

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 кафедры)

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Разработка системы автоматического управления микроклиматом
цеха по выращиванию грибов агропромышленного предприятия»

Обучающийся

Д.В. Пономарев

(Инициалы. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, М.В. Позднов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Разработка системы автоматического управления микроклиматом цеха по выращиванию грибов агропромышленного предприятия».

Выпускная работа состоит из четырех разделов, логически связанных между собой: введение, анализ объекта исследования, расчет энергетических характеристик системы управления микроклиматом, разработка системы автоматического управления микроклиматом, технико-экономическое обоснование проекта.

Ключевым вопросом бакалаврской работы является разработка всей необходимой проектной документации для создания на агропромышленном предприятии системы автоматического поддержания микроклимата в помещении по выращиванию грибов.

Целью бакалаврской работы является разработка системы автоматического поддержания микроклимата в помещении по выращиванию грибов.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только для создания микроклимата в помещении для выращивания грибов, но и при выращивании с искусственным микроклиматом других сельскохозяйственных культур, например, огурцы, помидоры, зелень и т.п.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ объекта исследования.....	6
1.1 Анализ хозяйственной деятельности.....	6
1.2 Описание действующего производства по выращиванию грибов.....	6
2 Расчет энергетических характеристик системы управления микроклиматом.....	11
2.1 Характеристика электрических сетей.....	11
2.2 Расчет необходимого воздухообмена.....	11
2.3 Расчет системы освещения.....	14
3 Разработка системы автоматического управления микроклиматом.....	27
3.1 Разработка функциональной схемы автоматизации, определение параметров контроля и регулирования.....	27
3.2 Расчет и выбор технических средств автоматики.....	29
3.3 Разработка электрической принципиальной схемы.....	32
3.4 Выбор пусковой и защитной аппаратуры.....	34
3.5 Проектирование шкафа управления.....	38
3.6 Анализ и синтез схемы автоматизации.....	39
4 Техничко-экономическое обоснование проекта.....	46
4.1 Смета проекта.....	46
4.2 Экономическая эффективность проекта.....	47
Заключение.....	51
Список используемых источников.....	53

Введение

Пищевая промышленность стала одной из первых отраслей, успешно адаптировавшихся к условиям рыночной экономики, продемонстрировав способность эффективно преодолевать последствия кризиса, характерного для 1990-х годов в России. В результате этого процесса в отрасли стали заметны значительные и устойчивые положительные изменения в производственных и экономических показателях.

С начала 1999 года темпы роста объемов производства в пищевой промышленности начали демонстрировать стабильный и последовательный подъем. Этот процесс привел к увеличению её удельного веса и роли в общей структуре выпускаемой продукции, что стало важным показателем для экономики в целом. Важнейшим фактором, способствовавшим данному росту, стало замещение импортной продукции на отечественные товары. Такое замещение стало возможным благодаря не только улучшению качества отечественных товаров, но и стабильному валютному курсу в период 1997–1998 годов, что вместе создало благоприятные экономические условия для расширения отрасли [30].

Следовательно, пищевая промышленность проявляет высокую инвестиционную привлекательность, особенно заметную в сегменте, связанном с выращиванием грибов, который вызывает все больший интерес. Однако, несмотря на перспективы, развитие данного направления ограничивается значительной энергоемкостью производственного процесса. Это обстоятельство стимулирует активное внедрение научных и технологических достижений в отрасль. Помимо этого, оно «требует от производителей не только рационального и эффективного использования имеющихся ресурсов, но и поиска и внедрения инновационных подходов к организации и управлению производством» [5]. Известно, «для выращивания грибов существенную роль оказывают расходы на обогрев, среди путей уменьшения которых являются:

- оптимизация уровня влажности и температуры в помещениях с учетом биологических разновидностей растений;
- усовершенствование систем управления поддержания температурно-влажностных параметров;
- усовершенствование конструкции грядок для защищенной почвы» [5].

Для достижения значимых результатов в рамках данной выпускной квалификационной работы предлагается реализация ряда мероприятий, направленных на оптимизацию затратных элементов производственного процесса. Эти мероприятия включают использование современных автоматизированных технологий, которые значительно увеличивают эффективность производственных операций [29].

Ключевым компонентом является внедрение гибкого алгоритма управления, способного обеспечить точный контроль и регулирование параметров микроклимата в соответствии с заданными нормами. Наряду с этим рассматривается применение инновационного непрозрачного покрытия, обладающего важными свойствами для создания благоприятных условий в производственных помещениях.

На данный момент в Российской Федерации защищенные грунтовые сооружения с использованием непрозрачного покрытия для выращивания овощных культур практически не применяются [20]. Тем не менее, в аналогичных условиях широко используется технология выращивания грибов. Например, «грибы культивируются в специально переоборудованных помещениях, таких как овощехранилища и подвалы» [5]. Эти способы организации пространства имеют ряд общих черт с предлагаемым подходом, что подтверждает их потенциальную эффективность.

1 Анализ объекта исследования

1.1 Анализ хозяйственной деятельности

ООО «Ясный день» расположено в селе Вязовое северо-восточной части Прохоровского района Белгородской области.

Территория хозяйства входит в территории с умеренно-холодным климатом. Род деятельности общества – «производство и реутилизация сельскохозяйственной продукции, экономическая и посредническая работа. Основной производственной деятельностью хозяйства в сфере крупного рогатого скота является производство молочных продуктов, в растениеводстве – выращивание зерна, подсолнечника и грибов» [16]. Территория рабочей зоны в грибном цехе охватывает 223 м², количество грибных рядов – 97 шт., ширина помещения – 9 м. Суммарная стоимость основных производственных фондов ООО «Ясный день» составляет около 113487 тыс. рублей. Выручка предприятия за последний год составила 95165 тыс.руб, из них на продажу грибов приходится 3379 тыс. руб.

На территории предприятия расположено множество объектов с потребителями электроэнергии: три животноводческих цеха, грибной цех, перерабатывающий цех, ремонтные мастерские и т.д.

1.2 Описание действующего производства по выращиванию грибов

Технология выращивания грибов не представляется сложной и требующей высоких вложений. Но это касается только выращивания грибов в домашних условиях для удовлетворения собственных потребностей. При промышленном производстве все выглядит иначе. На рассматриваемом предприятии применяется искусственная схема выращивания, представленная на рисунке 1. Данный способ не зависит от природных

условий. Но в то же время эти условия должен создавать сам грибопроизводитель.



Рисунок 1 – Технологическая схема выращивания грибов

Один цикл произрастания грибов в искусственной среде занимает двадцать один день. Для получения хорошего урожая грибов с высокими

потребительскими свойствами критически важно поддерживать в помещении необходимые для этого параметры микроклимата, представленные в таблице 1, особенно те, на которые мы можем повлиять. Это температура и влажность воздуха в первую очередь.

Таблица 1 – Показатели микроклимата, необходимые для получения высокого урожая грибов

Стадия	Длительность (суток)	Технологические показатели			
		Температура воздуха, °С	Освещенность, Вт/м ²	Влажность воздуха, %	Вентиляция, м ³ /час на 1 т субстрата L _{розр}
Инкубация	17-19	20-24	–	50-70	Для снижения температуры субстрата
Индукция плодотворения	2-3	9-14	–	70-80	100-200
Плодотворение	5-7	13-16	3-5 (8-12 часов)	85-95	100-200
Плодоношение	3-7	14-17	3-5 (8-12 часов)	80-90	100-200
Период отдыха	5-7	20-23	–	70-80	Замена воздуха на уличный для выравнивания температуры

Период активного плодоношения грибов составляет около 42 суток, что позволяет получить основной урожай за указанный временной интервал. Большая часть урожая приходится на первые два цикла плодоношения, когда продуктивность наивысшая. При соблюдении всех предусмотренных технологических условий производства урожайность может достигать до 20% от первоначальной массы субстрата. После сбора грибы тщательно сортируют и подвергают быстрой процедуре охлаждения до температуры +20°С. Для этого применяется специализированная холодильная камера, обеспечивающая оптимальные условия для снижения температуры. Затем грибы размещают на хранение при той же стабильной температуре. Для последующей транспортировки используют специально оборудованные автомобили, поддерживающие температурный режим в пределах +20°С.

