовать о расширении ирригационных систем или повышении интенсивности орошения сельскохозяйственных культур. Дополнительный насос позволяет более эффективно распределять воду, особенно в периоды повышенной засушливости, что напрямую влияет на урожайность и качество выращиваемых растений [21].

Погружной электронасос БЦМ также остаётся стабильным с одной единицей на протяжении всего периода. Это оборудование, вероятно, используется для обеспечения постоянного водоснабжения или других специфических нужд хозяйства. Поддержание стабильного количества

насосов указывает на адекватное удовлетворение текущих потребностей без избыточных затрат.

Сварочные трансформаторы ТДС-305 увеличились с одной единицы в 2020 году до двух в 2021 году и сохраняются на этом уровне до 2024 года. Увеличение количества сварочных трансформаторов может быть связано с расширением ремонтных и технических работ на предприятии. Наличие второго трансформатора позволяет проводить ремонтные работы более оперативно и эффективно, снижая время простоя оборудования и повышая общую производительность.

Общее изменение электрической части свидетельствует о продуманном подходе к модернизации и поддержке инфраструктуры предприятия. Увеличение количества оросительных насосов и сварочных трансформаторов отражает стремление к повышению эффективности и надежности производственных процессов. При этом стабильность в количестве трансформаторной подстанции и погружных насосов демонстрирует баланс между расширением и поддержанием существующих систем.

Например, добавление дополнительного оросительного насоса позволяет ООО «Фазенда» лучше контролировать водоснабжение, что особенно важно в условиях изменяющегося климата и нестабильных погодных условий. Это, в свою очередь, способствует устойчивости сельскохозяйственного производства и снижению рисков, связанных с недостатком воды.

Таким образом, изменения в электрической части хозяйства отражают стратегическое планирование и адаптацию к растущим требованиям производства, обеспечивая стабильную и эффективную работу предприятия.

1.4 Обзор технологий, для обеспечения микроклимата

Снижение колебаний температуры за счёт правильной установки

изоляции уменьшает потребление топлива и электроэнергии, будь то нефть или возобновляемые источники энергии. Минимизация использования ресурсов выгодна для финансовых показателей, урожайности растений и осведомлённости о ресурсах. Какие ещё способы могут использовать микроклиматы для создания среды, требующей меньше ресурсов?

Антиконденсационная фольга - один из таких способов. Она удерживает тепло, что особенно важно в суровые зимние месяцы, когда растения растут. Цветы меньше испытывают напряжение при питании корней, когда тепло доступно в большем объёме. Кроме того, владельцы теплиц уменьшают нагрузку на генераторы, поддерживая сбалансированную температуру. Примеры из практики показывают возможную экономию газа до пяти кубических метров еженедельно на участке площадью 28 000 квадратных метров.

Аэрационные полы - ещё одна возможность. Подповерхностные системы транспортируют нагретый и охлаждённый воздух, одновременно регулируя влажность до требуемых уровней. Теплицы могут подключать такие системы к когенерационным установкам или тепловым насосам, делая традиционные котлы и пропановое оборудование устаревшими и создавая более благоприятные экологические условия.

Регулирование температур улучшается благодаря сбору данных и периферийным устройствам автоматизации. Умные агротехнологии предоставляют комплексные решения для повышения видимости климата в отношении здоровья растений.

Алгоритмы, датчики и даже искусственный интеллект отслеживают температуру, влажность и вентиляцию, а также их влияние на состояние почвы и плотность углерода. Современные исследования доказывают, что такие подходы, как цифровые двойники и обучение с подкреплением, приводят к улучшению выращивания огурцов благодаря автономному обслуживанию.

Жители Гавайев рассматривают умные теплицы как способ вернуть сельскому хозяйству долю в ВВП в 0,4%, приближая её к уровню 1950-х годов.

Робототехника, дроны и другие технологии помогают контролировать климат, автоматизируя освещение, контролируя водоснабжение и снижая влияние человека и ошибки на микроклимат.

Производители даже переходят на механическое охлаждение, чтобы избежать роста цен на газ. Новые техники могут быть более эффективными для контроля микроклимата, чем устаревшие методы управления.

Спектральное остекление блокирует инфракрасные волны и изменяет другие формы света для улучшения фотосинтеза. Гибридные теплицы используют положительное и отрицательное давление с такими техниками, как рециркуляция, для более стабильных условий воздуха. Тепловые насосы перемещают горячий воздух по теплице туда, где он наиболее необходим. Силикагель регулирует температуры, поглощая влажный воздух. Прямое движение воздуха к крона противопоставляет традиционным методам с потолочными вентиляторами, размещая воздуховоды под высокими растениями для выпуска задержанной влажности.

Скептицизм растёт при мысли о том, что технологии будут больше вмешиваться в уход за растениями, чем люди, но это может принести пользу урожаю. Многие растения устойчивы и адаптируемы, они растут в большем количестве условий, чем предполагают плантариусы. Предложения по микроменеджменту воспринимаются как капризный контроль температуры, тогда как более глубокое понимание своих культур является лучшим способом управления успешным микроклиматом.

Слишком активное вмешательство предоставляет больше возможностей для возникновения проблем с безопасностью пищи и распространения болезней, что оказывает побочные эффекты на контроль влажности и температуры, влияя на развитие растений. Вы можете использовать методы без зажимов, увеличивать пространство для растений для роста и минимизировать обрезку, поддерживая рост через оптимизированный фотосинтез.

Контроль температуры в теплицах и других садоводческих средах

требует внимания к нескольким показателям и инструментам. От влажности до изоляции - достижение идеального баланса является искусством. Постарайтесь заинтересоваться факторами, влияющими на комфорт и рост растений, и экспериментируйте, пока не станете экспертом в надзоре за микроклиматом.

Исследование, опубликованное в журнале HortTechnology, представило новую технологию, которая улучшила климат в теплицах, снижая солнечное тепловое излучение и температуры в жаркий летний сезон. Исследование, проведённое командой канадских учёных, стало первым изучением влияния применения технологии жидкой пены в качестве метода затенения. Результаты показали, что технология улучшила климат в теплице и микроклимат растений, а также снизила температуру воздуха более эффективно, чем традиционные затеняющие занавеси, обычно используемые тепличными производителями.

Избыточная температура, солнечное излучение и высокий дефицит парциального давления пара являются основными проблемами для теплиц в летний сезон. Эти экстремальные условия увеличивают стресс у растений и снижают продуктивность урожая и качество фруктов. Для предотвращения теплового стресса у растений в течение дня используются такие методы, как охлаждающие подушки и системы орошения, а также различные затеняющие техники, которые часто применяются производителями для уменьшения солнечного излучения и снижения температуры воздуха и листьев. Затеняющие ткани уменьшают количество солнечной энергии, проникающей в теплицу, и, следовательно, понижают температуру воздуха, частично блокируя тепловую часть солнечного излучения, однако эта поступающая энергия обычно содержит более 50% тепла (инфракрасного излучения), которое не полезно для роста растений летом.

Компания Sunarc of Canada, Inc. разработала инновационную новую затеняющую технологию, которая генерирует втягиваемую жидкую пену и распределяет её между двумя слоями полиэтиленовой пленки, используемой в

качестве покрытия для теплиц. Команда канадских исследователей поставила целью определить влияние различных стратегий затенения с использованием технологии жидкой пены на климат в теплице и микроклимат растений. Исследование проводилось в течение двух лет в двух разных регионах Канады, где экспериментальные теплицы были оснащены новой технологией. Для эксперимента использовались томаты и сладкий перец с двумя стратегиями затенения: традиционные неподвижные затеняющие занавеси по сравнению с системой затенения жидкой пеной, основанной только на внешнем глобальном солнечном излучении, и применения затеняющей пены, основанные как на внешнем глобальном солнечном излучении, так и на температуре воздуха в теплице. Команда собирала данные о микроклимате теплицы (глобальное солнечное излучение, температура воздуха и относительная влажность), микроклимате кроны (температура листьев и нижних плодов) и вентиляции (открытие/закрытие).

«Система автоматического управления поддерживает заданные параметры микроклимата в теплице, что снижает затраты на обогрев и создает оптимальные условия для выращивания разнообразных овощных культур. Точный контроль температуры воздуха, обогрева, освещения и циркуляции воздуха позволяет эффективно использовать ресурсы и повышать урожайность». [41]

Например, уменьшение расхода теплоты на обогрев теплиц способствует экономии энергии и улучшению условий для роста растений.

«Портативный измеритель температуры ИВТМ-7 играет важную роль в этом процессе, обеспечивая точные измерения температуры и других характеристик воздуха. Этот прибор обеспечивает высокую точность измерений температуры и других характеристик воздуха, что необходимо для своевременной регулировки систем управления. Оснащённый пленочным терморезистором из никеля, ИВТМ-7 преобразует емкость датчика влажности и сопротивление датчика температуры в частотный сигнал, который обрабатывается микроконтроллером». [18]

Такая конструкция гарантирует надёжные данные, что критически важно для поддержания оптимальных условий роста растений.

В эксплуатации ИВТМ-7 доказала свою эффективность: в одной из теплиц, оборудованных данной системой, удалось увеличить урожайность томатов на 20% по сравнению с предыдущим сезоном. Точный мониторинг и оперативная корректировка параметров микроклимата позволили избежать перегрева и сохранить оптимальную влажность воздуха, что благоприятно сказалось на здоровье растений и качестве урожая. Работники теплицы могут легко перемещать прибор между различными участками, обеспечивая комплексный контроль за микроклиматом в разных зонах теплицы. Это позволяет быстро реагировать на изменения внешних условий и внутренние потребности растений, что особенно важно в условиях нестабильной погоды.

Интеграция системы автоматического управления микроклиматом с такими устройствами, как ИВТМ-7, способствует не только снижению затрат и повышению эффективности использования ресурсов, но и улучшению условий для выращивания растений. Это решение активно применяется на современных тепличных хозяйствах, подтверждая свою значимость и эффективность в практической агротехнике.

1.5 Оборудование для микроклимата

Компания внедрила оборудование, разработанное московским головным конструкторским бюро, для автоматизации микроклимата в теплицах площадью до 1500 м².

«Система автоматически поддерживает оптимальные условия: при снижении температуры активируется дополнительный обогрев, а при её повышении усиливается естественная вентиляция через форточки. Влажность контролируется с помощью периодического распыления воды, что обеспечивает стабильный рост растений независимо от внешних погодных условий . В состав системы входят несколько ключевых компонентов.

Датчики температуры ТК-6 с регулируемой магнитной головкой разделены на дневные и ночные, а также предусмотрен аварийный датчик для оповещения о резком падении температуры. Каждый термометр из пары устанавливается на верхний и нижний пределы заданного температурного диапазона» [22]. При изменении температуры датчики отправляют сигнал, что приводит к включению калориферов и открытию электромагнитных вентилей. Это обеспечивает точное и своевременное регулирование тепла, предотвращая перегрев или переохлаждение теплицы.

Например, в холодные ночи система автоматически включает обогреватели, поддерживая необходимую температуру для растений, что снижает риск заморозков и потери урожая. В жаркие дни усиленная вентиляция предотвращает перегрев, что способствует сохранению качества и продуктивности культур. Такой подход не только улучшает условия для растений, но и оптимизирует расход энергии, делая тепличное хозяйство более экономичным и устойчивым.

Кроме того, использование портативного измерителя температуры ИВТМ-7 позволяет оперативно контролировать климатические параметры внутри теплицы. Этот прибор, оснащённый пленочным терморезистором из никеля, точно измеряет температуру и влажность, преобразуя эти данные для обработки микроконтроллером. Это обеспечивает высокую точность и надёжность измерений, что критично для поддержания стабильного микроклимата и достижения высоких показателей урожайности.

Внедрение автоматической системы управления микроклиматом демонстрирует стремление компании к использованию современных технологий для повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Такой комплексный подход позволяет не только улучшить условия выращивания, но и существенно сократить эксплуатационные расходы, делая хозяйство более конкурентоспособным на рынке.

Трубопроводы, изготовленные из пластика, подвешены под крышей теплицы на специальных растяжках и образуют три параллельные линии,

находящиеся на высоте около 3–3,5 метров. На каждом трубопроводе с шагом в 3 метра установлены капроновые распылители, имеющие две маленькие соосные форсунки диаметром 0,4 мм. При подаче воды под давлением через форсунки струи сталкиваются, распыляя влагу в виде мельчайших капель и создавая «веер» увлажнения радиусом до 2 метров. Благодаря шахматному порядку установки распылителей, увлажнение равномерно охватывает всю площадь теплицы.

«Для сбора излишней влаги и капель, образующихся на трубопроводах, под ними установлены желоба, направляющие воду в канализацию. Это решение позволяет не допустить чрезмерного увлажнения и сохранить стабильный уровень влажности в рабочей зоне теплицы» [32].

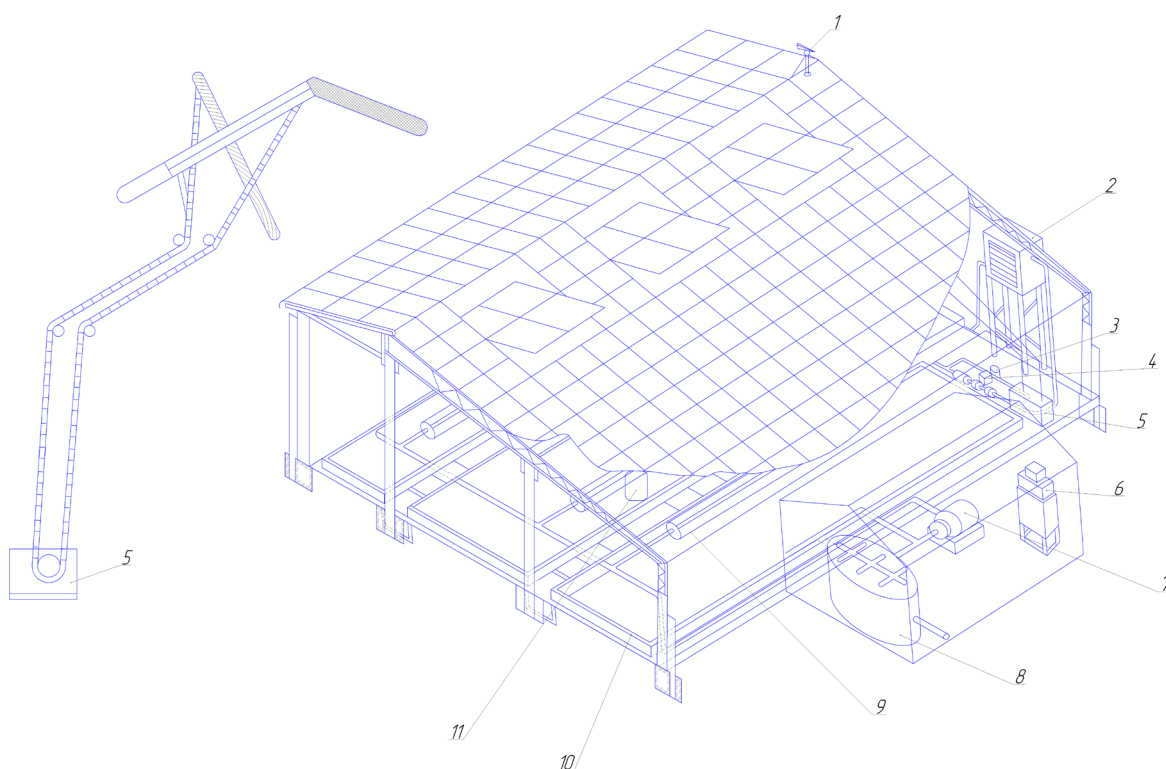
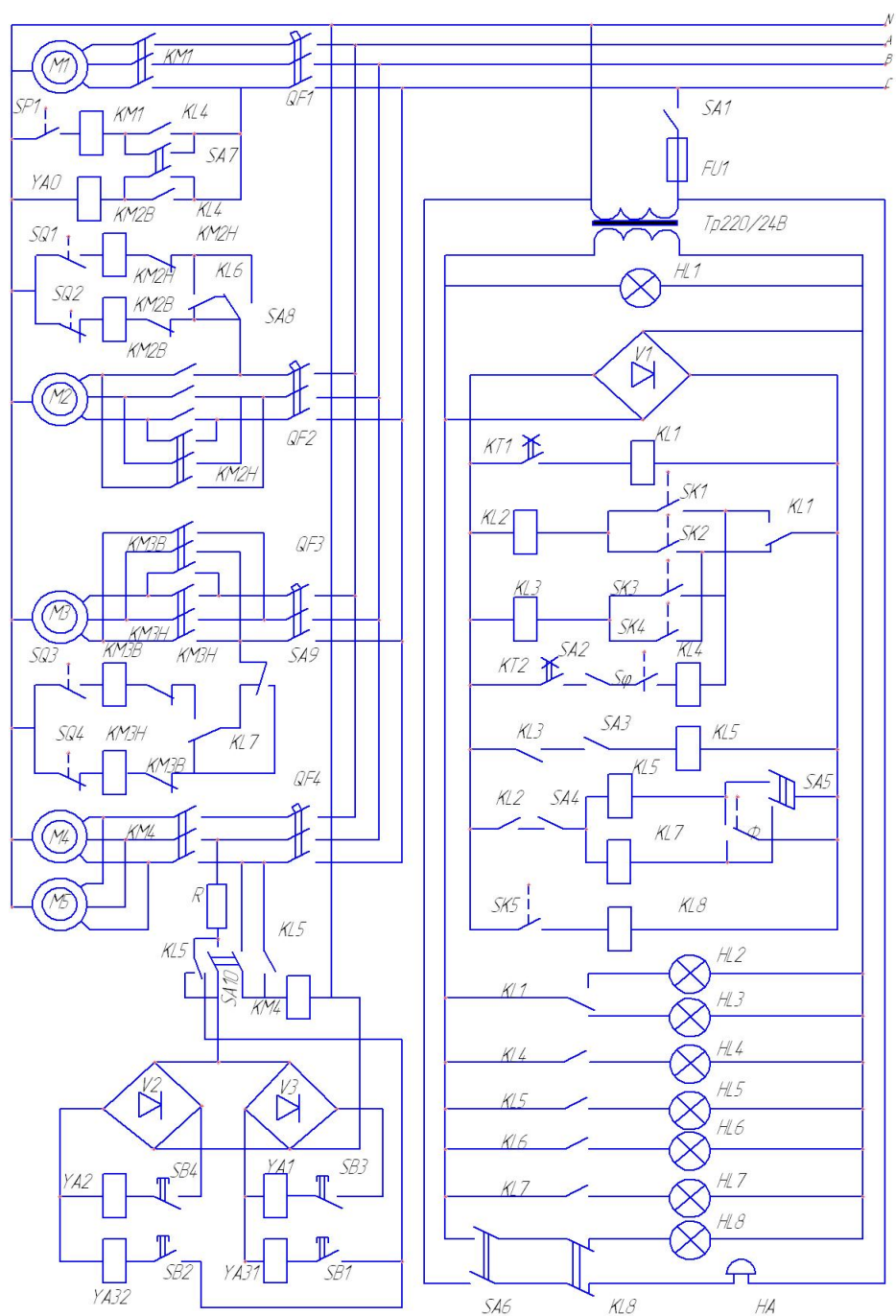


Рис. 1.1 Схемы оборудования теплицы:

1 - электроконтактный флюгер; 2 - калорифер; 3 - ручной вентиль; 4 - электромагнитный вентиль; 5 - привод открывания форточек; 6 - шкаф управления; 7 - насос; 8 - водоподогреватель; 9 - желоб; 10 - распылители воды; 11 - шкаф с датчиками.



8

Рис. 1.2 Управление оборудованием микроклимата теплицы (схема электрическая функциональная)

Насосная станция, обеспечивающая подачу теплой воды к распылителям под постоянным давлением, включает бак подогревателя марки 8 и центробежный насос модели 7 типа 2КМ-6 с электродвигателем. «Для поддержания уровня воды в баке используется поплавковый клапан, а температура воды контролируется автоматическим регулятором прямого

действия типа РТ, установленным на входном патрубке змеевика. Этот змеевик отвечает за равномерное распределение подогретой воды по системе, что гарантирует стабильное функционирование распылителей даже при изменении температурных условий».

«Для управления открытием форточек с подветренной стороны применяется электроконтактный флюгер марки 1, установленный на крыше теплицы. Когда ветер дует в определенном направлении, кулачок вращающейся части флюгера активирует микропереключатель, замыкая цепь и включая вентиляцию соответствующей стороны. В шкафу управления установлен выключатель SA5, который позволяет блокировать контакты флюгера и включать вентиляцию одновременно с обеих сторон теплицы. Это обеспечивает гибкость в управлении системой вентиляции в зависимости от погодных условий» [28].

Шкаф управления размещен в помещении, находящемся вне теплицы, где отсутствуют факторы, способные негативно повлиять на работу электрооборудования. Такое расположение защищает компоненты системы от экстремальных температур и влажности, обеспечивая надежную работу оборудования на протяжении всего сезона выращивания [4].

Например, в периоды сильного ветра система автоматически регулирует вентиляцию, предотвращая перегрев теплицы и сохраняя оптимальные условия для роста растений. В жаркие дни усиленная вентиляция способствует снижению температуры внутри теплицы, что важно для предотвращения теплового стресса у овощных культур. В холодные ночи автоматическое включение обогрева помогает поддерживать необходимую температуру, снижая риск повреждения растений морозом.

Работа системы климат-контроля в теплице организована с помощью программного реле времени 2PBM, позволяющего задавать два режима с выдержками от 0,5 до 3 минут. Реле 2PBM оснащено диском настройки, который имеет резьбовые отверстия для штифтов, размещенных в два ряда - один для дневного, другой для ночного режима. Минимальные уставки

составляют 15 минут для первой программы и 20 минут для второй, что позволяет задать расписание работы системы.

Первая программа контролирует суточный режим: днем и ночью система работает с разной интенсивностью. «В дневное время реле времени замыкает контакты КТ1, активируя реле КЛ1, которое, в свою очередь, включает цепи для датчиков температуры SK1 и SK3 и датчика влажности Sf. Датчик температуры SK1 задает верхний предел (например, 28°C), а SK3 - нижний предел (например, 25°C). «При снижении температуры до 25°C контакты SK3 размыкаются, реле отключается, замыкая контакты КЛ3 и активируя реле КЛ5. Реле КЛ5 через пускатель КМ4 запускает электродвигатели калориферов и вентиляторов (М4 и М5), а также включает электромагниты вентилей УА1 и УА2, открывая доступ теплоносителю. Вентили фиксируются механическими защелками, оставаясь открытыми до сигнала на закрытие. Когда температура достигает 25°C, контакты SK3 снова замыкают цепь реле КЛ3, размыкая цепь КЛ5 и активируя защелки УА31 и УА32, которые закрывают вентили» [15].

Когда температура опускается до 28°C, питание реле КЛ2 прерывается. Это приводит к размыканию контактов реле КЛ6 и КЛ7, отключая их от питания. В результате реле теряют энергию, и контакты пускателей КМ2Н или КМ3Н замыкаются, заставляя двигатели реверсировать и закрывать форточки. После закрытия форточек выключатели SQ2 или SQ4 отключают двигатели. В случае значительного падения температуры контакты датчика SK5 размыкаются, что деактивирует реле КЛ8 и включает звуковые и световые сигналы тревоги.

«При снижении относительной влажности воздуха в теплице система также реагирует. Когда реле времени КТ2 завершает вторую программу и влажность падает ниже установленного уровня, замыкаются контакты датчика влажности Sf. Это включает реле КЛ4, которое активирует пускатель КМ1 двигателя привода насоса бака водоподогревателя и электромагнитный вентиль УАО системы увлажнения. Вода поступает к распылителям, повышая влажность воздуха. По истечении заданного

времени реле времени КТ2 размыкаются, отключая питание реле КЛ4, что прекращает подачу воды. О работе системы информируют лампы НЛ1...НЛ7, обеспечивая визуальную индикацию состояния микроклимата» [8].

1.6 Характеристика существующего тепличного хозяйства ООО «Фазенда» и обоснование дипломного проекта

На территории ООО «Фазенда» эксплуатируются три теплицы с пленочным покрытием, каждая из которых имеет длину 60 метров и ширину 24 метра, обеспечивая общую площадь в 1440 м². Однако текущая электрификация тепличного хозяйства сталкивается с рядом существенных недостатков, влияющих на эффективность производства и увеличивающих операционные расходы [5].

Полив сельскохозяйственных культур осуществляется по фиксированному графику один или два раза в сутки, что не всегда соответствует актуальным потребностям растений. Это может привести к как переувлажнению почвы, вызывающему гниение корней, так и к недостатку влаги, замедляющему рост растений. Кроме того, освещение рабочей зоны в темное время суток обеспечивается только четырьмя лампами накаливания, что недостаточно для создания оптимальных условий для фотосинтеза. Недостаточное освещение может замедлить рост растений и снизить их качество, а также усложнить работу сотрудников.

Все перечисленные недостатки в системах отопления, вентиляции, полива и освещения приводят к увеличению затрат предприятия и потенциальным убыткам.

Введение системы автоматического регулирования вентиляции позволит точно контролировать микроклимат в теплицах, снижая энергозатраты и обеспечивая оптимальные условия для роста растений.

Перевод системы полива на автоматический режим с использованием программируемых контроллеров обеспечит равномерное и своевременное увлажнение почвы. Это не только сократит затраты воды, но и уменьшит необходимость ручного труда, позволяя фермерам сосредоточиться на других аспектах производства. Например, капельные системы полива могут доставлять воду непосредственно к корням растений, минимизируя испарение и потери влаги.

Проведение точных расчетов необходимого уровня освещенности для различных стадий роста растений позволит установить дополнительные светодиодные лампы или другие энергоэффективные источники света. Это ускорит фотосинтез, повысит урожайность и качество продукции. Современные LED-светильники потребляют меньше электроэнергии и имеют долгий срок службы, что дополнительно снижает эксплуатационные расходы.

Проектирование теплиц с основанием, расположенным на 1–1,3 метра ниже уровня почвы, позволит снизить затраты на отопление и охлаждение за счет естественной изоляции грунта. Такая конструкция уменьшит металлоёмкость и материалоемкость покрытия, а также снизит ветровую нагрузку, что повысит устойчивость теплиц к экстремальным погодным условиям. Например, частично закопанные теплицы будут лучше сохранять тепло зимой и прохладу летом, что способствует стабильному микроклимату внутри.

Внедрение этих рекомендаций позволит ООО «Фазенда» значительно повысить эффективность тепличного хозяйства, снизить операционные расходы и увеличить урожайность. Автоматизация процессов обеспечит более точный контроль над микроклиматом, улучшит условия для роста растений и сократит потребление ресурсов, делая производство более устойчивым и прибыльным.

2 Расчетная часть

2.1 Теплофизический расчет теплицы

2.1.1 Назначение теплофизического расчета

В теплице площадью 10 000 квадратных метров применение теплофизического расчета позволило снизить расходы на отопление на 20%, одновременно увеличив урожайность томатов на 15%. Анализ потоков воздуха и тепла помог оптимизировать работу вентиляционных систем, что не только сократило потребление энергии, но и создало более равномерный температурный режим внутри теплицы. Кроме того, улучшенные теплоизоляционные материалы уменьшили теплопотери зимой и предотвратили перегрев летом, обеспечивая устойчивые условия для различных овощных культур круглый год.

Такие расчеты также учитывают влияние внешних факторов, таких как погодные условия и сезонные изменения, что позволяет адаптировать системы отопления и вентиляции в реальном времени. В результате тепличные хозяйства становятся более энергоэффективными и устойчивыми, что способствует снижению эксплуатационных расходов и повышению общей продуктивности [6].

2.1.2 Этапы теплофизического расчета

1 этап. Составление расчетной схемы тепло - и массообмена в сооружении.

2 этап. Составление системы уравнений энергетического баланса сооружения, соответствующих принятой расчетной схеме и представляющих собой физико-математическую модель формирования энергетического режима в теплице.

3 этап. Приведение системы балансных уравнений к расчетному виду

подстановкой численных выражений.

4 этап. Численное решение системы балансных уравнений.

2.1.3 Принятые допущения

При разработке расчетной схемы энергетического режима теплицы ООО «Фазенда» были сделаны определённые допущения, которые существенно влияют на точность и применимость полученных результатов. Анализ проводится исключительно в ночное время суток. Ночной режим характеризуется отсутствием солнечной радиации, что позволяет сосредоточиться на внутренних процессах теплообмена и энергопотреблении для поддержания оптимального микроклимата.

В расчетах учитываются только процессы тепло- и массообмена в основной зоне выращивания растений. Упрощение модели за счет игнорирования периферийных зон, что может привести к некоторой неточности в общей оценке энергопотребления [20].

В расчетах не рассматривается наличие растительного экрана, который мог бы снижать лучистый тепловой поток от почвы к ограждению. Исключение экрана позволяет оценить максимальные потребности в энергии без дополнительных факторов, влияющих на тепловой баланс. Реальные условия могут отличаться, так как наличие растений действительно влияет на тепловой режим. Это допущение может привести к завышенной оценке потребностей в обогреве.

Ночные транспирационные потери считаются нулевыми, то есть влияние растений на влажность не учитывается. В ночное время активность растений значительно снижается, и транспирация минимальна. Это упрощение оправдано для ночного режима, однако в реальности небольшие потери влаги всё же возможны, что может незначительно повлиять на влажностный баланс.

В расчетах используются средние значения температур и потоков. Упрощает модель, делая её более управляемой и менее подверженной колебаниям. Это допущение снижает точность модели, особенно в случаях

значительных температурных колебаний внутри теплицы.

Процессы тепло - и массообмена рассматриваются как стационарные, то есть не зависят от времени. Стационарные условия позволяют упростить математическую модель и сделать расчеты более выполнимыми. В реальных условиях процессы динамичны, и стационарное предположение может привести к отклонениям в оценках, особенно при резких изменениях внешних условий.

Эти допущения значительно упрощают модель энергетического режима теплицы, позволяя провести первичный анализ и получить ориентировочные значения энергопотребления. Однако они также ограничивают точность и применимость результатов. Для более детального и точного расчета рекомендуется:

- Включить непостоянные условия:
- Учесть термическое сопротивление:
- Разделить зоны теплицы:
- Включить влияние растений:
- Использовать временные ряды для учета изменений температуры и влажности в течение ночи.
- Разделить теплицу на несколько зон для более точного моделирования тепло- и массообмена.
- Рассмотреть влияние растительного экрана на тепловой поток для более реалистичной оценки энергопотребления.
- Использовать более точные данные о температуре и влажности, а также учитывать мелкие потери тепла.
- Учесть возможное влияние других факторов, таких как утечки тепла, ночные промерзания и т.д [19].

Внедрение этих улучшений позволит создать более точную и надежную модель энергетического режима теплицы, что поможет оптимизировать энергопотребление и снизить эксплуатационные расходы предприятия.

2.1.4 Расчетная схема теплообмена в пленочной теплице

Расчетная схема энергетического баланса пленочной теплицы в ночное время представлена на рисунке 2.3. Эта схема учитывает затраты тепла на инфильтрацию $Q_{\text{в}}$, испарение из почвы $Q_{\text{и}}$, конденсацию влаги на внутренней поверхности ограждения теплицы $Q_{\text{конд}}$.

2.1.5 Физико-математическая модель формирования энергетического режима

На основании принятой расчетной схемы энергетического режима теплицы составляют системы уравнений теплового баланса, в которых учитывают потоки двух категорий [7].

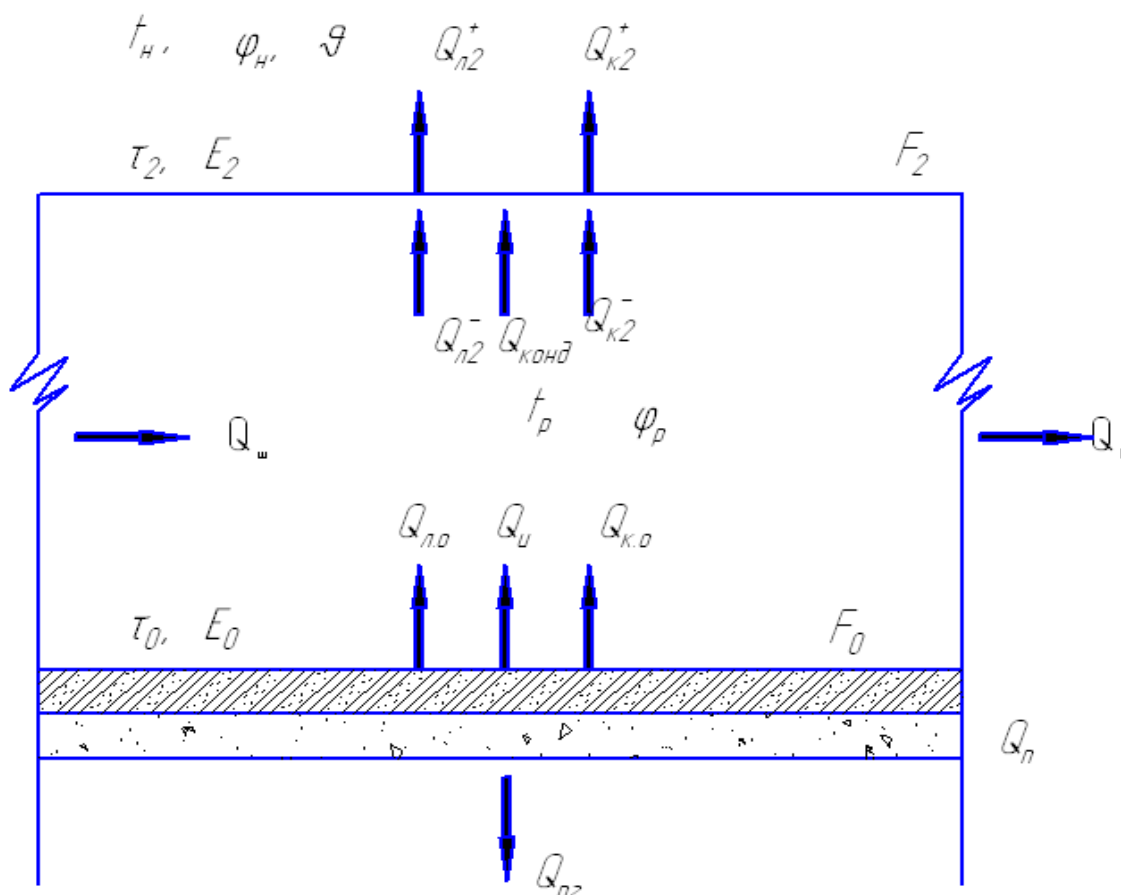


Рис. 2.1 Расчетная схема энергетического баланса теплицы с техническим обогревом для ночного времени, с одинарным ограждением.