Процесс утилизации субстрата, который был использован в производстве, включает несколько обязательных этапов. Вначале субстрат подвергают пропариванию при температуре, достигающей 70°C, в течение не менее 12 часов в специальной камере, что обеспечивает его полное обеззараживание. После этой обработки субстрат либо вывозят для дальнейшей утилизации, либо используют в качестве органического удобрения. Такая вторичная переработка становится возможной благодаря способности грибов разлагать клеточные структуры растительного происхождения, такие как целлюлоза и лигнин. В результате этого процесса высвобождаются легкоусвояемые компоненты, пригодные для последующего использования. Планировка и схемы размещения оборудования в помещении представлены на чертеже графической части проекта.

При выращивании грибов электрооборудование применяется практически на всех стадиях технологического процесса: подготовка питательной среды, выращивание и в других процессах, в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Электрооборудование, применяемое на стадии подготовки питательной среды

Технологическая операция	Технологическое оборудование	Рабочая мощность оборудования, кВт	Тип применяемого электродвигателя	Номинальная мощность применяемого электродвигателя, кВт
Накопление	БДК-Ф-20	9,11	АИР132М4	11
Измельчение	ИГК-30Б	29,7	АИР180М4	30
Запаривание	С-12	14,45	АИР160М4	15
Дозирование	ДТК	0,31	АИР63М4	0,37
Подача готовой субстанции	А9-КТФ	0,82	АИР80М4	1,0
Итого	-	54,39	-	-

Выводы по разделу 1.

В условиях современного сельского хозяйства выращивание грибов постепенно становится всё более востребованным направлением, которое

привлекает к себе растущий интерес и внимание благодаря своим перспективам, однако существенным сдерживающим фактором для активного развития этого сектора остаётся высокая энергоёмкость, характерная для всего производственного процесса. С целью уменьшения уровня энергозатрат, возникающих в процессе культивации грибов, важно обеспечить качественную и тщательную оптимизацию температурно-влажностного режима, поддерживаемого в специализированных помещениях, предназначенных для данного вида производства. Значительное влияние на снижение энергозатрат оказывает как повышение качества микроклиматических условий, так и их систематическое поддержание на оптимальном уровне, включая проведение модернизации конструктивных элементов и технологического оснащения производственных объектов. Достижение максимально возможного уровня эффективности в выращивании грибов становится реальным при комплексном подходе, предполагающем интеграцию современных автоматизированных систем управления в сочетании с инструментами мониторинга и регулирования параметров микроклимата.

2 Расчет энергетических характеристик системы управления микроклиматом

2.1 Характеристика электрических сетей

Основные характеристики электрических сетей ООО «Ясный день». Напряжение внутренних сетей – 0,4 кВ. Высоковольтные сети – протяженность 5 км., количество ТП - 8 штук: одна мощностью 400 кВА и семь мощностью по 280 кВА.

Помещения для выращивания грибов сырые, влажные, с высокой концентрацией пыли, соответственно применяемое электрооборудование должно быть с высоким уровнем защиты от пыли и влаги (IP).

2.2 Расчет необходимого воздухообмена

Для поддержания необходимых условий для успешного выращивания грибов требуется поддержание стабильного воздухообмена в помещении. Этот параметр особенно важен в случаях, когда воздух одновременно охлаждается, нагревается или увлажняется для создания благоприятного микроклимата. Грибы нуждаются в интенсивном проветривании, которое должно быть в 4–5 раз активнее по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами. Вентиляционные системы, ответственные за воздухообмен, должны обладать мощностью в диапазоне от 300 до 500 м³/год, причем данное значение зависит от сезонных температурных колебаний и времени года.

В производственных помещениях, где выращивают грибы, уровень содержания углекислого газа в воздухе должен оставаться в пределах 0,6–0,5%, не превышая допустимые показатели. Оптимальные нормы воздухообмена подбираются опытным путём, с учетом специфических условий конкретного производства. Избыточные потоки воздуха, а также

сквозняки оказывают негативное воздействие на растения. Это особенно актуально, когда влажность воздуха недостаточна, так как сквозняки могут привести к высыханию мелких грибов. Сквозняки также способствуют скручиванию краев шляпок у крупных грибов, что приводит к их пожелтению и снижению влажности.

При необходимости подогретый или охлажденный воздух направляется через систему воздухопроводов, которые расположены под потолком помещения. Отверстия для подачи воздуха при этом направляются вверх или в проходы между рядами грибов, чтобы избежать концентрации воздушных потоков. Обеспечение обратной циркуляции воздуха также является важным условием, поскольку постоянный приток свежего воздуха требуется не всегда, но при этом сквозняков следует избегать. Отработанный воздух выводится из помещения через нижние боковые отверстия, что позволяет поддерживать оптимальные условия для грибов. Для вывода наружу отработанный воздух направляют вверх через вытяжную трубу, которая должна располагаться на высоте 3–4 м. Важно также предотвратить образование неподвижного слоя углекислого газа вблизи мобильных грядок, и этот слой необходимо регулярно перемещать, чтобы сохранить оптимальный микроклимат для выращивания грибов.

В соответствии с заданными данными определим число грядок.

«Объем, занимаемый одной грибной грядкой» [24]:

$$V_g = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h, \quad (1)$$

где « h – высота мешка, м;

d – диаметр мешка, м;

3 – количество мешков на одном тресе» [24].

$$V_g = 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,47^2}{3,8} \cdot 0,8 = 0,39 \text{ м}^3.$$

Определим массу субстрата в мешке:

$$m = \rho \cdot V_g, \quad (2)$$

где « ρ - плотность субстрата, кг/м³. Максимально эффективна плотность питательной среды $\rho = 448$ кг/м³» [24].

$$m = 448 \cdot 0.39 = 174 \text{ кг.}$$

Расчетное количество мешков:

$$N_p = \frac{M_p}{m}, \quad (3)$$

где M_p – рекомендуемый вес субстрата для получения необходимого количества грибов, кг. Принимаем $M_p = 20000$ кг [24].

$$N_p = \frac{20000}{174} = 114,4 \text{ мешков.}$$

Таким образом, общее количество мешков $N = 114$ штук. Принимаем конфигурацию 13×8 метров. Для помещения, в котором выращиваются грибы, рекомендуется его удлинение на 30% по сравнению с расчетной длиной грядок. Таким образом, помещение удлиняется на $13 \cdot 1,3 = 16,9$ метров. Округляем в большую сторону и принимаем длину помещения 17 метров. Согласно [24], рекомендуемая ширина помещения для выращивания грибов должна составлять не менее 10 метров. Таким образом окончательный размер помещения составляет 17×10 метров или 170 м².

С целью проверить достоверность проведенных расчетов, рекомендуется определить коэффициент использования площади помещения:

$$\text{ВП} = \frac{M_p}{S}, \quad (4)$$

$$\text{ВП} = \frac{20000}{170} = 117 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Полученное значение находится в рекомендуемом диапазоне от 100 до 200 кг/м² [24].

2.3 Расчет системы освещения

В соответствии с современными установленными технологиями, камеры, предназначенные для плодоношения грибов, должны быть обеспечены надлежащим освещением для оптимального роста и развития грибных культур [27]. При наличии такой возможности рекомендуется использовать естественное освещение, что является предпочтительным вариантом. В частности, окна, выходящие на север, будут особенно эффективны для достижения необходимых условий освещения. Однако, если такая возможность отсутствует, следует прибегнуть к применению ламп холодного голубого света, таких как тип Г-7, или использовать эквивалентные светодиоды, обладающие цветовой температурой не ниже 6000 К.

Для достижения необходимого уровня освещения на каждые 15–20 м² площади требуется устанавливать одну лампу, что способствует равномерному распределению света. В качестве альтернативы также можно использовать любые лампы типа ДРЛ, которые могут быть эффективными в данной среде. Обеспечение освещенности в диапазоне 3–5 Вт/м² в течение 8–10 часов ежедневно считается достаточным для оптимальных условий роста грибов. Это освещение должно начинаться с момента появления первых грибов, чтобы способствовать их активному развитию и плодоношению.