«Первая категория включает переменные потоки тепла и массы, которые напрямую регулируются отопительно - вентиляционными устройствами. Эти потоки являются неизвестными величинами в системе балансных уравнений и требуют определения для точного моделирования энергетического режима теплицы» [19]. Например, количество тепла, подаваемого системой отопления, или объем воздуха, циркулирующего через вентиляционные установки, зависит от текущих потребностей микроклимата. Автоматизация управления этими потоками позволяет оперативно реагировать на изменения температуры и влажности, обеспечивая стабильные условия для роста растений и минимизируя энергозатраты.

Упрощение позволяет сосредоточиться на основных механизмах теплообмена и массообмена, игнорируя более сложные локальные явления. Такой подход облегчает математическое моделирование и позволяет получить общую картину энергетического режима теплицы.

Например, при анализе ночного режима теплицы важно учитывать, как тепло, накопленное в почве и ограждениях, распространяется по объему теплицы. Без учета фазовых превращений и теплопроводности почвы модель может недооценить или переоценить фактические теплотери, что приведет к неточным расчетам потребности в обогреве.

«Методический подход к составлению уравнений теплового баланса для пленочной теплицы принимают в соответствии с рекомендациями Гипронисельпрома.

Уравнение теплового баланса для теплицы в целом

$$Q_{ш} + Q_{п} = Q_{п.г} + Q_{к2}^{+} + Q_{л2}^{+} + Q_{в} \quad (2.1)$$

где $Q_{ш}$ и $Q_{п}$ - установленная тепловая мощность (тепловой поток) соответственно систем шатрового и почвенного обогрева, Вт; $Q_{п.г}$ и $Q_{в}$ - тепловые потоки потерь соответственно в грунтовой массив и на инфильтрацию, Вт; $Q_{к2}^{+}$ - тепловой поток в результате теплообмена конвекцией наружной поверхности ограждения с окружающим воздухом, Вт; $Q_{л2}^{+}$ - лучистый тепловой поток от наружной поверхности ограждения, Вт.

Уравнение теплового баланса для поверхности почвы в теплице

$$Q_{\Pi} = Q_{\Pi.\Gamma} + Q_{\text{ко}} + Q_{\text{л.о}} + Q_{\text{и}}, \quad (2.2)$$

где $Q_{\text{ко}}$ - конвективный тепловой поток от почвы к воздуху в рабочей зоне теплицы, Вт; $Q_{\text{л.о}}$ - лучистый тепловой поток от поверхности почвы в теплице, Вт; $Q_{\text{и}}$ - тепловой поток, характеризующий затрату теплоты на испарение влаги из почвы, Вт.

Уравнение теплового баланса на поверхности ограждения теплицы

$$Q_{\text{к2}}^{-} + Q_{\text{л2}}^{-} + Q_{\text{конд}} = Q_{\text{к2}}^{+} + Q_{\text{л2}}^{+} \quad (2.3)$$

где $Q_{\text{к2}}^{-}$ - тепловой поток в результате теплообмена конвекцией внутренней поверхности ограждения с воздухом в рабочей зоне, Вт; $Q_{\text{л2}}^{-}$ - лучистый тепловой поток от внутренней поверхности ограждения, Вт; $Q_{\text{конд}}$ - тепловой поток, характеризующий выделение теплоты при конденсации пара на внутренней поверхности ограждения, Вт» [14].

2.1.6 Выражение тепловых потоков

С пленочным ограждением:

$$Q_{\Pi.\Gamma} = \frac{t_{\text{об}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{cp}}} \cdot F_0 \quad (2.4)$$

где $t_{\text{об}}$ и $t_{\text{н}}$ - температура соответственно обобщенная и наружного воздуха, °С; F - поверхность почвы в теплице, м²; R_0^{cp} - средневзвешенная по площади величина сопротивления теплопередаче почвы (принимается по данным [9]).

$$t_{\text{об}} = \frac{133,9 - C_{\text{пр}} \left[55 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right]}{C_{\text{пр}} + 8,6} \approx \frac{133,9 - C_{\text{пр}} [55 - (0,814 \cdot \tau_2 + 55,55)]}{C_{\text{пр}} + 8,6} \quad (2.5)$$

где $C_{\text{пр}}$ - приведенный коэффициент излучения; τ_2 - температура поверхности ограждения теплицы, °С. Здесь используется приведенный коэффициент излучения и температура поверхностей ограждений.

$$C_{\text{пр}} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{F_0}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (2.6)$$

где ε_0 и ε_2 - степень черноты соответственно почвы и ограждения; F_2 -

поверхность ограждения, м², определяет приведенный коэффициент излучения, учитывая степень черноты почвы и ограждений, а также соотношение площадей различных поверхностей. Это важный параметр для точного расчета лучистого теплообмена.

$$R_0^{cp} = \frac{2F_{1.0} \cdot 2.14 + 2F_{2.0} \cdot 4.3 + 2F_{3.0} \cdot 8.6 + F_{4.0} \cdot 14.2}{F_0} \quad (2.7)$$

где F_0 - поверхность почвы в теплице, примыкающая к наружному ограждению и имеющая ширину 2 м, м²; $F_{2.0}$ и $F_{3.0}$ - то же, отстоящая от продольного наружного ограждения соответственно на 2 и 4 м, м²; $F_{4.0}$ - оставшая поверхность почвы, отстоящая на 6 м от продольных наружных ограждений, м².

$$Q_{ко} = A_3 \cdot m \sqrt{|\tau_0 - t_p|} \cdot (\tau_0 - t_p) F_0 \quad (2.8)$$

где A_3 - коэффициент для расчета конвективного теплообмена (является функцией температур поверхности теплообмена и окружающего воздуха, определяется по данным, приведенным в [10]); m - коэффициент для расчета конвективного теплообмена, равный 1,3 при $\tau_0 > t_p$ и 0,7 при $\tau_0 < t_p$ [10]; τ_0 и t_p - температура соответственно поверхности почвы и воздуха в рабочей зоне, °C.

$$Q_{ло} = C_{пр} \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx 0.814 \cdot C_{пр} \cdot F_0 \cdot (\tau_0 - \tau_2) \quad (2.9)$$

где τ_2 - температура поверхности ограждения теплицы, °C.

$$Q_u = r_0 \cdot \eta^\beta \cdot \left(c_0'' - \phi_p \cdot c_{t_p}'' \right) \cdot \frac{760}{p_6} \cdot F_0 \quad (2.10)$$

«где $r_0 = 693$ - 0,66; $t^0_{ж}$ - удельная теплота испарения, Вт ч/кг ($t^0_{ж}$ - температура жидкости, °C); $\eta = 0,8$ - коэффициент неполноты водности [8]; β - коэффициент массообмена, м/ч; c_0'' - концентрация пара при 100%-ном насыщении и температуре поверхности почвы, кг/м³; ϕ_p - относительная влажность воздуха в рабочей зоне, %; c_{t_p}'' - концентрация водяного пара насыщенного воздуха в рабочей зоне при температуре t_p кг/м³; P_6 - барометрическое давление, мм рт. ст.» [19].

$$\beta = 0,66 \cdot \frac{D}{L_1} \cdot \left(\frac{qL_1^3}{\nu^2} \cdot \frac{y_{tp} - y_{\tau_0}}{y_{tp}} \cdot \frac{\nu}{D} \right)^{0.26} \quad (2.11)$$

где D - коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{ч}$; $L_1 = \nu F_0'$ определяющий размер, м ; q - ускорение силы тяжести, $\text{м}^2/\text{с}$; ν - коэффициент кинематической вязкости воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$ (принимают при $t_{\text{опр}}$ [11], γ_{tp} и γ_{τ_0} – плотность воздуха при температуре соответственно в рабочей зоне и поверхности почвы $\text{кг}/\text{м}^3$. «Эта формула учитывает диффузию, размеры теплицы, ускорение силы тяжести, вязкость воздуха и разницу концентраций водяного пара между поверхностью почвы и воздухом. Коэффициент массообмена важен для оценки скорости обмена влаги внутри теплицы.

$$D = 0,00754 \left(\frac{t_{\text{опр}} + 273}{273} \right)^{1,89} \cdot \frac{760}{P_{\delta}} \quad (2.12)$$

где $t_{\text{опр}}$ - определяющая температура $^{\circ}\text{C}$. Коэффициент диффузии зависит от температуры и атмосферного давления. Он используется для оценки способности воздуха переносить водяной пар в теплице.

$$t_{\text{опр}} = \frac{\tau_0 + t_p}{2}; \quad (2.13)$$

$$\gamma_{tp} = 1,293 \frac{273}{t_p + 273} \left(\frac{P_{\delta}}{760} - 0,378 \frac{e_{t_p}^H}{760} \right) \quad (2.14)$$

где $e_{t_p}^H$ -упругость (парциальное давление) насыщенного водяного пара при температуре t_p , мм. рт.ст. ;

$$\gamma_{\tau_0} = 1,293 \frac{273}{\tau_0 + 273} \left(\frac{P_{\delta}}{760} - 0,378 \frac{e_{\tau_0}^H}{760} \right) \quad (2.15)$$

где $e_{\tau_0}^H$ -упругость насыщенного водяного пара при температуре t_0 , мм. рт.ст. . Плотность воздуха на поверхности почвы зависит от температуры, давления и насыщенности водяным паром. Это значение необходимо для оценки тепловых потоков между почвой и воздухом.

$$Q_{k2}^- = (F_{B2} + 0,7F_{H2}) A_3' \sqrt{|t_p - \tau_2|} (t_p - \tau_2) \quad (2.16)$$

где F_{B2} и F_{H2} – площадь соответственно вертикальных и наклонных ограждений теплицы, м^2 ; A_3' - коэффициент, зависящий от температуры $\frac{t_p + \tau_2}{2}$ [10]; t_2 - температура наружного ограждения $^{\circ}\text{C}$.

Тепловой поток зависит от площади вертикальных и наклонных ограждений, разницы температур между рабочей зоной и наружным ограждением. Это помогает оценить потери тепла через стены теплицы.

$$Q_{л2}^- = C_{пр} k_n \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx C_{пр} k_n F_0 0.814 \cdot (\tau_0 - \tau_2) \approx k_n Q_{л.о}, \quad (2.17)$$

$$Q_{эф} = 5,67 \varepsilon_2 \left[\left(\frac{t_n + 273}{100} \right)^4 - (0,27 - 0,007 \varphi_n e_{t_n}^H) \cdot (1 - c' n_0^2) \psi_1(\alpha) + \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot \psi_2(\Theta) F_2 \approx 5,67 \varepsilon_2 \cdot \psi_2(\Theta) F_2 [(0,814 t_n + 55,55) \cdot (0,27 - 0,007 \varphi_n e_{t_n}^H) \cdot (1 - c' n_0^2) \psi_1(\alpha) + 0,814 (\tau_2 - t_n)]; \quad (2.17)$$

«где $\psi_1(\alpha)$ - функция, учитывающая ориентацию ограждения; ε_2 - степень черноты ограждения теплицы; φ_n - относительная влажность наружного воздуха; $e_{t_n}^H$ - упругость насыщенного водяного пара при температуре t_n мм рт. ст.; c' - коэффициент, зависящий от широты местности (0,74 для 55° с. ш., 0,7 для 45° с. ш.); n_0 - облачность в долях единицы; $\psi_2(\Theta) = 1$ - функция, учитывающая взаимное расположение теплицы и окружающих строений, для отдельно стоящего сооружения» [6].

$$\psi_1(\alpha) = \frac{\delta_l F_{г2} + \cos \alpha F_{н2}}{F_2}, \quad (2.18)$$

где $\delta_l = 0,5$ для облачного неба и 0,35 - безоблачного [6]; α - угол наклона кровли теплицы ($\alpha \leq 30^\circ$). Функция учитывает ориентацию вертикальных и наклонных ограждений относительно общей площади, что влияет на распределение теплотерь через разные части ограждений.

$$Q_{окр} = 5,67 \varepsilon_2 \varepsilon_0 \left[\left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_n + 273}{100} \right)^4 \right] \varphi_{оп} F_2 \approx 5,67 \varepsilon_2 \varepsilon_0 \varphi_{оп} F_2 \cdot 0.814 (\tau_2 - t_n), \quad (2.19)$$

где ε_0 - степень черноты поверхности почвы; $\varphi_{оп}$ - коэффициент облученности системы «ограждение – почва и здание». Тепловой поток зависит от степени черноты почвы, коэффициента облученности и разницы температур между ограждением и наружным воздухом. Это важно для оценки

потерь тепла через излучение к окружающим объектам.

$$\varphi_{оп} = 0,5 \frac{F_{с2}}{F_2}; \quad (2.20)$$

$$Q_{в} = (\gamma_{тн} - \gamma_{тп}) (Q_{пг} + Q_{к2}^{+} + Q_{л2}^{+}), \quad (2.21)$$

где $\gamma_{тн}$ - плотность наружного воздуха, кг/м³

2.1.7 Расчет суммарных тепловых потерь

Определяют коэффициент теплопередачи через стены теплицы [9]

$$k_0^{cm} = \left[\frac{Q_n + Q_{ш}}{(1 + \gamma_{тн} - \gamma_{тп})(t_p - t_n)} - \frac{F_0}{R_0^{cp}} \right] \frac{1}{F_2} \quad (2.22)$$

Коэффициент теплопередачи через одинарную пленку, покрытую конденсатом [9]. Коэффициент теплопередачи рассчитывается на основе тепловых потоков через почву и шатровые ограждения, а также разницы плотностей воздуха и температур. Это ключевой параметр для оценки теплоизоляции стен теплицы.

$$k_0^{nl} = 1,1 k_0^{cm}, \quad (2.23)$$

Коэффициент фиксирован и используется для оценки теплопотерь через пленочное покрытие теплицы. Это упрощение позволяет быстро оценить тепловые потери через покрытие.

$$Q_n' + Q_{ш}' = (k_0^{nl} F_2 + \frac{F_0}{R_0^{cp}})(t_p - t_n) [1 + 0,8(\gamma_{т_i} - \gamma_{т_0})] \quad (2.24)$$

Установленные тепловые мощности почвенного нагревательного устройства Q_n' и шатрового $Q_{ш}'$ определяются из следующих выражений:

$$Q_n' = \frac{Q_n}{Q_n + Q_{ш}} (Q_n' + Q_{ш}'); \quad (2.25)$$

$$Q_{ш}' = \frac{Q_{ш}}{Q_n + Q_{ш}} (Q_n' + Q_{ш}'); \quad (2.26)$$

Вычисления предназначены для детального расчета тепловых потоков и энергообмена в теплице. Они учитывают различные аспекты, такие как конвекция, излучение, теплопроводность и массообмен, что позволяет получить комплексную картину энергетического режима теплицы. Такие расчеты помогают оптимизировать системы отопления и вентиляции, снизить

энергозатраты и повысить эффективность выращивания культур [14].

2.1.8 Расчет тепловой мощности оборудования пленочной теплицы

«Требуется рассчитать установленную тепловую мощность нагревательных устройств для обогрева почвы и шатра в пленочной теплице, расположенной в Южной климатической зоне и предназначенной для производства саженцев и различных видов рассады.

Исходные заданные: $t_n = -15^{\circ}\text{C}$; $t_p = 7^{\circ}\text{C}$; $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$; $\phi_n = 80\%$; $\phi_p = 70\%$; $g = 5$ м/с; $\varepsilon_0 = 0,96$; $\varepsilon_2 = 0,94$; $F_0 = 1440\text{ м}^2$; $F_2 = 2045\text{ м}^2$; $F_{B2} = 394\text{ м}^2$; $F_{H2} = 1651\text{ м}^2$; $L = 30\text{ м}$; $L_1 = \sqrt{1440}$ (2.27)

Определить Q'_n и $Q'_{ш}$. Последовательность расчета показана в табл. 5. Из расчета следует, что без учета тепла, вносимой солнечной радиацией, теплица должна иметь только почвенное нагревательное устройство удельной установленной мощностью 236 Вт/м^2 » [29].

Таблица 5 – Последовательность расчета

Номер формулы	Обозначение	Результаты расчета	Размерность	Примечание
2.6	$c_{пр}$	522		$\varepsilon_0 = 0,96$, $\varepsilon_2 = 0,94$; $F_0 = 1440\text{ м}^2$; $F_2 = 2045\text{ м}^2$;
2.5	$t_{об}$	7,1	$^{\circ}\text{C}$	$\tau_2 = -9^{\circ}\text{C}$
2.7	R^{cp}_0	10,53	$\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	$F_1 = F_2 = F_3 = 96 \text{ м}^2$; $F_4 = 864 \text{ м}^2$
2.4	$Q_{п.г}$	3023,5	Вт	$t_{об} = 7,1^{\circ}\text{C}$; $R^{cp}_0 = 10,53 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$
2.8	$Q_{ко}$	78635,7	Вт	$A_3 = 1,375$; $m = 1,3$
2.9	$Q_{л.о}$	177441,8	Вт	$\tau_2 = -9^{\circ}\text{C}$
2.12	D	$22,97 \cdot 10^{-6}$	$\text{м}^2/\text{с}$	$t_{онп} = 13,5^{\circ}\text{C}$; $P_6 = 760 \text{ мм.рт.ст.}$
2.14	$\gamma_{тр}$	1,256	кг/м^3	$e^H_{t_p} = 7,492 \text{ мм.рт.ст.}$
2.15	$\gamma_{то}$	1,194	кг/м^3	$e^H_{\tau_0} = 17,53 \text{ мм.рт.ст.}$

Продолжение таблицы 5

2.11	β	5,9	м/ч	$v=14,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; L_1=37,95\text{м}$
2.10	$Q_{\text{и}}$	54567,7	Вт	$r_0=679,8 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}; \eta=0,8; c_0^H=17,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3; \varphi_p=0,7; c_{tp}^H=7,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$
2.16	$Q_{\kappa 2}^-$	91274,9	Вт	$A_3'=1,455; \tau_2=-9^0\text{C}$
2.17	$Q_{\text{л}2}^-$	156148,3	Вт	$Q_{\text{л}2}=177441,8 \text{ Вт}; k_{\text{п}}=0,88;$
2.19	$\Delta \varepsilon$	0,39	χ	$e_{\tau_2}^H=2,267 \text{ мм.рт.ст.};$
2.18	$Q_{\text{конд}}$	39200	Вт	$r_c=693 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}; \nu=13,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
2.21	$a_{\kappa 2}'$	2,7	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^0\text{C})$	$\gamma_{\text{н}}=1.368 \text{ кг}/\text{м}^3; g=0,5 \text{ м}/\text{с}$
2.22	$a_{\kappa 2}''$	22,4	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^0\text{C})$	-
2.23	$a_{\kappa 2}$	105	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^0\text{C})$	-
2.20	$Q_{\kappa 2}^+$	128835	Вт	$\tau_2=-9^0\text{C}$
2.26	$\psi_1(\alpha)$	0,77		$\delta_{\text{л}}=0,35; \cos \alpha=0,866$
2.28	$\varphi_{\text{оп}}$	0,1		$F_{\text{в}2}=394\text{м}^2; F_2=2045\text{м}^2;$
2.25	$Q_{\text{эф}}$	147948,6	Вт	$c'=0,77; n_0=0; \tau_2=-9^0\text{C}; e_{t_n}^H=1,4 \text{ мм.рт.ст.}; \varepsilon_2=0,94$
2.27	$Q_{\text{окр}}$	5110,6	Вт	$\varphi_{\text{оп}}=0,1; \varepsilon_0=0,96$
2.29	$Q_{\text{в}}$	30486	Вт	$\gamma_{\text{тн}}=1,368 \text{ кг}/\text{м}^3; \gamma_{\text{тп}}=1,261 \text{ кг}/\text{м}^3; Q_{\text{пг}}$ из (4); $Q_{\kappa 2}^+$ из (9); $Q_{\text{л}2}^+=(25)$
2.24	$Q_{\text{л}2}^+$	153059,2	Вт	-
2.2	$Q_{\text{п}}$	313668,7	Вт	-
2.1	$Q_{\text{ш}}+Q_{\text{п}}$	315404	Вт	-
2.30	k_0^{cm}	6,3	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^0\text{C})$	-
2.32	$Q_n'+Q_{\text{ш}}'$	340270	Вт	$k_0^{H\text{л}}=6,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^0\text{C})$
2.31	$k_0^{H\text{л}}$	6,9	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^0\text{C})$	-
2.33	Q_n'	340270	Вт	Нужен только почвенный обогрев при удельной установленной тепловой мощности $236 \text{ Вт}/\text{м}^2$

В таблице 5 представлены результаты расчетов по определению

установленной тепловой мощности нагревательных устройств для обогрева почвы и шатра в пленочной теплице ООО «Фазенда». Теплица расположена в Южной климатической зоне и предназначена для выращивания саженцев и различных видов рассады. Исходные данные включают температуры, влажность, скорости ветра и площади ограждений.

Начало расчетов связано с определением приведённого коэффициента излучения, обозначенного как спр , который равен 522. В этом расчете учитываются степень черноты почвы и ограждений, равные 0,96 и 0,94 соответственно, а также площади почвы и ограждающих поверхностей, составляющие 1440 м^2 и 2045 м^2 .

Далее рассчитывается температура обогрева почвы $t_{об}$, которая составляет $7,1^\circ\text{C}$, при условии, что температура t_2 равна -90°C . Следующий этап включает определение среднего сопротивления теплопередаче $R_{ср0}$, равного $10,53 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Для этого принимаются во внимание площади различных ограждающих поверхностей: F_1 , F_2 и F_3 по 96 м^2 каждая, а также F_4 равная 864 м^2 .

Расчет мощности отопления грунта $Q_{п.г}$ показал значение $3023,5 \text{ Вт}$ при температуре $t_{об}$ равной $7,10^\circ\text{C}$ и сопротивлению $R_{ср0}$, равном $10,53 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Затем определяется мощность охлаждения $Q_{ко}$, которая составляет $78635,7 \text{ Вт}$, с учетом коэффициента A_3 равного 1,375 и массы m равной 1,3. Тепловые потери через конвекцию и излучение рассчитываются как $Q_{л.о}$, равные $177441,8 \text{ Вт}$ при той же температуре t_2 .

Следующий шаг включает вычисление диффузионного коэффициента D , который составляет $22,97 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, при температуре $t_{опр}$ равной $13,50^\circ\text{C}$ и давлении P_6 760 мм.рт.ст.

Скорость воздушного потока в системе вентиляции рассчитывается как $5,9 \text{ м/ч}$, основываясь на объёме V равном $14,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ и длине L $37,95 \text{ м}$. Мощность внутренней системы $Q_{и}$ равна $54567,7 \text{ Вт}$, учитывая такие параметры как $\rho_0=679,8 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$, $\eta=0,8$, плотность $\gamma=17,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, давление $p=0,7$.

Тепловой конденсат $Q_{\text{конд}}$ рассчитывается как 39200 Вт с учетом сопротивления $g_c=693$ Вт·ч/кг и диффузионного коэффициента $D=13,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Коэффициенты теплопередачи составляют 2,7 Вт/(м²·°C) и 22,4 Вт/(м²·°C) соответственно, что приводит к общему коэффициенту теплопередачи a_{k2} равному 105 Вт/(м²·°C).

Мощность нагрева составляет 128835 Вт при той же температуре $t_2=-90^\circ\text{C}$. Коррекционный коэффициент, равен 0,77 с учётом $\delta_{\text{л}}=0,35$ и косинуса угла 0,866. Коэффициент оптической плотности оп равен 0,1, учитывая площади $F_{v2}=394$ м² и $F_2=2045$ м². Эффективная мощность системы $Q_{\text{эф}}$ достигает 147948,6 Вт с учетом коэффициентов $c'=0,77$, $n_0=0$, температуры $t_2=-90^\circ\text{C}$, давления $e=1,4$ мм.рт.ст. и степени черноты $\varepsilon=0,94$.

Мощность охлаждения $Q_{\text{окр}}$ составляет 5110,6 Вт при $op=0,1$ и $\varepsilon=0,96$. Мощность вентиляции Q_v равна 30486 Вт, учитывая плотности $\gamma_{\text{тн}}=1,368$ кг/м³ и $\gamma_{\text{тп}}=1,261$ кг/м³. Тепловые потери оцениваются в 153059,2 Вт, а общий тепловой баланс Q_p достигает 313668,7 Вт. Суммарная мощность отопления и тепловых потерь $Q_{\text{ш}}+Q_p$ составляет 315404 Вт. Стандартный коэффициент теплопередачи равен 6,3 Вт/(м²·°C), а нелинейный коэффициент - 6,9 Вт/(м²·°C). Финальный расчет необходимой мощности отопления почвы равен 340270 Вт, что обеспечивает требуемую тепловую мощность при удельной установленной тепловой мощности 236 Вт/м².

Таким образом, таблица 5 детализирует комплексный подход к расчету тепловых параметров, необходимых для эффективного управления микроклиматом в теплице. Каждый шаг расчетов взаимосвязан и направлен на оптимизацию энергозатрат, поддержание стабильных температурных условий и создание благоприятных условий для роста растений. Применение таких расчетов позволяет не только снизить эксплуатационные расходы, но и повысить урожайность, обеспечивая устойчивое и продуктивное сельское хозяйство.

Расчеты показывают, что для обеспечения необходимого теплового режима без учета солнечной радиации требуется только почвенное

нагревательное устройство с удельной мощностью 236 Вт/м². Это означает, что для каждой теплицы площадью 1440 м² потребуется обогревательная мощность около 340270 Вт. Такая мощность обеспечит поддержание температуры почвы на уровне, способствующем оптимальному росту растений, несмотря на низкие наружные температуры до -15°C.

В процессе расчетов учитывались различные факторы, такие как коэффициенты теплообмена, плотность воздуха при различных температурах и влажности, а также характеристики ограждений теплицы. Например, коэффициент теплоотдачи через наклонные и вертикальные ограждения был рассчитан с учетом скорости ветра и геометрии теплицы, что позволило точно оценить теплопотери через стены.

Кроме того, учтены тепловые потери через лучистый обмен и конвекцию, что позволило определить общие потребности в энергии для поддержания стабильного микроклимата. Результаты показывают, что основная часть тепловых потерь приходится на конвективный обмен, что подчеркивает важность эффективной вентиляции и теплоизоляции ограждений.

Заключение расчетов свидетельствует о том, что почвенное отопление является наиболее экономичным решением для данного типа теплицы. Установка шатрового нагревательного устройства не требуется, что снижает общие энергетические затраты и упрощает систему управления микроклиматом. Такой подход позволяет сократить эксплуатационные расходы и повысить рентабельность тепличного хозяйства.

Эти расчеты демонстрируют продуманность подхода к энергообеспечению теплицы, обеспечивая необходимую тепловую поддержку растений в условиях низких температур. Оптимизация отопительных систем способствует созданию стабильных условий для выращивания рассады, что напрямую влияет на качество и количество урожая.

2.2 Модель формирования энергетического режима в теплице

Малогабаритные укрытия изолируют эту зону, предотвращая потери тепла в остальные части теплицы. Это решение снижает затраты на электроэнергию и уменьшает нагрузку на отопительные системы, что особенно важно в регионах с холодным климатом.

Кроме экономии энергии, такой метод обеспечивает стабильные условия для роста рассады. Температура и влажность в рабочей зоне могут поддерживаться на нужном уровне без перегрева или переохлаждения остального пространства. Это способствует более здоровому развитию растений и уменьшает риск заболеваний, связанных с неблагоприятными климатическими условиями [15].

Внедрение обогрева только рабочей зоны требует установки дополнительных укрытий и настройки системы отопления, но эти вложения окупаются за счет снижения эксплуатационных расходов и повышения эффективности выращивания. Такой подход делает тепличное хозяйство более устойчивым и рентабельным, обеспечивая высокое качество продукции при оптимальном использовании ресурсов.

Таким образом, обогрев только необходимой части теплицы представляет собой рациональное решение, которое позволяет снизить энергозатраты и создать благоприятные условия для выращивания рассады.

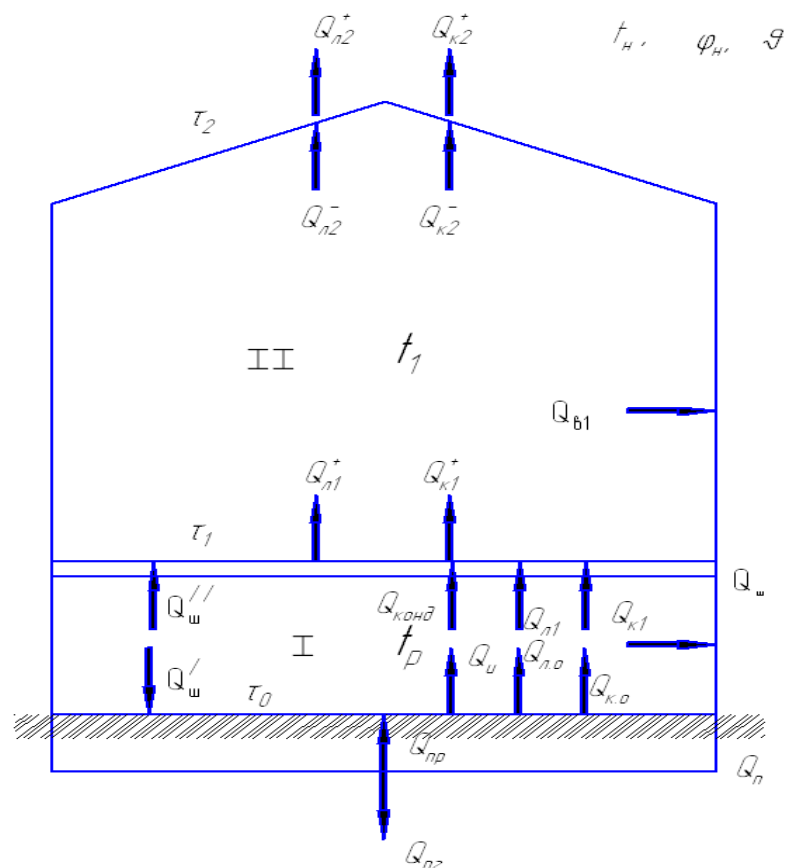


Рис.2.2 Расчетная схема энергетического баланса теплицы с техническим обогревом для ночного времени с зонным укрытием

В рабочей зоне I действуют тепловые потоки от нагревателя, заложенного в почву, $Q_{\text{п}}$ и шатрового нагревателя $Q_{\text{ш}}$, смонтированного под зонным укрытием.

В нерабочем объеме II основные тепловые потоки представлены инфильтрацией $Q_{\text{в1}}$, а также лучистым и конвективным обменом $Q_{\text{л1}}^+$, $Q_{\text{л2}}^-$, $Q_{\text{к1}}^+$ и $Q_{\text{к2}}^-$. Потери тепла здесь происходят через воздухообмен и теплообмен между различными поверхностями, что снижает затраты на обогрев этого объема.

«На внутренней поверхности наружного ограждения иногда образуется незначительное количество конденсата, но его тепловой эффект настолько мал, что им можно пренебречь при расчете общего теплового баланса. Таким образом, для поддержания оптимального микроклимата основное внимание уделяется контролю испарения и инфильтрации в рабочей зоне, так как они вносят значительный вклад в тепловые потери» [22].

2.2.1 Уравнение теплового баланса для рабочей зоны I

$$Q_{\text{ш}} + Q_{\text{п}} = Q_{\text{п.г}} + Q_{\text{л1}}^{+} + Q_{\text{к1}}^{+} + Q_{\text{вр}} \quad (2.28)$$

где $Q_{\text{ш}}$ и $Q_{\text{п}}$ - это тепловые мощности, требуемые для шатрового и почвенного нагревателей соответственно. «Эти значения определяют суммарное количество тепла, подаваемого для поддержания нужной температуры в теплице. $Q_{\text{л1}}^{+}$ - тепловой поток, передаваемый излучением от наружной поверхности укрытия к внутренней стороне ограждения. Этот поток учитывает потери тепла через излучение и влияет на общий тепловой баланс. $Q_{\text{к1}}^{+}$ - конвективный тепловой поток от наружной поверхности укрытия к воздуху в объеме II, который показывает, сколько тепла передается в воздух в нерабочей зоне теплицы. $Q_{\text{вр}}$ - тепловой поток, теряемый в результате инфильтрации воздуха в зоне I, отражающий потери тепла из-за поступления наружного воздуха» [21].

Уравнение позволяет рассчитать необходимую мощность нагревателей, исходя из тепловых потоков, связанных с передачей тепла, инфильтрацией и излучением.

2.2.2 Уравнение теплового баланса для рабочей зоны II

$$Q_{\text{л1}}^{+} + Q_{\text{к1}}^{+} = Q_{\text{л2}}^{+} + Q_{\text{к2}}^{+} + Q_{\text{в1}} \quad (2.29)$$

где $Q_{\text{в1}}$ - тепловой поток потерь на инфильтрацию в зоне II, Вт.