Для обеспечения эффективного освещения предпочтительно использовать люминесцентные лампы, так как их высокая эффективность в грибоводстве многократно подтверждена различными научными исследованиями и экспериментами. Учитывая способ размещения мобильных грядок, который представлен в графической части работы, можно сделать вывод, что «люминесцентная лампа функционирует как точечный

источник света, обеспечивая необходимую интенсивность освещения. В связи с этим, для достижения наиболее точных расчетов освещенности целесообразно использовать точечный метод расчета. Этот метод основан на пространственных изолюксах для точечных источников света и позволяет достичь оптимальных условий для выращивания грибов. В связи с тем, что ряды грибных грядок симметричны, то можно рассчитать всего лишь один ряд» [15].

«Исходные данные:

- система освещения – общая равномерная;
- вид освещения – общее;
- тип света – люминесцентный;
- тип светильника – ЛСП-18;
- степень защиты – IP54;
- тип кривой света – Д.
- нормируемая освещенность – $E_0 = 150$ лк;
- расчетная высота – $h_p = 0,5$ м» [14].

Расчет параметров освещения по вышеизложенным исходным данным для одного ряда выполним в ПО DIALux. Согласно полученным данным для освещения одного рядка достаточно 4 светильников ЛСП-18, обеспечивающих среднюю освещенность 150,5 Лк.

Расчетный световой поток Φ_p :

$$\Phi_p = \frac{1000 \cdot E_n \cdot K_3}{\eta \cdot \mu \cdot \Sigma e}, \quad (5)$$

где $K_3 = 1,5$ – коэффициент запаса;

$\eta = 0,9$ – КПД светильника;

μ - коэффициент дополнительной освещенности $\mu = 1,1$.

$$\Phi_p = \frac{1000 \cdot 150 \cdot 1,5}{0,9 \cdot 1,1 \cdot 50} = 4545 \text{ Лм.}$$

Данному потоку соответствует лампа ЛБР мощностью 65 Вт, но ее можно заменить на 4 лампы по 18 Вт. Выбранная лампа потребляет:

$$P_{\text{уст}} = 1,25 \cdot P_{\text{л}} \cdot N \cdot (m_{\phi} + 1), \quad (6)$$

где 1,25 – суммарные потери в лампе и источнике питания;

N – количество светильников в ряду, $N = 4$;

m_{ϕ} – количество рядов на фазу, $m_{\phi} = 3$.

$$P_{\text{уст}} = 1,25 \cdot 72 \cdot 4 \cdot (3 + 1) = 1440 \text{ Вт.}$$

Потребляемый системой освещения ток:

$$I_{\text{осв}} = \frac{P_{\text{р}}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (7)$$

$$I_{\text{осв}} = \frac{1440}{230 \cdot 0,9} = 6,95 \text{ А.}$$

С целью обеспечения обеззараживания наружного воздуха, который используется для снижения уровня концентрации углекислого газа, используем бактерицидную лампу ДБ60 [6].

2.4 Расчет и выбор силового электрооборудования

«При осуществлении культивирования грибов в специализированных и адаптированных помещениях выбор оборудования для отопления и вентиляции производится на этапе проектирования, что является критически важным для обеспечения оптимальных условий роста. На данном этапе осуществляется тщательный расчет теплового баланса культивационного помещения. Этот расчет выполняется в стационарном режиме с

использованием соответствующего уравнения, которое позволяет учесть все факторы, влияющие на температурный режим» [10]:

$$Q_c - Q_{вв} - Q_{вп} + Q_{пп} - Q_{ог} + Q_p = 0, \quad (8)$$

где « Q_c – общие тепловыделения субстрата и грибов, кВт;
 $Q_{вв}$ – тепловыделение субстрата и грибов, потраченное на испарение воды, кВт;
 $Q_{вп}$ – потери тепла с вытяжным вентиляционным воздухом, кВт;
 $Q_{пп}$ – поступление тепла с приточным вентиляционным воздухом, кВт;
 $Q_{ог}$ – потери тепла через ограждение помещения, кВт;
 Q_p – регуляционный поток тепла для поддержания параметров микроклимата в культивационном помещении, кВт» [10].

«С использованием общепринятых формул, предназначенных для определения компонентов теплового баланса, была разработана комплексная имитационная модель системы. Эта система была создана для поддержания оптимальных параметров микроклимата в специализированных помещениях, где осуществляется выращивание грибов различного вида. Разработанная модель предоставляет возможность произвести детальный расчет основных энергетических характеристик оборудования, которые непосредственно зависят от температуры окружающего воздуха и других факторов» [10].

«Процесс воздухообмена, который необходим для поддержания установленной температуры и оптимальной концентрации углекислого газа, включает три характерные зоны, каждая из которых имеет свои особенности. Первая зона характеризуется установленной заданной концентрацией углекислого газа, при этом поддержание температуры и теплового баланса осуществляется за счет активной работы отапливаемого агрегата, что является важным для роста грибов. Вторая зона возникает в том случае, когда отапливаемый агрегат отключен, что приводит к изменению условий. В этой зоне поддержание температуры и теплового баланса достигается путем

изменения концентрации углекислого газа, и эти изменения могут быть как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, однако они должны оставаться в допустимых пределах, чтобы не повредить урожай. Третья зона вновь характеризуется заданной концентрацией углекислого газа, а поддержание температуры и теплового баланса обеспечивается эффективным функционированием холодильной машины» [10].

«В соответствии с рекомендациями по параметрам электросилового оборудования и с учетом географического положения, мощность нагревательных элементов была принята равной $P_{НАГ}=15$ кВт, что соответствует требованиям для данного процесса. Кроме того, мощность системы охлаждения составила $P_{ОХЛ}=15$ кВт, что также обеспечивает эффективное функционирование. Подача пара должна поддерживаться на уровне 16 кг/час, что является оптимальным значением для данных условий. Расчет параметров вентилятора, приводного электродвигателя и нагревательных элементов осуществляется в соответствии с установленной методикой, что позволяет достичь высоких показателей эффективности» [10]. В начале расчета по известной удельной вентиляционной норме определяется производительность вентилятора:

$$L_{\text{вент}} = M \cdot L_{\text{розр}}, \quad (9)$$

где M – масса питательной смеси, т.

$$L_{\text{вент}} = 174 \cdot 0,39 \cdot 114 = 7736 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Надежную систему вентиляции лучше проектировать с радиальными вентиляторами. Выбираем модель ВЦ 4-75 №5, мощностью 2,2 кВт, максимальной производительностью 7,8 тыс.м³/час, полным давлением 800 Па [25].

Для поднятия температуры воздуха внутри помещения с грибными грядками используем простые и надежные трубчатые электронагреватели небольшой мощности. Выбираем модель ТЭН-0,5 мощностью 500 Вт,

номинальным напряжением 230 В. В проекте грибной фермы изначально заложена мощность электрического обогрева 15 кВт для холодного времени года. Тогда необходимое число ТЭНов:

$$N_{\text{ТЭН}} = \frac{P_{\text{наг}}}{P_{\text{н}}}, \quad (10)$$
$$N_{\text{ТЭН}} = \frac{15}{0,5} = 30 \text{ штук}$$

Так как число нагревательных элементов достаточно велико, для их питания используем трехфазную сеть со схемой соединения звездой. В этом случае на каждую фазу будет приходиться:

$$N_{\text{ТЭН.ф}} = \frac{N_{\text{ТЭН}}}{m}, \quad (10)$$
$$N_{\text{ТЭН.ф}} = \frac{30}{3} = 10 \text{ штук.}$$

Фазный ток:

$$I_{\text{н}} = \frac{N_{\text{ТЭН.ф}} \cdot P_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{н}}}, \quad (11)$$
$$I_{\text{н}} = \frac{10 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{230} = 21,7 \text{ А.}$$

Для увлажнения воздуха используем увлажнитель собственной конструкции, состоящий из воздушного компрессора, системы труб с форсунками/распылителями. Компрессор обеспечивает распыление воды под большим давлением в виде аэрозоля, что способствует быстрому испарению воды (созданию тумана). Оптимальный размер водяных капелек – 65 микрон. Для их создания необходимо давление 4-5 атм. Выбираем компрессор, обеспечивающий давление выше данного значения: модель 2ВУ0,35-0,5/7,3

[7]. Потребляемая мощность данного агрегата 4 кВт. В нем применяется электродвигатель АИР10014У3 [3].

Для снижения температуры воздуха используем автономный кондиционер модели 1КС-12 [8] или аналогичный зарубежного производства. В его комплект оборудования входит электродвигатель компрессора типа АИР112М4У3, мощностью 5,5 кВт.