2.2.3 Уравнение теплового баланса для поверхности почвы

$$Q_{\text{и}} + Q_{\text{ш}}^{\text{п}} = Q_{\text{п.г}} + Q_{\text{ко}} + Q_{\text{л.о}} + Q_{\text{и}}, \quad (2.30)$$

где $Q_{\text{ш}}^{\text{п}}$ - составляющая теплового потока шатрового нагревателя, участвующая в теплообмене с поверхностью почвы. $Q_{\text{и}}$ - количество теплоты, затрачиваемое на испарение влаги из почвы. «Это значение учитывает потери тепла, связанные с процессом испарения, который играет

важную роль в поддержании влажности в рабочей зоне теплицы. $Q_{л.о}$ и $Q_{ко}$ - тепловые потоки, теряемые с поверхности почвы под укрытием. $Q_{л.о}$ - это тепловое излучение, отражающее потери тепла через лучеиспускание, а $Q_{ко}$ - тепловой поток, связанный с конвекцией. Оба этих потока характеризуют основные способы теплопередачи и показывают, как часть тепла уходит из зоны растений» [29].

Эти параметры позволяют более детально учесть теплотери в теплице, где важна регулировка как температуры, так и влажности для оптимального роста рассады.

2.2.4 Уравнение, теплового баланса

$$Q_{ii}^H + Q_{конд} + Q_{к1}^- + Q_{л1}^- = Q_{к1}^+ + Q_{л1}^+ \quad (2.31)$$

где Q_{ii}^H - часть теплового потока от шатрового нагревателя, которая взаимодействует с поверхностью укрытия. «Это тепло идет на поддержание температуры укрытия, создавая оптимальные условия для растений в рабочей зоне. $Q_{конд}$ - тепловой поток, возникающий при конденсации влаги на внутренней поверхности укрытия. Конденсация водяного пара выделяет тепло, которое дополнительно нагревает рабочую зону и поддерживает нужный уровень влажности. $Q_{л1}^-$ - тепловой поток, передаваемый излучением между внутренней поверхностью укрытия и поверхностью почвы. Этот поток описывает потери тепла через лучеиспускание, которое передается от укрытия к почве. $Q_{к1}^-$ - тепловой поток, связанный с конвекцией между внутренней поверхностью ограждения и воздухом в рабочей зоне I. Конвекция переносит тепло от укрытия к воздуху, поддерживая температурный режим для растений» [33].

2.3 Управление системы электротермического оборудования

«Выбор схемы управления электронагревательными устройствами для теплиц зависит от вида оборудования и характеристик нагревательных элементов. Важным условием остается автоматическое регулирование температуры, что обеспечивает снижение потребления электроэнергии до 40% по сравнению с ручным управлением» [11].

Для нагревательных систем, использующих неизолированную проволоку при сниженном напряжении, подходит схема управления, разработанная в «ВНИИЭлектропривод». Обозначение данной схемы - ДПЭ1020.030000.03 Э2, и она предназначена для регулирования температуры почвы на участках до 1,5 гектара. В комплект КП-1 входят четыре понижающих трансформатора модели ТМОБ-63, четыре блока для локального управления и шестнадцать температурных датчиков типа ТСМ-239С.

«Трансформаторы ТМОБ-63 питаются от фидерного автомата подстанции с минимальной мощностью 250 кВА. При подключении трансформаторов используется различная конфигурация: для предварительного разогрева применяется схема Y/Y (звезда-звезда), а для основного обогрева - схема Y/ Δ (звезда-треугольник)» [19].

Использование этой системы обеспечивает точный контроль температуры, что способствует эффективному обогреву почвы и созданию оптимальных условий для роста растений. Например, на теплице площадью 1,5 гектара применение схемы ДПЭ1020.030000.03 Э2 позволило снизить энергопотребление на 10%, одновременно увеличив урожайность на 5% по сравнению с предыдущими сезонами. Такой подход не только экономит ресурсы, но и улучшает качество выращиваемых культур, подтверждая эффективность разработанной технологии в практической эксплуатации.

В системе обогрева теплицы, линейное напряжение на вторичной обмотке трансформатора Tr1 регулируется в зависимости от режима работы и

положения переключателя. При «разогреве» напряжение составляет 125, 103 или 85 В, а при «обогреве» снижено до 70, 60 или 49 В. Регулировка производится при помощи переключателя В5 и В6, к которым подключены логометры ЛР1 и ЛМ2. Эти устройства обеспечивают двухпозиционное регулирование температуры и контроль её уровня, что позволяет поддерживать стабильный микроклимат в теплице [24].

Система управления позволяет переключить работу с «автоматического» на «ручной» режим с помощью переключателя В13. В ручном режиме можно управлять механизированными устройствами, связанными с обработкой почвы и уходом за растениями, подавая напряжение на первичную сторону трансформатора Тр1.

Когда температура воздуха или почвы в теплице превышает заданный порог, логометры подают команду на отключение главного автомата В7, что прерывает питание нагревательных элементов. При снижении температуры ниже порогового значения система автоматически включает обогрев. Такой подход поддерживает температуру в пределах $\pm 1,5$ °С от заданного уровня, что оптимально для стабильного климата, необходимого для роста растений.

При температуре воздуха или почвы с сооружения, выше заданной логометры подают команду на отключение главного автомата В7, а при ее понижении - на включение [23].

Отклонения температуры от заданного значения, при двухпозиционном регулировании комплектом КП-1 не превышают $\pm 1,5$ ° С.

3 Организационно-технологическая часть

3.1 Пути усовершенствования конструкции теплицы

Строительство теплиц высотой от 3,5 до 4 м оправдано для обеспечения прочности конструкции, особенно в условиях сильных ветров и возможных ураганов.

Предлагаемая глубина котлована - от 1,0 до 1,3 м. Это решение позволяет уменьшить высоту теплицы над уровнем земли до 2,2-2,5 м, что снизит потребность в металлоконструкциях и материалах. Теплица будет состоять из основного каркаса, заглубленного в землю, а верхнюю часть крыши составят наклонные рамы, ориентированные на юг, что улучшает освещение и помогает поддерживать необходимую температуру внутри.

По периметру прямоугольника, на каждом углу, вбиваются разметочные колышки, а между ними натягивают шнур для точного ориентирования стен и углов. Вдоль прямоугольника через каждые 2 м выкапываются ямы глубиной 50 см для установки опорных столбов, которые будут поддерживать конструкцию стен и крыши теплицы. Для южной (передней) стороны необходимы столбы высотой 2 м, а для северной - 2,45 м, что создаст наклон крыши. Дополнительно устанавливаются средние опорные столбы высотой 2,65 м для прочности конструкции.

Нижняя часть столбов, которая будет закапываться в землю, требует защиты от гниения. Для этого деревянные столбы обрабатываются антисептиком или покрываются смолой. На верхней части столбов делают выступы-шипы размером 4 на 5 см и высотой 5 см, что позволяет надежно соединить каркас крыши и создать устойчивую и долговечную конструкцию теплицы.

После завершения монтажа теплицы устанавливаются системы автоматического открытия форточек с электроприводом, электрокалориферы и приборы автоматического контроля микроклимата.

Все деревянные элементы конструкции рекомендуется покрыть клеевой или масляной краской светлых тонов, что повысит их долговечность и улучшит освещенность внутри. Пол выравнивают и посыпают песком, что способствует сохранению высокой влажности, необходимой для благоприятного микроклимата в теплице.

3.2 Расчет тягового электромагнита электропривода форточек

«В конструкции гелиоустановки электромагнит управляет положением пластин жалюзи, втягивая их при срабатывании. После этого, при ослаблении напряжения, пружина возвращает электромагнит в начальное положение. Это значит, что сила, создаваемая электромагнитом, должна преодолевать сопротивление пружины, а также учитывать силы трения, возникающие при движении электромагнита во втулках. Подобный механизм обеспечивает надежное функционирование жалюзи, позволяя системе регулировать освещенность или тепло, поступающее через гелиоустановку, с минимальными задержками» [11].

Из конструктивных данных жалюзи имеем, что ход якоря электромагнита должен быть $\delta = 35\text{мм}$. Усилия в начале хода равно 50Н , а во включенном положении - 80 Н , поперечное сечение якоря электромагнита составляет $1,2\text{см}^2$.

В электромагните такой мощности магнитная индукция в стержнях рекомендуется в пределах $0,8\div 1,2\text{Тл}$

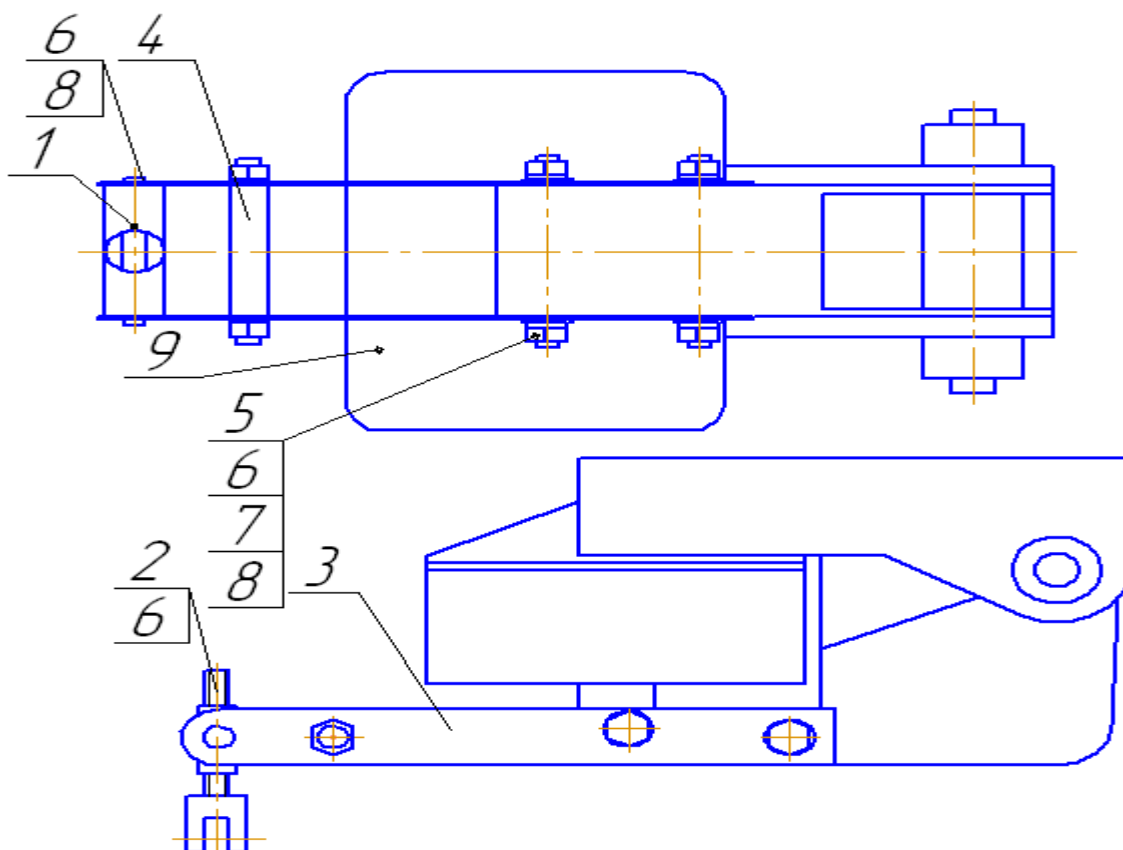


Рисунок 3.1 – Тяговый электромагнит. 1-валик; 2-винт; 3-планка; 4-стойка; 5-болт; 6-гайка; 7,8-шайба; 9-электромагнит.

3.3 Расчет пружины электромагнита

Для расчета пружины сжатия в данном механизме необходимо учитывать ряд ключевых параметров, связанных с нагрузкой, ходом и скоростью перемещения пружины.

Сила пружины при деформации (P1). В данном случае сила, при которой пружина начинает сжиматься под воздействием внешнего усилия, составляет 5 Н. Этот параметр важен для понимания того, какое начальное усилие потребуется для приведения пружины в движение.

Рабочая сила пружины (P2). Для данного электромагнита требуется сила пружины при сжатии, составляющая 50 Н. Это усилие определяется возможностями электромагнита и необходимостью преодоления сопротивления пружины и трения. Эта сила гарантирует, что пружина будет эффективно работать в заданных условиях, обеспечивая надежное

возвратное движение электромагнита [29].

Выносливость пружины (N). Параметр выносливости определяет срок службы пружины, который в данном случае рассчитывается как $1 \times 10^7 \times 10^7 \times 10^7$ циклов. Этот показатель важен для долговечности механизма, особенно если планируется частое срабатывание.

Рабочий ход пружины (h). Рабочий ход пружины составляет 35 мм, что учитывает соотношение плеч коромысла 1/3. Важно, что этот рабочий ход обеспечивает движение электродов на 105 мм, достаточное для безотказного срабатывания тиристорного ключа. Этот параметр определяет необходимую длину сжатия пружины в рабочем состоянии.

Диаметр пружины (D). Для установки пружины проектируется наружный диаметр, который должен соответствовать внутреннему диаметру отверстия 10 мм. Это отверстие необходимо для прохождения якоря электромагнита, и такой диаметр обеспечивает стабильность конструкции и плотное прилегание пружины в рабочем механизме.

«Максимальная скорость перемещения пружины (V0). Скорость перемещения пружины, принимаемая в расчетах, составляет 5 м/с. Данный параметр влияет на динамическую характеристику пружины и позволяет обеспечить быстрый возвратный ход, что необходимо для корректного и своевременного срабатывания электромагнита в системе управления» [14].

Для проектируемого механизма нам необходимо рассчитать пружину сжатия. Параметры этой пружины показаны на рисунке 3.2

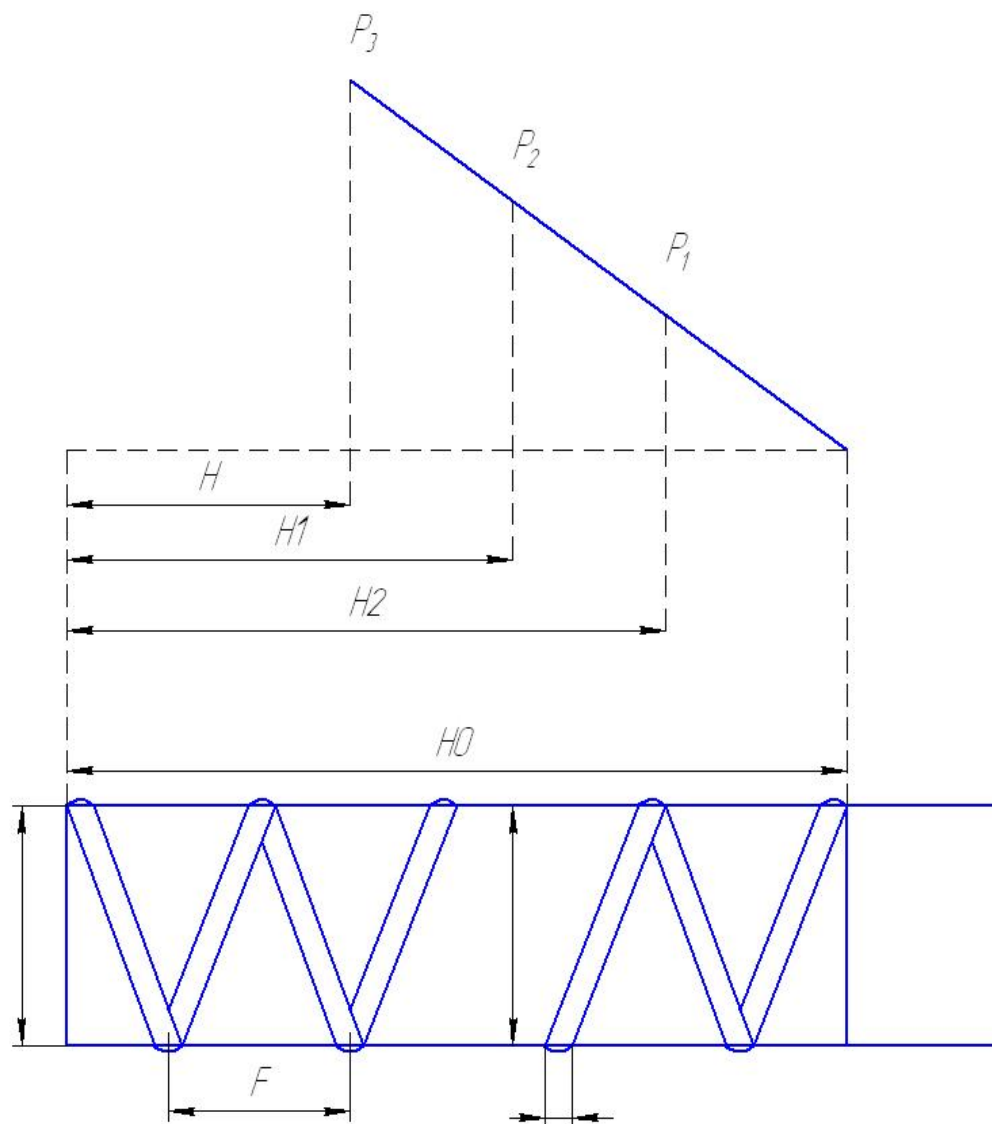


Рисунок 3.2 – Пружина сжатия

При заданной сопротивляемости пружина относится к первому классу. Определяем силу пружины при максимальной деформации P_3 , кг по формуле.

$$P_3 = \frac{P_2}{1 - \delta} \quad (3.1)$$

где P_3 - сила пружины при рабочей деформации (соответствует наибольшему перемещению подвижного звена в механизме);

δ - относительный инерционный зазор пружины сжатия. Для пружины сжатия 1, 2 классов $\delta = 0,05 \div 0,25(1)$.

$$P_3 = \frac{50}{1 - 0,05} \div \frac{50}{1 - 0,25} = 53 - 67 \text{ Н} \quad (3.2)$$

В интервале от 53,0 до 67,0 к ним относятся следующие силы 53,0; 56,0; 60,0; 63,0; 67,0.

"Учитывая, что для пружины 1 класса норма напряжения $\tau_3 = 0,36G$ находим, что для найденного диаметра проволоки расчетное напряжение $\tau = 0,3 \cdot 2100 = 630 \text{ Н/мм}^2$

Принадлежность к 1 классу проверяем путем определения отношения $\frac{V_0}{V_{cp}}$, для чего предварительно находим критическую скорость по формуле

$$V_{кр} = \frac{r \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{35.8} \quad (3.3)$$

$$V_{кр} = \frac{630 \left(1 - \frac{50}{67}\right)}{35.8} = 4.46 \text{ м/с}$$

$$\frac{V_0}{V_{cp}} = \frac{50}{4.46} = 1,12 > 1$$

«Найденная величина свидетельствует о наличии смятие витков в данной пружине и исходя из этого нужна жесткость какой должна быть обеспечена. Попробуем использовать пружину второго класса. Заданным внешним диаметром и найденными выше силами P_3 соответствует виток со следующими данными пружина № 264» [40].

$P_3 = 60 \text{ Н}; d = 1,2 \text{ мм}; D = 12 \text{ мм}; 2 = 16,46 \text{ Н/мм}.$

Учитывая норму напряжений для пружины II класса находим

$\tau = 0,50G_3 = 0,5 \cdot 2300 = 1150 \text{ Н/мм}^2.$

Тогда относительный инерционный зазор:

$$\delta = 1 - \frac{P_2}{P_3} \quad (3.4)$$

$$\delta = 1 - \frac{50}{60} = 0,167$$

и находим $V_{кр}, \frac{V_0}{V_{ед}}$ с помощью которых определяем принадлежность пружины до II класса.

$$V_{кр} = \frac{1150 \cdot 0,167}{35,8} = 5,36 \text{ м/с}$$

Найденная величина указывает на отсутствие смятия витков, и исходя из этого отсюда выбранная пружина удовлетворяет заданным условиям. Остальные размеры определяем по формулам.

Жесткость пружины

$$Z = \frac{P_2 - P_1}{\square} \quad (3.5)$$

$$Z = \frac{50 - 5}{35} = 1,29 \text{ Н/мм}$$

Число рабочих витков пружины

$$h = \frac{Z_1}{Z} \quad (3.6)$$

$$h = \frac{16,46}{1,29} = 12,5 \text{ шт.}$$

При ненагруженных витках полное их число будет:

$$h_1 = 12,5 + 1,5 = 14$$

Средний диаметр пружины

$$D_0 = 12 - 1,2 = 10,8 \text{ мм}$$

Вычисляем деформации, высоту и шаг пружины:

$$F_1 = \frac{P_1}{Z} = \frac{5}{1,29} = 3,8$$

$$F_2 = \frac{P_2}{Z} = \frac{50}{1,29} = 38$$

$$F_3 = \frac{P_3}{Z} = \frac{60}{1,29} = 45,5$$

$$H_3 = (\square_1 + 1 - \square_3) \cdot d = (14 + 1 - 15) \cdot 1,2 = 16,2 \text{ мм}$$

$$H_0 = H_3 + F_3 = 16,2 + 45,5 = 58,7 \text{ мм}$$

$$H_1 = H_0 + F_1 = 58,7 - 3,8 = 54,9 \text{ мм}$$

$$H_2 = H_0 + F_2 = 58,7 - 38 = 20,7 \text{ мм}$$

$$t = \phi_3 + d = 3,645 + 1,2 = 4,8$$

3.4 Приточно-вытяжные установки

Каждая шахта оборудована механизмами, реагирующими на изменения температуры, что обеспечивает эффективное распределение воздуха по всему пространству. В холодное время года установка активно вытягивает холодный воздух из помещения и заменяет его теплым воздухом, поступающим извне. В переходные сезоны, когда колебания температуры более часты, система автоматически адаптируется, увеличивая или уменьшая интенсивность воздухообмена для поддержания стабильного климата внутри помещения.

Благодаря гибкой настройке количества вентиляционных шахт, тепличные хозяйства могут точно регулировать микроклимат, что способствует улучшению условий для выращивания различных культур и повышению их урожайности.

Оптимизированные механизмы управления позволяют минимизировать энергопотребление, что положительно сказывается на эксплуатационных расходах. Надежность и простота обслуживания делают эту систему привлекательным выбором для широкого спектра применений, от коммерческих теплиц до промышленных складов.

Приточно-вытяжная установка ПВУ-6 представляет собой эффективное решение для поддержания стабильного микроклимата в помещениях, адаптируясь к изменяющимся погодным условиям и обеспечивая оптимальные условия для различных видов деятельности.

Сердце системы - двигатель М1, приводящий в движение вентилятор двухстороннего действия для постоянного притока и вытяжки воздуха. Вспомогательный двигатель М2 управляет заслонками, которые контролируют объем поступающего и выходящего воздуха. В выходных соплах размещены электронагревательные элементы, которые подогревают воздух в зимний период, предотвращая его охлаждение [27].

Для управления установкой вручную и выбора нужного режима

используются переключатели SA1, SA2 и SA3, что позволяет гибко адаптировать систему к условиям внутри и снаружи здания, поддерживая оптимальный микроклимат круглогодично.

3.5 Расчеты системы полива

В соответствии с «Нормами технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов» интенсивность полива почвы в теплице дождеванием должна быть не более 1 л на 1 кв. м в минуту.

При использовании проточных электрических водонагревателей их мощность (кВт) рассчитывают по формуле

$$P = \frac{Q}{3600} = \frac{kGc(t_k - t_n)}{\eta \Phi 3600} \quad (3.7)$$

где Q- количество тепла, потребное для нагрева поливочной воды, кДж/ч; Ф- время нагрева, ч; 3600 - термический эквивалент, кДж/(кВт·ч); k-1,1-1,2 коэффициент запаса; G - масса воды, подлежащая нагреву в течение часа, кг; c- удельная теплоемкость воды, =4,19 кДж/(кг·°C); t_k и t_n - температура нагрева воды конечная и начальная, °C; η - КПД водонагревателя.

Расход воды через проточный водонагреватель при норме 10 л/м² в течение 1 ч равен

$$G = \frac{10 \cdot 1440}{2} = \frac{1 \cdot 10 \cdot 1440}{2} = 7200 \text{ л} \quad (3.8)$$

Количество тепла, потребное для нагрева в течение часа 7200 л воды с учетом потерь в окружающую среду

$$Q = \frac{1,2 \cdot 7200 \cdot 4,19(25 - 4)}{0,98 \cdot 1} = 775748,5 \text{ кДж/ч} \quad (3.9)$$

Установленная мощность проточного электроводонагревателя

$$P = \frac{775748,5}{3600} = 215 \text{ кВт} \quad (3.10)$$

Эту величину можно рассматривать, как суммарную мощность отдельных проточных водонагревателей, установленных в теплице.

В соответствии с нормативами проектирования теплиц и тепличных

комбинатов, интенсивность полива методом дождевания не должна превышать один литр на один квадратный метр в минуту. Для обеспечения оптимальных условий выращивания рассады необходимо, чтобы температура поливочной воды находилась в диапазоне от 22 до 25 градусов Цельсия. Расход воды установлен на уровне 10 литров на квадратный метр, а продолжительность полива не должна превышать четырех часов в сутки.

Для поддержания заданной температуры воды используется проточный электрический водонагреватель. Мощность такого оборудования рассчитывается исходя из количества тепла, необходимого для нагрева воды, а также учитывая эффективность водонагревателя. В данном случае требуется нагреть воду с начальной температуры 4 градуса до конечных 25 градусов Цельсия. Теплица имеет площадь 1440 квадратных метров, и для полива рассады за два часа потребуется подогреть 7200 литров воды.

Расчет показал, что для обеспечения требуемого нагрева воды необходимо установить водонагреватели общей мощностью около 215 киловатт. Эта мощность обеспечивает достаточное количество тепла для поддержания нужной температуры поливочной воды, что важно для здорового роста растений и повышения урожайности. Кроме того, высокая эффективность оборудования позволяет минимизировать энергозатраты, что положительно сказывается на экономической стороне эксплуатации теплицы.

Для обеспечения эффективного полива в теплице площадью 1440 м² важно поддерживать необходимую температуру поливочной воды, что положительно сказывается на росте и здоровье растений. В этом случае расчет мощности проточного водонагревателя ориентирован на поддержание температуры воды в пределах 22-25 °С, так как более холодная вода может вызвать стресс у растений, замедлить их рост или привести к заболеваниям.

Подача воды осуществляется с интенсивностью, при которой на каждый квадратный метр подается 10 литров в час, что в данной теплице равняется 14 400 литрам в сутки. Однако для достижения требуемой температуры подогрев воды должен происходить быстро и равномерно, особенно в прохладное время

года. Важно, чтобы весь объем воды, проходящий через систему за установленный временной интервал, успевал достигнуть нужной температуры, иначе эффективность полива снижается.

Для того чтобы нагреть воду с температурой около 4 °С (обычная температура водопроводной воды) до требуемых 22-25 °С, рассчитывается достаточно высокая мощность нагревательного оборудования. Подогрев воды до нужной температуры требует постоянного притока тепловой энергии, поэтому мощность водонагревателя составляет около 215 кВт. Такая мощность позволяет оперативно нагревать большие объемы воды даже в условиях низких температур в помещении или при заборе холодной воды из источника [28].

Для достижения этой мощности можно использовать несколько водонагревателей, распределенных по теплице, чтобы равномерно подогревать воду. Такой подход обеспечивает стабильную подачу теплой воды в разные части системы полива, исключая перепады температуры в разных точках теплицы. Это особенно актуально в крупной теплице, где при неравномерном подогреве могут возникнуть участки с недостаточной или избыточной подачей тепла.

При этом правильная установка и автоматизация работы водонагревателей позволяют экономить электроэнергию и обеспечивают стабильное поддержание температуры воды на протяжении всего процесса полива.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Безопасность жизнедеятельности в электрификации

Электрификация в сельском хозяйстве стала основой перехода к индустриальным методам, повышая производительность труда и вводя автоматизированные технологии. Электрическая энергия широко используется в самых разных задачах: приведение в действие сельскохозяйственных машин, обогрев теплиц и животноводческих помещений, поддержание нужной температуры и вентиляции в отапливаемых помещениях.

Однако использование электричества требует строгого соблюдения правил безопасности, так как ток опасен для здоровья и жизни. Незнание основ безопасности, небрежное отношение к работе с электрическими установками может привести к серьезным травмам. Это особенно актуально в сельской местности, где расширение использования электрических устройств требует массового обучения правилам электробезопасности [31].

В сельском хозяйстве важно, чтобы сотрудники, работающие с электроприборами - электромонтеры, механизаторы, разнорабочие и другие специалисты - четко знали правила электробезопасности и соблюдали их на практике, что поможет предотвратить травматизм и сохранить здоровье работников.

4.2 Состояние охраны труда на предприятии

Среднесписочная численность сотрудников на протяжении трех лет снизилась: с 276 человек в 2021 году до 215 в 2022 году и 135 в 2023 году. Это может указывать на оптимизацию численности персонала, сокращение рабочих мест или текучесть кадров. Сокращение численности персонала может оказывать влияние на другие показатели, такие как коэффициенты частоты и тяжести травматизма, поскольку они выражены в расчете на 100 человек и

зависят от численности рабочих.

Число травм в течение рассматриваемых лет оставалось стабильным - по одному случаю в год, несмотря на сокращение численности персонала. Это может говорить о том, что меры безопасности оставались на одном уровне, но не были усилены с учетом уменьшения численности персонала. Однако следует учитывать, что абсолютное число травм - не единственный показатель, важны также показатели тяжести травм и потери рабочего времени.

Количество рабочих дней, потерянных в связи с травмами, демонстрирует положительную динамику. В 2021 году было потеряно 72 дня, в 2022 году - 35 дней, а в 2023 году - 21 день. Это говорит о сокращении средней длительности периода восстановления после травм, что может быть результатом улучшения медицинского обслуживания или более эффективных реабилитационных мер. Также это может указывать на то, что травмы становились менее серьезными с течением времени.

Число случаев заболеваний среди работников возрастало на протяжении всего периода: с 12 случаев в 2021 году до 16 случаев в 2023 году. Одновременно увеличилось и число дней, потерянных из-за болезней: с 187 дней в 2021 году до 231 дня в 2023 году. Это может свидетельствовать о повышенной нагрузке на оставшихся работников или об ухудшении условий труда. Также возможно, что рост заболеваемости связан с общими условиями здоровья или другими внешними факторами.

Коэффициент частоты травматизма, показывающий количество травм на 100 человек, возрос с 3,62 в 2021 году до 7,41 в 2023 году. Это увеличение связано с сокращением численности работников, поскольку число травм оставалось стабильным, но их доля на 100 человек увеличивалась. Этот показатель требует внимания, так как он может свидетельствовать о возросшей нагрузке на работников или о недостаточной адаптации условий труда к изменившейся численности персонала.

Коэффициент тяжести травматизма показывает среднее количество потерянных рабочих дней на одну травму. Этот показатель снизился с 72 в 2021

году до 21 в 2023 году, что свидетельствует о снижении тяжести травм и более быстром возвращении сотрудников к работе. Это положительная динамика, указывающая на возможное улучшение безопасности на рабочем месте или на более легкий характер травм.

Коэффициент потерь рабочего времени по травматизму на 100 человек также демонстрирует положительную динамику, снизившись с 260,87 в 2021 году до 155,55 в 2023 году. Этот показатель показывает, сколько рабочих дней было потеряно на каждые 100 работников. Снижение коэффициента указывает на уменьшение потерь рабочего времени из-за травм, что может быть результатом как улучшения условий труда, так и сокращения тяжести травм.

Данные указывают на определенные положительные изменения в области производственного травматизма, в частности на снижение тяжести травм и количества потерянных рабочих дней по причине травматизма. Однако рост заболеваемости сотрудников и увеличение коэффициента частоты травматизма на фоне снижения численности работников требуют дополнительных мер. Эти меры могут включать улучшение условий труда, внедрение профилактических программ для снижения заболеваемости и пересмотр стандартов безопасности с учетом изменившегося числа персонала [30].

4.3 Обстоятельства и причины травматизма

На предприятии за последние три года произошло три несчастных случая, каждый из которых выявил проблемы с соблюдением техники безопасности и эксплуатации оборудования.

В 2023 году инцидент произошел в теплице, где рабочий находился рядом с электроприводом форточек, который не был заземлен. Нарушив требования техники безопасности, сотрудник получил травму от удара электрическим током, что привело к потере 21 рабочего дня.

Использование просроченных строп и отсутствие заземления на опасных участках указывают на недоработки в системе обеспечения

безопасности. Нарушения безопасной дистанции при погрузке и пренебрежение правилами работы с электроустановками свидетельствуют о необходимости дополнительного обучения сотрудников.

Для предотвращения подобных происшествий потребуется комплексный подход, который включает в себя регулярное техническое обслуживание, контроль за соблюдением норм безопасности и обучение персонала безопасным методам работы.

4.4 Мероприятия по предупреждению травматизма

Для создания безопасной рабочей среды и минимизации травматизма на предприятии, основываясь на анализе происшествий, можно предложить комплекс мероприятий, которые не только улучшат текущие условия труда, но и сформируют долгосрочную систему безопасности:

Перед началом работы каждый сотрудник должен проходить инструктаж, адаптированный к его рабочим обязанностям и предполагающимся условиям труда. Такой инструктаж должен охватывать не только общие правила безопасности, но и специфические требования для работы с определенным оборудованием и материалами. Сотрудников важно обучить устройству используемых механизмов, алгоритмам действий в случае нестандартных ситуаций и правилам безопасного обращения с различными приспособлениями. Особое внимание следует уделять тому, чтобы каждый работник понимал риски, связанные с его задачами. Регулярные тестирования, включая практические экзамены, позволят оценить уровень знаний и выявить необходимость в дополнительном обучении.

Эксплуатация оборудования и приспособлений допустима только при условии их полной исправности и соответствия установленным техническим требованиям. Важно организовать регулярные осмотры оборудования, во время которых специалисты проверяют рабочее состояние каждого механизма и выявляют потенциальные неисправности. Превентивное обслуживание и

своевременная замена изношенных деталей позволят избежать опасных ситуаций, связанных с отказом техники. Рекомендуется разработать график профилактического обслуживания и ремонта, который охватывает все виды техники на предприятии, а также внедрить систему учета износа оборудования и даты последней проверки.