«Количество свежего уличного воздуха, необходимого для постоянного выдерживания допустимой концентрации CO_2 » [10]:

$$L_{CO_2} = \frac{m_6 \cdot c_6}{c_1 - c_2}, \quad (12)$$

где « m_6 – число мешков, шт. Принимаем по расчету 114 шт.;

c_6 – количество углекислого газа, выделяемое одним мешком, л/ч
Принимаем $c_6=180$ л/ч [10];

c_1 – критичная концентрация CO_2 в помещении, л/м³. Принимаем $c_1=1,5$ л/м³ [10];

c_2 – концентрация углекислого газа в атмосферном воздухе, л/м³.
Принимаем $c_2=0,3$ л/м³» [10].

$$L_{CO_2} = \frac{114 \cdot 180}{1,5 - 0,3} = 17100 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

«Воздухообмен, требуемый для поддержания максимально возможной концентрации CO_2 в парнике, определим по формуле» [10]:

$$L_w = \frac{W}{\rho_v (d_v - d_n)}, \quad (13)$$

где « W – суммарный уровень влаги, выделяемой в помещении, г/ч;

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³. Принимаем $\rho_v=1,24$ кг/м³ [10];

d_v – количество влаги во внутреннем воздухе к килограмму обезвоженного воздуха. Принимаем $d_v=12$ г/кг [10];

d_n – количество влаги в наружном воздухе к килограмму обезвоженного воздуха. Принимаем $d_n=2$ г/кг» [10].

«Влаговыделение в парнике грибницы определим с учетом выделений влаги из блока и расхода влаги, поступающей в воздух со свободной и смоченной (мокрой) поверхности» [10]:

$$W = W_n + W_{исп}, \quad (14)$$

где « W_n – объем водяных паров от полива, г/ч;

$W_{исп}$ – объем испаряющейся с поверхности влаги, г/ч» [10].

«Объем водяных паров от полива» [10]:

$$W_n = \omega_{\sigma} \cdot m_{\sigma}, \quad (15)$$

где ω_{σ} – количество влаги, выделяемой мешком, г/ч. Принимаем $\omega_{\sigma}=487$ г/ч.

$$W_n = 487 \cdot 400 = 194800 \text{ г/ч.}$$

«Для расчета расхода влаги, поступающей в воздух с внутренней территории помещения, рассмотрим испарение влаги с не закрытой водной поверхности $W_{см}^u$ и со смоченной поверхности $W_{мн}^u$ » [10]:

$$W_{исп} = W_{см}^u + W_{мн}^u, \quad (16)$$

$$W_{см}^u = \omega_{сн} \cdot S_n,$$

$$W_{мн}^u = \omega_{мн} \cdot S_{мн},$$

где « $\omega_{сн}$ – обобщенное влаговыделение, г/($m^2 \cdot ч$). Принимаем $\omega_{сн}=50$ г/($m^2 \cdot ч$) [10];

$S_{\text{п}}$ – площадь свободной открытой водной поверхности, м^2 . Для грядок общей площадью 170 м^2 , $S_{\text{п}}=2048 \text{ м}^2$ [10];

$\omega_{\text{мп}}$ – удельное испарение воды со смоченной поверхности, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Принимаем $\omega_{\text{мп}}=11 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ [10];

$S_{\text{мп}}$ – площадь смоченной поверхности, м^2 . Для грядок общей площадью 170 м^2 , $S_{\text{мп}}=57 \text{ м}^2$ » [10].

$$W_{\text{см}}^u = 50 \cdot 2048 = 102400 \text{ г}/\text{ч},$$

$$W_{\text{мп}}^u = 11 \cdot 57 = 627 \text{ г}/\text{ч},$$

$$W_{\text{исп}} = 102400 + 627 = 103027 \text{ г}/\text{ч},$$

$$W = 194800 + 102027 = 297827 \text{ г}/\text{ч},$$

$$L_w = \frac{297827}{1,24(12-2)} = 24018 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Из двух расчетных значений необходимого вентиляционного воздуха L_{CO_2} и L_w выбираем наибольшее $L_w = 24018 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Суточная кратность воздухообмена:

$$K = \frac{L}{V}, \quad (17)$$

где L – расход вентиляционного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$. Принимаем $L=L_w$.

V – используемый объем помещения, м^3 .

$$V = B \cdot L \cdot H, \quad (18)$$

$$V = 17 \cdot 10 \cdot 6 = 1020 \text{ м}^3,$$

$$K = \frac{24018}{1020} = 23.$$

Кратность воздухообмена, предусмотренная для данного помещения, должна соблюдаться с частотой не более трёх раз в час для обеспечения требуемых условий. Если значение кратности воздухообмена составляет

менее трёх, рекомендуется использование естественной вентиляции, которая создаёт достаточно комфортные условия для данной нагрузки. В случаях, когда кратность обмена воздуха варьируется в диапазоне от трёх до пяти, обычно применяется система принудительной вентиляции, при которой дополнительный подогрев воздуха не требуется. Однако, если кратность воздухообмена превышает значение пять, для поддержания температурного режима воздуха применяется принудительная вентиляция с обязательным подогревом подаваемого воздуха.

Таким образом, с учётом данных требований, для вентиляции грибоцеха на 114 блоков целесообразно использовать систему принудительной вентиляции без подогрева воздуха. «В принудительных вентиляционных системах поступление свежего воздуха реализуется посредством применения приточных вентиляторных установок, обеспечивающих необходимый поток воздуха. При проектировании таких систем учитывается, что вентиляционные установки должны работать с периодическим включением для поддержания стабильного воздухообмена» [26]. «Исходя из этого, подача воздуха через систему, обозначаемую L_{bc} , рекомендуется в 2–3 раза превышающей расчётные значения воздухообмена для обеспечения оптимального микроклимата» [22]:

$$L_{bc} = (2...3) \cdot L, \quad (19)$$

$$L_{bc} = 2,5 \cdot 24018 = 60045 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

«Для обеспечения равномерного распределения воздушного потока во всем объеме производственных помещений используются специальные воздуховоды. Их количество подбирается исходя из совокупности факторов, таких как размеры помещений, тип выращиваемых грибов, используемая технология их культивирования и другие технологические характеристики» [26]. В большинстве случаев каждый воздуховод оснащен собственным

механизмом для обеспечения движения воздушного потока — вентилятором, что способствует стабильной циркуляции воздуха. При такой системе объем подачи воздуха через вентилятор, обозначаемый как Q_v , определяется исходя из расчета, соответствующего требуемому воздухообмену в условиях заданного производственного процесса.:

$$Q_v = \frac{L_{вс}}{r_k}, \quad (20)$$

где « r_k — количество воздуховодов, шт» [22]. Предварительно принимаем $r_k=2$ воздуховода.

$$Q_v = \frac{60045}{2} = 30022.5 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

«Поскольку подача вентилятора превышает 9500 м³/ч, то число вентиляторов и воздуховодов к ним определяем по формуле» [22]:

$$n_v = \frac{L_{вс}}{8000}, \quad (21)$$

$$n_v = \frac{60045}{9500} = 6,3.$$

Принимаем большее значение: $n_v=7$.

Уточняем общий воздухообмен:

$$Q_{вс} = \frac{L_{вс}}{n_v}, \quad (22)$$

$$Q_{вс} = \frac{60045}{7} = 8577.86 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Требуемый диаметр воздуховода:

$$d = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{Q_{\text{вн}}}{\pi v_{\text{в}}}}, \quad (23)$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость воздуха в воздуховоде, м/с. Принимаем $v_{\text{в}} = 12 \dots 15$ м/с.

$$d = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{8577}{3,14 \cdot 13}} = 0,48 \text{ м.}$$

«Расчетную мощность электродвигателя привода вентилятора» [22]:

$$N = \frac{Q \cdot H}{3600 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{пвп}}}, \quad (24)$$

где « $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент полезного действия вентилятора ($\eta_{\text{в}} = 0,6$);

$\eta_{\text{пвп}}$ – коэффициент полезного действия привода вентилятора (для ременных передач $\eta_{\text{пвп}} = 0,95$)» [22].

$$N = \frac{8577 \cdot 700}{3600 \cdot 0,6 \cdot 0,95} = 2925 \text{ Вт};$$

Выводы по разделу 2.