Для поддержания высокого уровня безопасности на производстве обучение сотрудников должно проводиться на регулярной основе. Оно должно включать как базовые навыки безопасного выполнения работ, так и специализированные знания, касающиеся работы с конкретными видами техники. По окончании каждого цикла обучения необходимо проводить аттестацию, проверяя, насколько сотрудники усвоили новые знания и готовы ли применять их на практике. Кроме того, на предприятии следует организовать программы повышения квалификации, которые помогут работникам адаптироваться к обновлениям в технике и оборудовании, нововведениям в правилах безопасности и современным методам выполнения работ. Дополнительно, стоит ввести повторные курсы при изменении условий труда, установке нового оборудования или обновлении нормативных актов.

Введение на предприятии системы поощрений для сотрудников, которые неукоснительно соблюдают правила безопасности, может стать стимулом для более ответственного подхода к работе. Премии, дополнительные выходные дни или награды за соблюдение стандартов и активное участие в программах безопасности способствуют развитию культуры безопасного труда и укрепляют стремление персонала поддерживать безопасные условия на производстве [26].

На предприятии должна быть предусмотрена система контроля за соблюдением норм безопасности и установлены четкие меры ответственности за их нарушения. Периодические проверки, как плановые, так и внезапные, помогут своевременно выявлять случаи несоблюдения правил. Важно, чтобы сотрудники понимали последствия халатного отношения к безопасности, что включает дисциплинарные меры в случае игнорирования инструкций и

нарушений. Важно, чтобы руководство подавало положительный пример и поддерживало культуру строгого выполнения инструкций.

Для улучшения системы безопасности полезно организовать на предприятии регулярное обсуждение происшествий, если они все же произошли, с акцентом на анализе причин и возможных мер их предотвращения. Создание безопасной обратной связи позволит сотрудникам сообщать о потенциальных опасностях или факторах риска до того, как они станут причиной происшествия. Своевременное обсуждение таких случаев и совместный поиск решений укрепят ответственность за общее благополучие и создадут более доверительную атмосферу.

На предприятии целесообразно организовать информационные стенды и интерактивные уголки по вопросам безопасности труда, где будут размещаться инструкции, плакаты, схемы эвакуации, а также наглядные материалы, напоминающие о правильных действиях в опасных ситуациях. Такие стенды должны регулярно обновляться, чтобы сотрудники могли отслеживать любые изменения в правилах или оборудовании.

Эти мероприятия направлены на формирование целостной системы безопасности на предприятии, где каждый сотрудник осознает свою ответственность за соблюдение норм и готов активно участвовать в обеспечении безопасных условий труда.

4.5 Мероприятия по предупреждению заболеваний

Для профилактики профессиональных заболеваний среди работников рекомендуется внедрить следующие мероприятия, направленные на улучшение условий труда и снижение негативных воздействий окружающей среды на здоровье сотрудников

Регулярные проверки состояния системы отопления позволят обеспечить поддержание комфортной температуры на рабочих местах, что особенно актуально в холодный период года. Необходимо произвести инспекцию труб и

радиаторов, оценив их эффективность и срок службы. При выявлении изношенности элементов системы отопления, рекомендуется их замена на современные модели, обладающие большей энергоэффективностью и надежностью. Это не только улучшит микроклимат, но и снизит риск заболеваний, связанных с переохлаждением.

В производственных зонах, таких как моечные и сварочные участки, происходит интенсивное выделение вредных веществ, которые при недостаточной вентиляции накапливаются в воздухе и оказывают негативное воздействие на здоровье работников. Повышение мощности и производительности системы вентиляции, установка фильтров и регулярная чистка воздухопроводов позволят значительно снизить концентрацию вредных веществ и создать условия, отвечающие санитарным нормам. Это особенно важно для профилактики заболеваний органов дыхания и аллергических реакций.

Адекватное освещение на рабочих местах помогает снизить нагрузку на зрение, уменьшить риск ошибок и повысить производительность. Установка дополнительных ламп в производственных зонах, особенно в местах с недостаточной естественной освещенностью, способствует созданию комфортных условий для работы. Яркое и равномерное освещение поможет предотвратить утомляемость глаз и уменьшит риск травм, связанных с недостаточной видимостью.

Обустроенные зоны для отдыха на открытом воздухе позволят сотрудникам проводить обеденные перерывы в комфортных условиях, благоприятных для здоровья. Вдыхание свежего воздуха, смена обстановки и возможность расслабиться во время перерыва улучшают общее самочувствие работников, повышают их работоспособность и снижают уровень стресса. Эти площадки также способствуют профилактике заболеваний, связанных с недостаточной физической активностью и постоянным нахождением в закрытых помещениях [25].

Заземление электрооборудования является обязательным требованием техники безопасности, обеспечивая защиту работников от поражения

электрическим током. Установка контурного заземления на все оборудование с электроприводом на предприятии поможет предотвратить случаи травматизма и заболевания, вызванные длительным воздействием электромагнитных полей и электрического тока. Регулярные проверки заземления должны стать частью плана профилактического обслуживания, что обеспечит безопасность работников при эксплуатации оборудования.

4.6 Противопожарные мероприятия

Изношенная электропроводка и устаревшее оборудование представляют серьезную угрозу, так как они могут стать источником возгорания из-за короткого замыкания или перегрева. Проведение полной замены неисправных проводов и замена устаревших электроприборов на новые модели обеспечат стабильное и безопасное функционирование электрической системы. Современные материалы и технологии, применяемые в новых системах электропроводки, обладают высокой огнестойкостью, что дополнительно снижает риск возникновения пожара.

Все эвакуационные выходы должны быть освобождены от посторонних предметов и препятствий, чтобы в случае возникновения чрезвычайной ситуации сотрудники могли быстро и безопасно покинуть здание. Регулярные проверки на предмет загромождения выходов позволят своевременно устранять любые препятствия и обеспечивать их свободную доступность. Четкие указатели и знаки, указывающие путь к выходам, также помогут сотрудникам ориентироваться при эвакуации.

Противопожарные щиты должны содержать все необходимые инструменты и средства для первичного тушения огня, включая огнетушители, пожарные краны, ломы, ведра и песок. Доукомплектование и регулярные проверки противопожарных щитов на наличие и исправность инструментов и оборудования позволят обеспечить готовность к оперативной ликвидации возгорания на начальной стадии. Также рекомендуется проводить обучение персонала по использованию огнетушителей и других средств, размещенных на щитах, чтобы

каждый сотрудник знал, как действовать при возникновении огня.

4.7 Мероприятия по улучшению условий труда

Обеспечение качественного воздухообмена на рабочих местах имеет большое значение для поддержания здоровья работников и их производительности. Увеличение мощности вентиляционной системы позволит быстрее и эффективнее удалять загрязненный воздух, пары и вредные выделения, что особенно важно на участках с интенсивным использованием химических материалов и сварочного оборудования. Такая модернизация снизит концентрацию вредных веществ в воздухе и создаст более комфортный микроклимат, благоприятный для здоровья сотрудников.

Достаточная герметизация проемов поможет устранить сквозняки и предотвратить потерю тепла в холодное время года, что благоприятно скажется на уровне комфорта на рабочих местах. Дополнительная изоляция окон и дверей также способствует снижению затрат на обогрев помещений, улучшая тепловой баланс внутри производственных зданий. Плотное прилегание оконных и дверных конструкций будет способствовать удержанию оптимальной температуры, что особенно важно для поддержания здоровья работников в зимний период.

В зависимости от специфики выполняемых работ сотрудники должны быть оснащены всеми необходимыми средствами индивидуальной защиты, такими как каски, перчатки, очки, респираторы и защитная одежда, в соответствии с типовыми отраслевыми нормами. Выдача СИЗ позволяет предотвратить травмы и снизить воздействие вредных факторов. Также рекомендуется регулярно проверять состояние средств защиты и своевременно заменять их, обучать персонал правильному использованию СИЗ, что обеспечит дополнительный уровень защиты и снизит риск профессиональных заболеваний.

4.8 Экологичность проекта

4.8.1 Описание экологически вредных факторов производства

Удобрения, особенно химические, при неправильном хранении могут выделять вредные вещества, которые загрязняют воздух в помещении. Это повышает риск вдыхания токсичных паров, что может привести к ухудшению здоровья сотрудников, вызвать аллергические реакции и заболевания дыхательных путей. Хранение удобрений без специального оснащения и вентиляции также способствует накоплению опасных веществ в воздухе, создавая неблагоприятные условия для работы.

Накопление отходов тепличного производства, таких как остатки растений, упаковочные материалы и пластиковые емкости, на прилегающей территории ведет к засорению окружающей среды и ухудшению санитарных условий. Такие отходы могут разлагаться очень долго, загрязняя почву и водные ресурсы. Кроме того, неупорядоченное хранение отходов способствует привлечению грызунов и насекомых, что увеличивает риск распространения болезней и ухудшает экологическую обстановку вокруг предприятия.

4.8.2 Мероприятия по обеспечению экологически чистого производства

Хранение удобрений должно осуществляться в отдельном, хорошо вентилируемом помещении с контролируемой температурой и влажностью. Такой подход не только предотвращает распространение токсичных паров и запахов, но и способствует сохранению качества удобрений. Использование герметичных контейнеров и безопасное складирование помогут избежать утечек и снизят риск случайного попадания удобрений в рабочую зону или на окружающую территорию.

Для утилизации ботвы целесообразно отвести специальное огражденное место вдали от рабочих помещений и жилых зон. Это обеспечит контроль над процессом сжигания и минимизирует выбросы вредных веществ в воздух. Однако, более экологичным решением станет переработка ботвы в

биоудобрения. Компостирование растительных остатков позволит обогатить почву, снизить количество отходов и уменьшить потребность в химических удобрениях, что в долгосрочной перспективе благоприятно скажется на экологии и позволит создать замкнутый цикл использования ресурсов [12].

Для поддержания чистоты на территории предприятия необходимо организовать систему регулярного сбора и вывоза отходов. Все отходы следует сортировать, обеспечивая раздельное хранение для утилизации, переработки или безопасного захоронения. Заключение договоров с лицензированными организациями, занимающимися вывозом и переработкой отходов, обеспечит соблюдение экологических норм. Постоянный контроль за чистотой и порядок на территории также снизят негативное воздействие на окружающую среду и предотвратят возможные санитарные нарушения.

4.9 Заземление

Заземление – одна из наиболее эффективных защитных мер в электроустановках, обеспечивающая безопасность персонала и оборудования. Оно создается посредством преднамеренного соединения электроустановок с землей, что необходимо для отвода электрического тока в случае короткого замыкания или утечки. Это снижает вероятность поражения человека электрическим током и обеспечивает стабильную работу электрических систем.

Угловая сталь используется как заземлитель благодаря прочности и стойкости к внешним воздействиям. Требования к толщине полосы различаются в зависимости от расположения: в помещении допустима толщина 2 мм, в наружных установках - 2,5 мм, а при закладке в грунт рекомендуется толщина не менее 4 мм, чтобы заземлитель сохранял свою форму и проводимость в условиях воздействия влаги и коррозии.

Круглый заземлитель изготавливается с минимальным диаметром 5 мм для внутренних установок, тогда как в наружных установках и грунте диаметр

должен быть не менее 6 мм. Это обусловлено необходимостью выдерживать механические и коррозионные нагрузки вне здания.

Прямоугольный заземлитель должен иметь сечение не менее 24 мм² в здании и 48 мм² на улице и в земле. Более крупное сечение необходимо для устойчивости к износу и долговечности при эксплуатации на улице и под землей.

Стальные трубы также используются в качестве заземлителей. Для газопроводных труб внутри и снаружи помещений толщина стенок должна быть не менее 2,5 мм, а в грунте - не менее 3,5 мм. Это связано с повышенными требованиями к прочности и устойчивости к коррозии под землей. Тонкостенные стальные трубы, с толщиной стенок 1,5 мм, допускаются только внутри здания, так как они более подвержены деформациям и коррозии, особенно при использовании на улице или под землей.

Заземлители и заземляющие проводники, которые устанавливают под землей, запрещается окрашивать. Это связано с необходимостью поддержания максимального контакта проводника с землей для эффективного отвода электрического тока. Окрашивание или нанесение изоляционных покрытий на такие проводники может ухудшить их проводимость и снизить защитные свойства [10].

В электроустановках с напряжением до 1000 В толщина (сечение) заземляющих проводников должна соответствовать минимальным значениям, приведенным в таблице, чтобы обеспечить надежность и безопасность системы заземления.

Для медных проводников, которые обладают высокой проводимостью, минимальное сечение составляет:

- мм² для открытой прокладки без изоляции,
- 1,5 мм² для изолированных проводников,
- 1 мм² для заземляющих жил, входящих в состав многожильных кабелей с защитной оболочкой.

Для алюминиевых проводников, которые менее устойчивы к окислению,

минимальное сечение увеличено:

- мм^2 для открытой прокладки,
- $2,5 \text{ мм}^2$ для изолированных проводников,
- $1,5 \text{ мм}^2$ для жил в многожильных кабелях с общей защитной оболочкой.

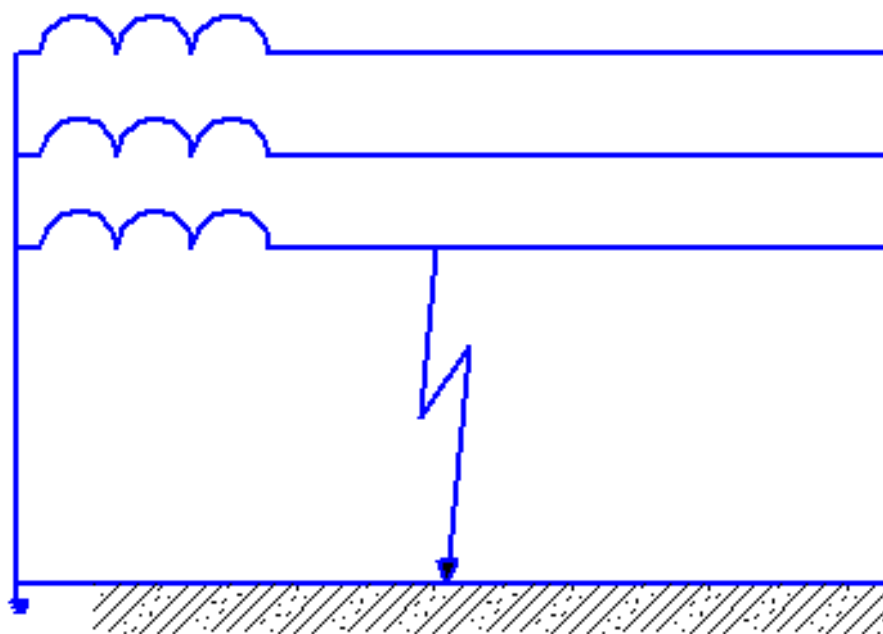


Рисунок 4.1 – Схема трехфазной сети с заземленной нейтралью

Самостоятельное заземление корпуса электрооборудования без связи с сетью категорически запрещено, поскольку оно может не обеспечить достаточной защиты при повреждении изоляции. Такой подход гарантирует, что в случае возникновения утечки тока через металлические части оборудования, ток будет эффективно отводиться через нулевой провод, предотвращая поражение электрическим током и снижая риск пожаров.

Применение глухозаземленной нейтрали в сельских электрических сетях способствует созданию безопасной эксплуатации электроустановок. Надежное соединение нейтрали с заземляющим устройством позволяет быстро обнаруживать и устранять неисправности, связанные с нарушением изоляции. Это особенно важно в сельской местности, где условия эксплуатации могут быть более суровыми, а доступ к квалифицированным специалистам ограничен. Правильное заземление и зануление металлических частей электрооборудования

обеспечивают дополнительный уровень защиты, снижая вероятность аварийных ситуаций и повышая общую надежность электрических систем.

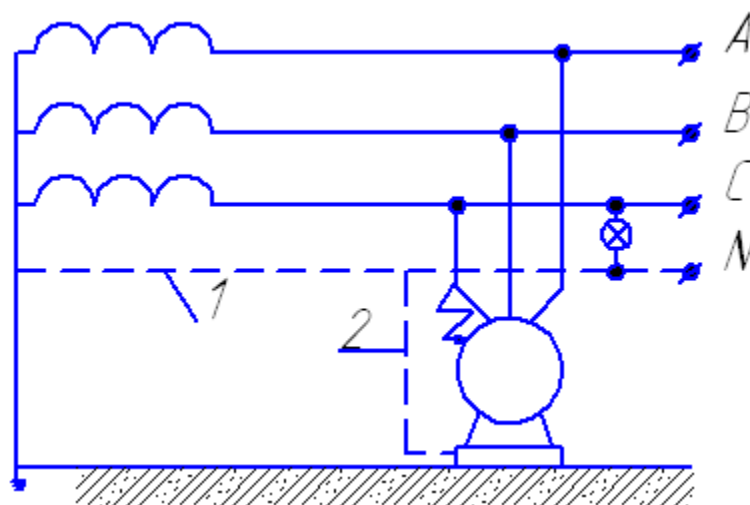


Рисунок 4.2 – Схема трехфазной сети с заземленным нулевым проводом:

1 - нулевой провод; 2- зануляющий провод

На рисунке 4.3 показана электрическая схема установки, у которой заземлен корпус электродвигателя. При нарушении изоляции и замыкания на корпус между ним и землей будет напряжение, величина которого прямо пропорциональна сопротивлению заземления.

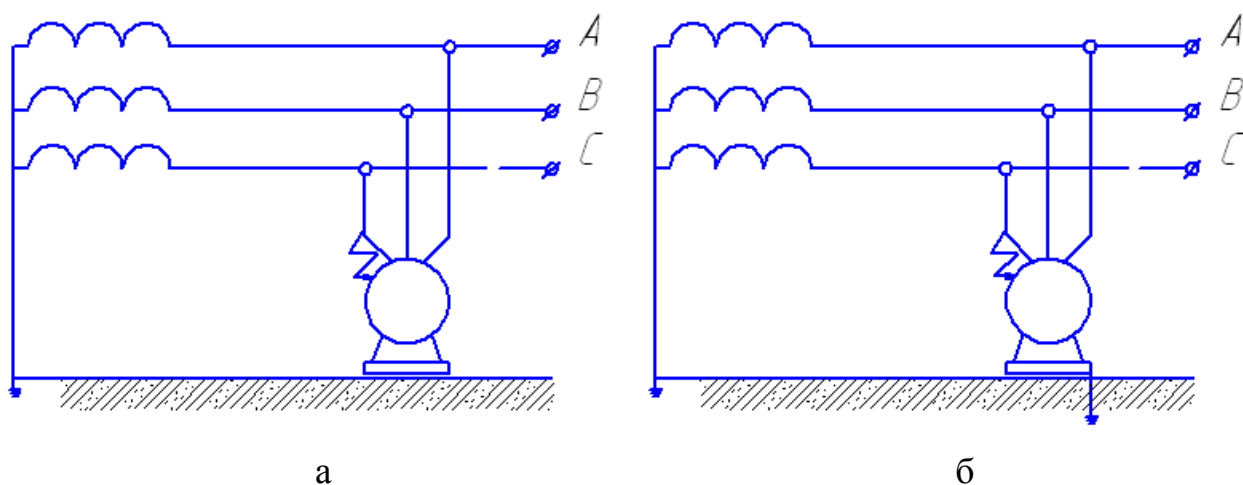


Рисунок 4.3 – Схема заземления электродвигателя:

а - без заземления корпуса; б - с заземлением корпуса

«Чем ниже сопротивление заземления корпуса электродвигателя, тем меньше разница напряжений между корпусом и землей, что существенно снижает риск поражения электрическим током. Для достижения эффективной защиты и минимизации этого напряжения заземлитель следует устанавливать как можно ближе к оборудованию, непосредственно возле электродвигателя. В электрических сетях с глухозаземленной нейтралью основная задача заземления заключается также в увеличении тока при замыкании на землю. Это позволяет защитным устройствам срабатывать быстрее, обеспечивая своевременное отключение питания и предотвращая аварийные ситуации» [20].

Надежная система заземления помогает предотвратить поражение электрическим током и минимизировать риски возникновения пожаров, обеспечивая безопасные условия труда для сотрудников [31].

В таких помещениях правила требуют создания общей заземляющей магистрали, которая проходит вдоль стен. Эта магистраль должна быть выполнена из стальной полосы с размерами $3 \times 3 \text{ мм}^2$ или круглым проводом диаметром не менее 5 мм и соединена с нулевым проводом на входе в помещение.

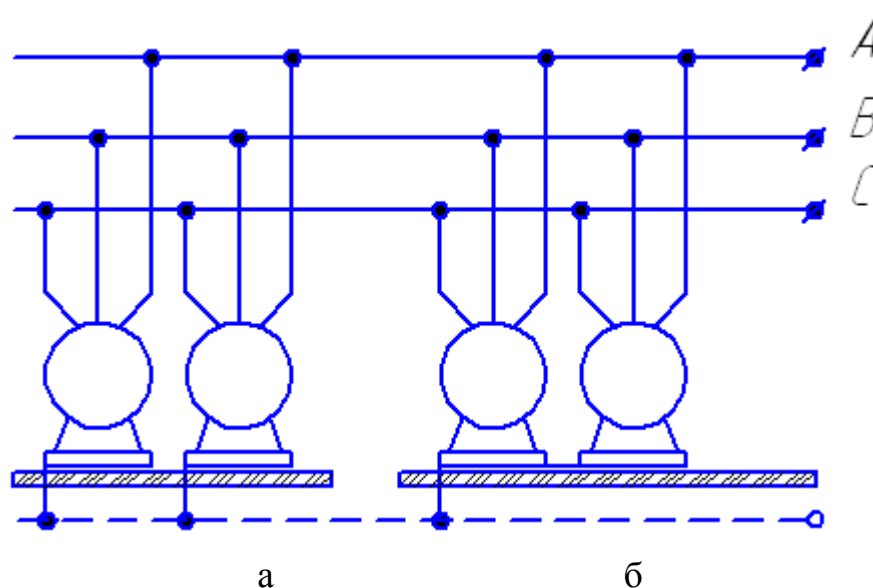


Рисунок 4.4 – Схемы заземления электродвигателей:

а - правильная; б - неправильная

Часто нулевой провод используется не только для зануления, но и в качестве рабочего при подключении однофазных устройств. В таких случаях его называют зануляющим, так как он выполняет сразу две функции: служит рабочим проводом для оборудования и обеспечивает защитное отключение при возникновении замыкания на землю.

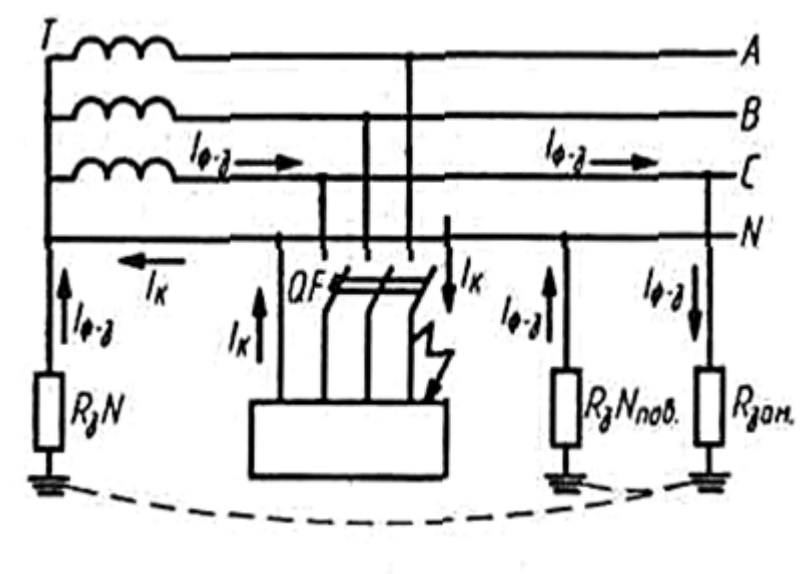


Рисунок 4.5 – Схема зануления при наличии короткого замыкания фазы А на корпус и замыкания фазы С на землю:

N – нулевой проводник, $I_{\phi-з}$ – ток замыкания на землю, I_K – ток короткого замыкания, R_{Σ} – сопротивление заземления нулевого провода, $R_{\Sigma_{пов}}$ – тоже повторное, $R_{\Sigma_{зам}}$ – сопротивление замыкания фазы на землю.

Для воздушных линий напряжением 380/220 В, снабжающих фермы и животноводческие хозяйства, нормативы требуют, чтобы глухозаземленный нулевой провод имел то же сечение и материал, что и фазные провода. В случае невозможности снизить риск коротких замыканий другими методами допускается использование нулевого провода с большим сечением, чем у фазных проводов, для повышения надежности и устойчивости линии.

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы разработана система управления микроклиматом теплицы, обеспечивающая повышение энергоэффективности сельскохозяйственного производства. В рамках работы выполнены детальные расчеты для систем электрообогрева почвы, вентиляции и полива, что дает возможность оптимизировать энергопотребление теплицы. Благодаря внедренным решениям система создаёт условия, поддерживающие оптимальный температурный и влажностный режимы, необходимые для роста растений в защищенном грунте, что, в свою очередь, способствует повышению урожайности и снижению затрат на энергию.

Анализ существующего тепличного хозяйства показал необходимость модернизации оборудования для обеспечения автоматизированного управления микроклиматом. На основе проведенных расчетов предложены решения по снижению энергозатрат, включая внедрение электротермических систем с пониженным напряжением, системы зонного обогрева, а также усовершенствование конструкции теплицы с углубленным основанием. Это позволяет существенно снизить затраты на отопление и охлаждение тепличных помещений.

Разработанная система управления микроклиматом обеспечивает автоматическое регулирование температуры, влажности, вентиляции и освещения, что создает оптимальные условия для выращивания сельскохозяйственных культур при минимальных трудозатратах. Применение автоматизированных систем управления позволяет значительно сократить расход энергоресурсов и повысить производительность тепличного хозяйства ООО «Фазенда».

Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности ООО «Фазенда» в различных климатических условиях России,

а также для дальнейшего совершенствования технологий управления микроклиматом в сельскохозяйственном производстве.

Список используемых источников

1. ГОСТ 2.701-2018 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению (с Поправкой),
2. ГОСТ 2.710-81 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
3. ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем.
4. Бородин И.Ф., Судник Ю. А. «Автоматизация технологических процессов». - М.: КолосС, 2018 г.
5. Суворин А. В. Электротехнологические установки / А. В. Суворин - Красноярск.: Сиб. федер. ун-т, 2017.
6. Багаев А.А. Электротехнология / А.А. Багаев, А.И. Багаев, Л.В. Куликова - Барнаул.: Алт. гос. аграр. ун-т. - 2019.
7. Рекурс Г.Г. Электрооборудование производств / Г.Г. Рекурс - М.: Высш, шк, 2018.
8. Аутко А.А. Тепличное овощеводство /А.А. Аутко, Н.Н. Долбик, И.П.Козловская - М.: УП «Технопринт». - 2019.
9. Брызганов В.А. Овощеводство защищенного грунта В.А. Брызгалов, В.Е. Советкина, Н.И. Савинова. - Л.: КолосС. - 2018.
10. Грибов А.Ф. Справочник электрика по выбору КРУ с АВР / А.Ф. Грибов, А.А. Михайлов, Н.М. Свищев - М.: КолосС. - 2019.
11. Джураев Ш.С., Мамаханов А.А., Шарибаев Н.Ю. и др. Логическое реле Owen для автоматизированной системы управления // Universum: технические науки. 2020. № 8-1 (77). С. 48-51.
12. Довлатов И.М., Смирнов А.А., Соколов А.В. и др. Выбор типа освещения для выращивания растений гидропонным способом на стеллажах // Инновации в сельском хозяйстве. 2020. № 2 (35). С. 111-118.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613871 РФ. Программа для беспроводного мониторинга и управления микроклиматом тепличной системы Д.Ю. Донской, А.Д. Лукьянов, Е.П. Ключка. Заявка № 2020612810, заявл. 11.03.2020, опубл. 23.03.2020.
14. Иванов Д.И., Иванова Н.Н., Родионова А.С. Изучение состава субстрата для выращивания рассады овощных культур // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 73-2. С. 138-141.
15. Инжуватов Д.А., Калмаматов А. Использование математических моделей в энергетической сфере деятельности человека // European Journal of Renewable Energy. 2021. Т. 1. № 6. С. 3-8.
16. Инжуватов Д.А., Краснов И.А. Анализ возможности внедрения энергосберегающих технологий в России // European Journal of Renewable Energy. 2021. Т. 1. № 6. С. 9-14. DOI: 10.13187/ejre.2021.1.9
17. Качан С.А. Способ рециклинга гидропонного субстрата на основе кокосового волокна // Инновации в сельском хозяйстве. 2020. № 2. С. 44-50.
18. Князева И.В. Искусственное освещение для получения функциональных продуктов питания // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12 (165). С. 25-31. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-25-31
19. Козликин В.О. Распределение систем управления микроклиматом теплицы с возможностью регулировки // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2019. № 14. С. 48-51.
20. Комарова А.О., Карпухин М. Ю., Выращивание томатов на малообъёмной гидропонике// Молодёжь и наука. 2018. №7. С. 6. EDN: YUOUFN
21. Луняшина И.А., Юрина А.В. Влияние сорта и субстрата на изменение морфобиологических характеристик и урожайности микрозелени редьки (*Raphanus* при выгонке на гидропонике в защищенном грунте // Молодёжь и наука. 2019. № 7-8. С. 12.

22. Мусин А.Н., Садов А.А., Носков А.И. Опыт создания малообъёмной гидропонной установки с использованием микроконтроллеров // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2020. № 2 (7). С. 68-74.
23. Плотникова Л.Я., Самойлов В.Н. Влияние интенсивности и спектров излучения светодиодных светильников на рост и морфогенез салата листового // Успехи современного естествознания. 2021. № 4. С. 21-26. DOI: 10.17513/use.37602
24. Погорелова М.А., Суворов О.А., Кузнецов А.Л. и др. Актуальные проблемы безопасного обеззараживания гидропонных субстратов агропромышленных комплексов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 1. С. 12-21. DOI: 10.14529/food200102
25. Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Прокофьева М.Ю. Возможная активация С3-пути фотосинтеза у С4-галофита *Kochia prostrata* под влиянием повышенной концентрации CO₂ // Физиология растений. 2021. Т. 68. № 6. С. 622-630. DOI: 10.31857/S0015330321060166
26. Садов А.А., Носков А.И., Волков Д.О. Модель полуавтоматизированной роторной гидропоники // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2019. № 4. С. 50-56. EDN: ZWMVEO
27. Садов А.А., Потетня К.М., Носков А.И. Проект роторной гидропонной установки с автоматизированным процессом выращивания культур // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2019. № 3. С. 39-45.
28. Сирота С.М., Пинчук Е.В., Козарь Е.Г. и др. Перспективы использования многоярусной узкостеллажной установки (МУГ) в селекции редиса европейского // Овощи России. 2021. № 2. С. 26-33. DOI: 10.18619/2072-9146-2021-2-26-33

29. Воронин Б. А., Потехин В. Н., Потехин Н. А. и др. Формирование и развитие человеческого капитала в сельских территориях. Монография. Екатеринбург, 2021. 136 с.
30. Мусин А.Н., Садов А.А., Носков А.И. Опыт создания малообъёмной гидропонной установки с использованием микроконтроллеров // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2020. № 2 (7). С. 68-74.
31. Рябков Г. О., Хомякова М. А. Электроэнергетика в мире цифровых технологий: вопросы правового регулирования //Аграрное образование и наука. 2021. № 1. С. 8.
32. S. M. Rezvani et al., “IoT-Based Sensor Data Fusion for Determining Optimality Degrees of Microclimate Parameters in Commercial Greenhouse Production of Tomato,” *Sensors*, vol. 20, no. 22, p. 6474, 2020
33. R. R. Shamshiri, J. W. Jones, K. R. Thorp, D. Ahmad, H. C. Man, and S. Taheri, “Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review,” *Int. Agrophysics*, vol. 32, no. 2, pp. 287-302, 2018
34. D. Ma, N. Carpenter, H. Maki, T. U. Rehman, M. R. Tuinstra, and J. Jin, “Greenhouse environment modeling and simulation for microclimate control,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 162, no. November 2018, pp. 134-142, 2019
35. M. C. Singh, J. P. Singh, and K. G. Singh, “Development of a microclimate model for prediction of temperatures inside a naturally ventilated greenhouse under cucumber crop in soilless media,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 154, no. August, pp. 227-238, 2018
36. W. Xin, W. Yu, Z. Yuanyuan, N. Xindong, and W. Shumao, “Intelligent Gateway for Heterogeneous Networks Environment in Remote Monitoring of Greenhouse Facility Information Collection,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 17, pp. 217-222, 2018
37. J. W. Jones, A. Kenig, and C. E. Vallejos, “Reduced state–variable tomato growth model,” vol. 42, no. 1994, pp. 255-265, 1999

38. A. Pérez-González, O. Begovich-Mendoza, and J. Ruiz-León, "Modeling of a greenhouse prototype using PSO and differential evolution algorithms based on a real-time LabView™ application," *Appl. Soft Comput.*, vol. 62, pp. 86-100, 2018
39. J. Chen, Y. Ma, and Z. Pang, "A mathematical model of global solar radiation to select the optimal shape and orientation of the greenhouses in southern China," *Sol. Energy*, vol. 205, pp. 380-389, 2020
40. R. Shamshiri et al., "Comparative evaluation of naturally ventilated screenhouse and evaporative cooled greenhouse based on optimal vapor pressure deficit," in 2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, ASABE 2016, 2016
41. D. Shamshiri, R., Ismail, W. I. W., & bin Ahmad, "Experimental evaluation of air temperature, relative humidity and vapor pressure deficit in tropical lowland plant production environments," *Adv. Environ. Biol.*, 2014