На основании проведенного анализа технологии выращивания грибов и детального рассмотрения характеристик помещений был осуществлен выбор соответствующего технологического оборудования, а также было размещено необходимое светотехническое оборудование с учетом всех требований. Осветительные расчеты, выполненные на этапе проектирования, позволили подобрать подходящие лампы типа ЛБР с мощностью 65 Вт, которые обеспечат необходимый уровень освещения, и дополнительно была установлена бактерицидная лампа модели ДБ-60 для поддержания санитарных условий.

Современные конструкции защищенного грунта, используемые в грибоводстве, требуют строгого контроля температурного режима, что связано с высоким уровнем динамики и нестабильными параметрами,

возникающими из-за особенностей технологического процесса производства. Агротехнические требования, предъявляемые к системам контроля, включают необходимость высокой точности стабилизации температуры в пределах $\pm 1^{\circ}\text{C}$, а также своевременное изменение температуры в зависимости от фазы развития культур и времени суток. Все эти обстоятельства предъявляют повышенные требования к функционированию и техническому усовершенствованию оборудования автоматизации, что требует внедрения современных технологий.

Соблюдение всех агротехнических требований, а также внедрение передовых технологий, позволит существенно повысить качество собираемого урожая, что в свою очередь обеспечит его конкурентоспособность на современном рынке. Достижение поставленных целей возможно путем применения современных средств автоматизации, а также строгого соблюдения правил эксплуатации электрооборудования, что, в свою очередь, поможет избежать потенциальных аварийных ситуаций.

Для обеспечения оптимального температурно-влажностного режима и контроля химического состава воздуха в помещении грибоцеха была разработана специализированная система вентиляции, которая функционирует на основе принудительного подогрева подаваемого воздуха с использованием приточных вентиляторов, что позволяет поддерживать необходимые параметры для роста грибов.

3 Разработка системы автоматического управления микроклиматом

3.1 Разработка функциональной схемы автоматизации, определение параметров контроля и регулирования

Согласно установленным технологическим процессам, была разработана функциональная схема автоматизации, которая в полной мере отражает все необходимые параметры. Данная схема представлена в графической части работы, где можно детально рассмотреть ее компоненты и связи.

Разработанная схема автоматизации предоставляет возможность осуществлять непрерывный и комплексный контроль за основными физическими параметрами микроклимата в камере плодоношения, которые указаны в таблице 3.

Важно отметить, что в таблице 3 перечислены не все параметры, которые могут быть использованы для мониторинга обеспечения оптимального состояния микроклимата. Тем не менее, указанные параметры обладают более высокой степенью поддаваемости к процессам автоматизации по сравнению с остальными показателями, которые перечислены в последующих разделах документа.

Таблица 3 – Контролируемые СУ параметры микроклимата

Название параметра	Ед. изм.	Примечания, физическое содержание
Объемная концентрация углекислого газа	%	В атмосферном воздухе 0,34%. Удаляется с помощью вентиляции внешним воздухом
Температура воздуха	°С	Влияет на температуру субстрата и испарение с поверхности компоста, покровной почвы и грибов
Температура субстрата	°С	Сильно влияет на испарение воды поверхностью субстрата плодового тела.
Относительная влажность воздуха	%	Влияет на испарение воды грибами и субстратом
Освещенность	лк/м ²	Влияет на формирование плодового тела

Помимо перечисленных выше параметров, контроль микроклимата в помещениях для выращивания грибов может осуществляться также по нескольким другим важным величинам, которые имеют значительное влияние на условия роста.

«Первым параметром является плотность воздуха ($\text{кг}/\text{м}^3$), которая имеет тенденцию снижаться с увеличением температуры воздуха и его влагоемкости. В частности, при температуре воздуха, равной $21\text{ }^\circ\text{C}$, плотность воздуха должна поддерживаться на уровне $1,2\text{ кг}/\text{м}^3$ для обеспечения оптимальных условий.

Следующим важным показателем является влагосодержание воздуха ($\text{г}/\text{кг}$), которое определяется как количество водяного пара, содержащегося в одном килограмме воздуха. Например, в летний период содержание влаги во внешнем воздухе обычно значительно выше, чем в зимний период, когда наблюдается снижение этого показателя» [23].

«Третий параметр, который необходимо учитывать, это насыщенная влагоемкость ($\text{г}/\text{кг}$). Она определяется как максимальное количество влаги, которое воздух может удерживать при заданной температуре. Насыщенная влагоемкость достигается вблизи поверхности воды, имеющей ту же температуру, что и окружающий воздух.

Еще одним значимым параметром является парциальное давление водяного пара (кПа), которое представляет собой часть общего давления воздуха, создаваемую движением молекул воды в атмосфере. Этот параметр прямо влияет на возможность испарения воды: чем ниже его значение, тем больше происходит испарение влаги из поверхности.

Кроме того, необходимо рассмотреть давление насыщенного водяного пара (кПа). С увеличением этого параметра в непосредственной близости от поверхности, с которой происходит испарение, наблюдается рост интенсивности испарения воды, что важно для поддержания нужного микроклимата» [23].

«Испарение воды с поверхности субстрата, мицелия и плодового тела ($\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$) также является критически важным показателем. Этот параметр влияет не только на процесс роста и развития плодового тела, но и на визуальные характеристики готовых грибов.

Кроме того, важным аспектом является скорость движения воздуха вокруг мобильных грядок ($\text{м}/\text{с}$). Эта скорость перемещения воздуха в непосредственной близости от мобильных грядок оказывает значительное влияние на коэффициент теплоотдачи грядок в окружающий воздух, что критично для поддержания стабильного микроклимата» [23].

Наконец, необходимо «учитывать энтальпию воздуха ($\text{кДж}/\text{кг}$), которая представляет собой количество тепла, содержащегося в воздухе по сравнению с сухим воздухом при температуре 0°C . Этот параметр позволяет точно рассчитать энергетические затраты, связанные с нагреванием и охлаждением воздуха, что критически важно для эффективной работы системы» [23].

В соответствии с данными показателями была разработана функциональная схема автоматизации, которая отражает все ключевые аспекты и параметры, эта схема представлена в графической части проекта.

3.2 Расчет и выбор технических средств автоматизации

«При выборе технических средств автоматизации необходимо строго придерживаться принципов и рекомендаций Государственной системы приборов (ГСП), которая обеспечивает формирование необходимой структуры системы автоматизации и, кроме того, гарантирует возможность независимой замены отдельных узлов и компонентов.

Для проектируемой системы автоматического управления, которую планируется разработать, при выборе технических средств следует отдавать предпочтение тем средствам автоматизации, которые интегрированы в систему ГСП, а также приборам, параметры входных и выходных сигналов

которых согласованы и совместимы с комплексами данной системы» [4]. На основе этих требований и критериев осуществляется выбор средств автоматизации, которые соответствуют технологическим процессам, что представлено в таблице 4.

Таблица 4 - Примененные средства автоматики

Технические параметры	Тип оборудования
Температура помещения	Телец ТМ-8
Температура питательной среды	МПП51-Щ4
Указатель уровня воды	ДПУ-1М
Концентрация CO ₂	ПКУ-4В
Давление в компрессоре для получения тумана	ЭКМ-3
Электромагнитные клапаны для создателя тумана	Двухпозиционный

Выбранные средства автоматизации, которые были отобраны для данного проекта, обеспечивают необходимый уровень надежности и высокое качество регуляции. Кроме того, устройства ПКУ-4В и программируемые логические контроллеры предоставляют возможность быстрого и эффективного перепрограммирования. Это функциональное преимущество позволяет адаптировать оборудование для производства различных видов грибов в зависимости от требований технологии.

«Программный задатчик-регулятор, обладая функцией самонастройки, обеспечивает автоматическую оптимизацию своих параметров. Он способен контролировать разницу температур между окружающей средой и температурой субстрата, что является ключевым фактором для успешного выращивания грибов. Это, в свою очередь, обеспечивает необходимый уровень испарения влаги с поверхности субстрата и плодового тела вешенки, что крайне важно для их нормального развития» [4].

Технические характеристики всех используемых приборов подробно представлены в таблицах 5–9, что позволяет провести их всесторонний анализ.

Таблица 5 – Технические характеристики и условия эксплуатации МПР51

Техническая характеристика	Величина
Номинальное напряжение	220 В, 50 Гц
Диапазон напряжения питания	205 ...230 В
Номинальная мощность, не более	5 Вт
Диапазон измерения при использовании на входе прибора (в скобках указан шаг системы отсчета)	-40...+150 °С (0,05 °С)
Приведенная погрешность	±0,6%
Количество каналов измерения	6
Количество каналов регуляции	3
Количество каналов ком парования	0...5
Количество исходных параметров	6
Количество исходных управляемых ключей	10
Время измерения входных данных	7 или 5 с
Период следования управляющих импульсов на входе	1...100 с
Предельный ток через электромагнитное реле	10 А, 250 В или 48 В
Предельный ток через электронные ключи	0,35 А при 40В
Длина линии управления прибора	<900 м
Допустимая температура окружающего воздуха	+2...+45 °С
Относительная влажность воздуха (при температуре 35 ⁰ С)	< 95 %
Уровень защиты прибора	IP40
Габаритные размеры корпуса	105×105×158 мм
Масса	950 гр

Таблица 6 – Технические характеристики и условия эксплуатации ПКУ-4В

Характеристика	Показатель
Диапазон измеряемой концентрации, %	0...2
Погрешность основная %	+ 0,05
Дискретность шкалы показаний, об.	0,005
Питание прибора	220± 10В, 50 ± 1 Гц
Нагружающая способность электромагнитного реле:	
- предельный ток через контакты реле, А	6
- максимальное напряжение на разомкнутых контактах, В	250
- максимальная потребляемая мощность, Вт	45
Масса прибора, кг	1,86
Габаритные размеры, мм	311×152×57

Таблица 7 – Технические данные ЭКМ-3

Характеристика	Значение
Диапазон измеряемого давления, атм	1...16
Допустимый ток, А	0,03
Напряжение питания, В	380
Область применения	Давление воздуха

Таблица 8 – Технические характеристики ДПУ-1М

Характеристика	Величина
Диапазон измерений, м	0,05...4,5
Погрешность измерений	±3,0 мм
Чувствительный элемент	Поплавок
Исходный сигнал	Запирающий и размыкающий контакты
Область применения	Уровень жидкости с температурой до 62 ⁰ С

Таблица 9 – Характеристики двухпозиционного электромагнитного клапана

Показатель	Величина
Диаметр условного сечения, мм	6
Номинальное давление, атм	18
Температура жидкости, ⁰ С	-35...+65
Напряжение питания электромагнита, В	220
Диапазон изменения напряжения, %	+6,0
Потребляемая мощность электромагнита, В·А	31
Габариты, мм	133×68×148
Вес, кг	2,24

3.3 Разработка электрической принципиальной схемы

Схема управления рабочими агрегатами должна удовлетворять целому ряду строгих требований, которые обеспечивают эффективность и безопасность производственного процесса. Важным аспектом является необходимость обеспечения наличия как ручного, так и автоматического режимов работы, чтобы операторы могли гибко управлять технологическим процессом в зависимости от условий.

Необходимо предусмотреть наличие световой сигнализации, которая будет информировать операторов о текущем функционировании машин, а также о режимах работы производственной линии, что позволит обеспечить своевременное реагирование на изменения. Обеспечение надежной защиты электродвигателя, который предназначен для привода вентилятора, является обязательным условием для предотвращения его повреждения и обеспечения долговечности работы оборудования.

Также необходимо предусмотреть защиту компрессорного оборудования, чтобы избежать потенциальных аварийных ситуаций и гарантировать его нормальное функционирование. Следует реализовать систему блокировки, которая предотвратит возможность включения бактерицидной лампы в случае, если тупой фильтр воздуховода будет открыт, что является важным для обеспечения безопасности.

«Пуск машин, осуществляющих контроль технологических параметров, должен происходить в строго установленной последовательности, чтобы гарантировать корректное функционирование системы. Для режима поддержания влаги последовательность включает в себя: работу вентилятора, наличие давления в ресивере, а также наличие воды в резервуаре, что является критически важным для нормального процесса.

Для поддержания температурного режима требуется выполнение следующей последовательности действий: работа вентилятора и функционирование нагревательных элементов или системы охлаждения, что позволит поддерживать оптимальные условия» [12].

«Для эффективного обеззараживания внешнего воздуха необходимо обеспечить отворение задвижки, чтобы обеспечить доступ внешнего воздуха через некоторое время после активации бактерицидной лампы.

Защита средств контроля, которые измеряют температурно-влажностный режим и концентрацию углекислого газа, должна быть обеспечена для предотвращения сбоев в работе системы. Также важно

предусмотреть наличие сигнализации, которая будет информировать о критическом уровне воды в баке, необходимом для создания тумана, что важно для поддержания необходимого микроклимата.

Кроме того, необходимо обеспечить возможность проверки функционирования датчиков уровня на пульте управления, чтобы гарантировать их исправность и точность измерений. Электрическая принципиальная схема электроустановки, описанная выше, представлена в графической части данного проекта, что позволяет наглядно увидеть структуру и функционирование системы» [12].

3.4 Выбор пусковой и защитной аппаратуры

В разработанной системе управления в качестве защиты от перегрузок и короткого замыкания используются автоматические выключатели (АВ), а в качестве коммутационных приборов – промежуточные реле, магнитные пускатели с тепловым реле на электрических двигателях.

В качестве примера рассмотрим выбор АВ (QF1) и магнитного пускателя (KM1) для управления функционированием асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в приводе вентилятора.

АВ выбираем по методике [21]. Предварительно задаемся типом прибора – серия АВ ВА-51 [1] со следующими основными параметрами:

- $U_{ав}$ – номинальное напряжение АВ, 380 В;
- $I_{н. ав.}$ – номинальный ток АВ, 25А;
- вид расцепителя – комбинированный.

Проверяем АВ по рабочему напряжению:

$$U_{AB} \geq U_{эд}, \quad (25)$$

где « $U_{эд} = 380$ В – рабочее напряжение электродвигателя М1» [1].

$$380 \text{ В} \geq 380 \text{ В}$$

Условие выполняется.

«Проверка по номинальному току АВ» [21]:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_p, \quad (26)$$

где « I_p – расчетный ток, А. Равен рабочему току электродвигателя М1 в номинальном режиме работы. Принимаем $I_p = 3,5$ А» [1].

$$25 \text{ А} \geq 3,5 \text{ А.}$$

Условие выполняется.

«Проверка по току отсечки электромагнитного расцепителя, $I_{\text{от.эм.р}}$ » [21]:

$$I_{\text{от.эм.ст}} \geq I_{\text{от.эм.р}}, \quad (27)$$

$$I_{\text{от.эм.р}} = (1,5 \dots 1,8) I_{\text{п.дв}}, \quad (28)$$

$$I_{\text{п.дв}} = I_{\text{н.дв}} \cdot k_i, \quad (29)$$

где « $I_{\text{от.эм.ст}}$ – стандартное значение тока отсечки АВ, А;

$I_{\text{от.эм.р}}$ – расчетная величина тока отсечки электромагнитного расцепителя АВ, А.

$I_{\text{п.дв}}$ – пусковой ток двигателя, А;

$I_{\text{н.дв}}$ – номинальный ток двигателя, А;

k_i – кратность пускового тока. Принимаем для асинхронного двигателя $k_i = 5,0$ » [1].

$$I_{\text{п.дв}} = 3,5 \cdot 5,0 = 17,5 \text{ А,}$$

$$I_{\text{от.эм.р}} = 1,8 \cdot 17,5 = 31,5 \text{ А,}$$

$$300 \text{ А} \geq 31,5 \text{ А.}$$

Условие выполняется.

Проверка по току отсечки теплового расцепителя, $I_{\text{т.р}}$. Принимаем $I_{\text{т.р}} = I_{\text{н}} = 25$ А. Проверяем условие:

$$I_{Т.р} \geq I_{р.эд} \cdot k_{Т.р}, \quad (30)$$

где k – кратность тока отсечки теплового расцепителя, $k = 5$ [4];

$$25 \text{ А} \geq 3,5 \cdot 5 = 17,5 \text{ А}.$$

Условие выполняется.

Принимаем к расчету АВ QF1 с полным набором параметров: ВА51Г25-34-0010P54УХЛЗ.

Другие АВ выбираются аналогично. Обобщенные данные по АВ сводим в таблицу 10 и отмечаем на электрической схеме системы управления в графической части проекта.

Таблица 10 – Результаты выбора и проверки АВ

Обозначение на схеме	Модель автоматического выключателя	$I_{н.ав},$ А	$I_{Т.р},$ А	$I_{от.эм.ст},$ А	$I_{от.эм.р},$ А
QF1	ВА51Г25-34-0010P54УХЛЗ	25	2,5	25	19,3
QF2	ВА31-25-34-0010P54УХЛЗ	100	25	350	-
QF3	ВА51Г25-34-0010P54УХЛЗ	25	10	100	59,5
QF4	ВА51Г25-34-0010P54УХЛЗ	25	12,5	125	80
QF5...QF7	ВА51-25-14-0010P54УХЛЗ	25	0,3	3	-
QF8	ВА51-25-14-0010P54УХЛЗ	25	0,8	8	-
QF9	ВА51-25-14-0010P54УХЛЗ	25	8	80	-

Магнитные пускатели (МП) выбираем по методике [9]. Предварительно задаемся типом прибора – серия ПМЛ со следующими основными параметрами:

- $U_{ав}$ – номинальное напряжение АВ, 400 В;
- $I_{н. ав.}$ – номинальный ток АВ, 10А;
- номинальное напряжение управляющей катушки 220В;
- наличие теплового реле – тип РТЛ-1;
- номинальный длительный ток теплового реле 25А.

Проверяем МП по рабочему напряжению:

$$U_{МП} \geq U_{Эд}, \quad (31)$$

где $U_{Эд} = 380 \text{ В}$ – рабочее напряжение электродвигателя М1.

$$400 \text{ В} \geq 380 \text{ В}$$

Условие выполняется.

Проверка по номинальному току АВ:

$$I_{\text{ном.МП}} \geq I_p, \quad (32)$$

где I_p – расчетный ток, А. Равен рабочему току электродвигателя М1 в номинальном режиме работы. Принимаем $I_p = 3,5 \text{ А}$.

$$10 \text{ А} \geq 3,5 \text{ А}.$$

Условие выполняется.

Выбираем магнитный пускатель серии ПМЛ – 121002А с одним запирающим контактом блока. Аналогично выбираются и проверяются МП для других двигателей. Данные заносятся на электрическую схему графической части проекта.

Расчет и выбор проводки, щитов и шкафов управления.

С учетом технологических требований к проектам электроснабжения агропромышленных предприятий и норм безопасности электрические шкафы размещают в электрощитовой. Выбираем:

- электросилового шкафа модели Ш8926-367404;
- шкафа управления модели Ш8526-367404.
- щитки освещения модели ЯРН 8501-3812.

Электрическую проводку рассчитывают и подбирают по двум условиям:

- по длительно допустимому току нагрева;
- по механической прочности.

3.5 Проектирование шкафа управления

«Пульт управления системы автоматизации выполняет важную функцию, играя роль постов для контроля, управления и сигнализации в контексте функционирования автоматизированного объекта. Кроме того, на фасадных сторонах пульта управления располагаются накладные надписи, которые подробно объясняют назначение и функции отдельных панелей данного устройства» [18].

В процессе проектирования пульта управления необходимо руководствоваться следующей актуальной нормативной документацией, которая регламентирует его конструкцию и эксплуатацию: ГОСТ 26032-83 «Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Общие технические условия» и ГОСТ 36.13-76 «Щиты и пульта системы автоматизации технологических процессов. Общие технические условия». Электрическая схема соединений, отражающая структуру и взаимосвязь компонентов, приведена в графической части данного проекта.

На дверцах шкафа управления удобно расположены переключатели, кнопочные станции, а также приборы световой сигнализации, что обеспечивает легкость их использования. Кроме того, внутри шкафа находится автоматический выключатель круга управления и программный задатчик-регулятор, которые отвечают за управление системой. На задней стенке шкафа аккуратно размещены магнитные пускатели, тепловые реле и реле времени, что обеспечивает компактность конструкции.

«На схеме подключений, которая была предоставлена в графической части документации, показана маркировка и последовательность соединений, необходимых для правильной работы устройства. Эти соединения касаются клеммной коробки шкафа управления и включают в себя оборудование и устройства, которые расположены вне данного шкафа. В этот список входят двигатели, нагревательные элементы, осветительная сеть, относящаяся к

технологическому процессу, а также задвижки и датчики уровня в ресивере, что подтверждает комплексный подход к проектированию системы» [18].

3.6 Анализ и синтез схемы автоматизации

«Для выполнения синтеза и анализа разработанных схем автоматизации будет проведена комплексная проверка на устойчивость, в рамках которой планируется всестороннее изучение каждой системы автоматического поддержания параметров с целью обеспечения их соответствия требованиям.

Каждая система автоматического поддержания параметров будет охарактеризована по ключевым показателям; кроме того, для них будут разработаны структурные функциональные и структурные алгоритмические схемы, отображенные в графической части документа.

Система автоматического регулирования температурно-влажностного режима (САР) будет классифицирована на основе следующих направлений: по алгоритму функционирования, который относится к программному типу, по типу взаимодействия между регулятором и объектом управления, который является разомкнутым» [2].

В системе автоматического регулирования температурно-влажностного режима применен принцип регуляции по отклонению; при этом использован закон регуляции, реализующий пропорционально-интегрально-дифференциальный подход, что делает характер управления системы дискретным.

Разработанная функционально-структурная схема системы автоматического регулирования температурно-влажностного режима представлена в графической части проекта, где наглядно продемонстрированы ее основные структурные компоненты.

Система автоматического управления режимом также классифицируется по нескольким критериям, включая программный

алгоритм функционирования, разомкнутую структуру взаимодействия регулятора и объекта, а также принцип регулирования по возмущению, что делает ее управление дискретным и соответствующим указанным требованиям.

Система автоматического регулирования химического состава воздуха характеризуется использованием следящего алгоритма функционирования, при этом взаимодействие регулятора и объекта управления в данной системе является замкнутым, что позволяет обеспечить стабильность и предсказуемость процессов. Принцип регулирования системы автоматического регулирования химического состава воздуха реализован по отклонению, при этом применяется пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регуляции, что позволяет добиться высоких показателей эффективности и точности.

«Для подтверждения устойчивости работы системы автоматического управления температурно-влажностным режимом будет проведена соответствующая проверка, с целью выявить и устранить возможные отклонения от расчетных значений» [2]. Разработанные системы автоматического управления освещенностью и химическим составом воздуха обладают гарантированной устойчивостью, так как их проектирование и проверка были выполнены в строгом соответствии с нормативами производителя.

Для того чтобы соблюсти требования к параметрам точности, чувствительности и инерционности средств автоматизации, крайне важно, чтобы закон регулирования регулятора был выбран с учетом всех технологических особенностей объекта управления. Для рассматриваемого в данном проекте объекта регулирования, коэффициент передачи объекта установлен на уровне $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\%$, что определяет характеристики его работы, включая время чистого опоздания в 600 с. и постоянную времени регуляции, равную 600 с.

Показатели переходного процесса включают максимальное динамическое отклонение, составляющее 3 °С, статистическую ошибку — 0,5 °С, время регуляции — 720 с., а также уровень перерегулирования с возмущением, равный 0,3 и максимальное отклонение от заданного значения нагрузки — 30%.

Порядок расчета.

«Динамический коэффициент (R_d) для статических объектов» [22]

$$R_d = \frac{y_1}{k_{об} \cdot y_в}, \quad (33)$$

где « y_1 — максимальное динамическое отклонение регулируемого параметра. Принимаем $y_1=3$;
 $k_{об}$ — коэффициент передачи объекта. Принимаем $k_{об}=0,2$;
 $y_в$ — максимально возможное возмущение по нагрузке. Принимаем $y_в=30$ » [2].

$$R_d = \frac{3}{0,2 \cdot 30} = 0,5.$$

«Выбираем два типичных переходных процесса: аperiodический и с минимальным интегральным критерием. Для обеспечения процесса регуляции принимаем ПИД-закон, для которого статистическая погрешность равняется нулю. Определим относительное время регуляции» [19].

Относительное время регуляции для аperiodического переходного процесса $\psi_{pid}=4,5$. Тогда расчетное время:

$$t_{p.pid} = \psi_{pid} \cdot \tau_{об}, \quad (34)$$

где « $\tau_{об}$ — время чистого запаздывания. Принимаем $\tau_{об}=600$ с» [17]

$$t_{p.pid} = 4,5 \cdot 600 = 2700 \text{ с.}$$

«При удовлетворении условия $t_{p,пид} < t_p$ ПИД–закон обеспечивает заданное время регуляции. Поэтому считаем, что для данного объекта следует применить ПИД-режим в программном регуляторе ОВЕН» [17].

«Передаточные функции функциональной алгоритмической схемы САК температурно-влажностного управления будут соответствовать выражению» [17]:

$$W(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{из} \cdot p} + T_{п} \cdot p \right), \quad (35)$$

$$k_p = \frac{T_1 + T_2}{k \cdot T_{им}}, \quad (36)$$

$$T_{из} = T_1 + T_2, \quad (37)$$

$$T_{п} = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}, \quad (38)$$

где « k_p – коэффициент передачи регулятора

$T_{из}$ – время изодромного звена, с;

$T_{п}$ – время, которое характеризует влияние дифференциального звена, с» [17].

k – коэффициент передачи звена обратной связи;

T_1, T_2 – постоянные времени обратной связи, с.» [17].

Передаточная функция объекта:

$$W_{oc}(p) = \frac{1}{W_1(p)}. \quad (39)$$

Программный задатчик-регулятор МПР-51 [11] значительно упрощает процесс настройки оборудования, так как исключает необходимость проводить сложные расчеты вручную. Это становится возможным благодаря

встроенной функции автоматического торирования, которая выполняется с применением метода «единичного скачка».

Для того чтобы инициировать процесс настройки и калибровки прибора, необходимо подключить его к системе, провести обязательные тестовые прогоны и выбрать нужный режим автоматической настройки, указав номер программы. Например, при регулировании температурного режима в камере, когда прибор настраивается на поддержание заданной температуры, МПР-51 включает нагревательный элемент, и в камере начинается постепенное повышение температуры.

В процессе нагревания, вслед за повышением температуры в камере, наблюдается постепенное увеличение скорости её роста, что фиксируется прибором в качестве показателя эффективности нагрева. По истечении определенного периода времени скорость повышения температуры достигает своего предела, после чего начинается её постепенное снижение, что является сигналом для завершения нагревания.

В этот момент прибор автоматически выключает нагревательный элемент и проводит расчет параметров, необходимых для точной настройки ПИД-регулятора в соответствии с заданными условиями. Для обеспечения точной работы системы критически важно определить передаточную функцию объекта регулирования, в данном случае грибницы, которая функционирует в режиме обогрева.

Существенной характеристикой, влияющей на работу системы, является параметр задержки во времени, который оказывает значительное воздействие на весь процесс регулирования. Датчики температуры монтируются в центральной части камеры между каналами подачи воздуха и на противоположной стороне относительно системы отопления. Датчики, размещенные таким образом, фиксируют изменение температуры только тогда, когда температура в камере изменяется на примерно одну четверть общего объема воздуха в системе.

«Время задержки, необходимое для точной работы системы, определяется на основе вышеупомянутого соотношения объема воздуха, что позволяет достичь оптимальной точности регулирования» [17].

$$\tau = \frac{1}{4} \cdot \frac{V}{G}, \quad (40)$$

$$V = S \cdot h, \quad (41)$$

где V – объем помещения, м^3 ;

G – подача вентилятора, $\text{м}^3/\text{час}$, $G = 3780 \text{ м}^3/\text{час}$.

$$V = 150 \cdot 3 = 450 \text{ м}^3,$$

$$\tau = \frac{1}{4} \cdot \frac{450}{3780} = 0,029 \text{ час} = 1,8 \text{ с.}$$

«Учитывая то, что воздух в системе отопления изменяет температуру практически мгновенно, то появляется возможность выделить звено чистого опоздания, как составную функцию передаточной функции объекта» [17]:

$$W_1(p) = e^{-\tau p}, \quad (42)$$

$$W_1(p) = e^{-1,8p}.$$

«Для составления уравнения, которое описывает объект управления, принимается в расчет ночной режим функционирования грибницы с условием постоянной температуры воздуха в помещении. В данном режиме работы объекта активная биомасса гриба вешенки либо полностью отсутствует, либо находится на ранней стадии развития, что не оказывает значительного влияния на общий тепловой режим» [17]. При выполнении расчета теплопроводность воздуховодов специально не учитывается, поскольку ее влияние на совокупную тепловую характеристику системы можно считать минимальным и несущественным для данного уровня точности.

Выводы по разделу 3.

В рамках данного раздела проведен всесторонний анализ установленных температурных и влажностных параметров воздушной среды в помещении грибоцеха. На основании полученных и проанализированных данных был произведен расчет и осуществлен выбор подходящего силового электрооборудования, необходимого для обеспечения стабильного функционирования системы микроклимата. Также была разработана функциональная схема автоматизации, в которую включен подбор технических средств управления и контроля, соответствующих требованиям системы. Разработана электрическая принципиальная схема электроустановки с учетом специфики эксплуатации оборудования в условиях грибоцеха. Кроме того, выполнен подбор пускозащитной аппаратуры, а также обеспечено согласование характеристик защитных устройств с параметрами выбранных проводников, что гарантирует их надежную работу в данной системе. В заключение проведены корректировка шкафа управления и синтез, а также анализ структурных схем автоматизации, что способствует обеспечению высокой надежности и стабильности работы системы.

4 Технико-экономическое обоснование проекта

4.1 Смета проекта

Для определения капитальных вложений в проект выполняется расчёт совокупной стоимости автоматизированной линии для реализации технологического процесса [28]. При этом отдельно производится детализированная смета на электрооборудование, которая основывается на анализе данных из актуальных прайс-листов различных компаний и специализированных магазинов, занимающихся поставками электротехнического оборудования на рынок. Подробные сметные расчёты, включающие электрооборудование и оборудование для поддержания стабильных параметров микроклимата, представлены в таблице 11 для удобства анализа и сравнений.

Таблица 11 – Смета на создание системы управления

Тип	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Цена, руб.
ПКУ-4В	1	23817	23817
МПП-51	1	6144	6144
Система охлаждения	1	11249	11249
ЭКМ-3	1	104	104
РТ-2	1	82	82
ДПУ-1М	1	43	43
ВП-15К21Б221	2	127	254
УЗО-01	3	1096	3288
АСТРА УЗО	2	2125	4250
ВА51Г-2534-0010P54У3	3	300	900
ВА51Г-3134-0010P54У3	1	1470	1470
ВА51-2514-0010P54У3	5	40	200
ПМЛ-121002А	1	297	297
ПМЛ-211002А	1	164	164
ПМЛ-111002А	2	100	200
РПУ-1204	6	81	486
АИР71В4У3	1	1445	1445
АИР10014У3	1	1455	1455
АИР112М4У3	1	1278	1278

Продолжение таблицы 11

Тип	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Цена, руб.
ТЕН-15	27	60	1620
ЛСП-18	18	611	10998
ЛБР	18	37	666
ДБ	1	80	80
АПВ4 (1x2,5)	20	12	240
АПВ4 (1x5)	5	22	110
АПВ2x2,5	130	5,5	715
АПВ1x2,5	10	3	30
ПКУЗ-11ДУХЛЗА	4	98	392
ПКЕ-112-2УЗ	10	84	840
НЛ+R	19	19	361
НА	1	84	84
РВ-4-2	2	811	1622
Ш8526-367404	1	411	411
Монтажные работы	-	-	25988
Всего:	-	-	101283

4.2 Экономическая эффективность проекта

«Технико-экономические расчёты предоставляют возможность более точно оценить ожидаемый экономический эффект. Данный эффект достигается благодаря внедрению систем автоматизации в технологические процессы, применяемые при реставрации объекта, на этапе его проектирования или в процессе текущего выпуска продукции» [13]. К числу основных показателей, характеризующих экономическую эффективность, относятся минимальные капитальные вложения, необходимые для реализации проекта. Также в расчётах учитываются эксплуатационные затраты, связанные с содержанием автоматизированных систем.

Годовые приведенные расходы:

$$Z_p = E_H(K + B_p), \quad (42)$$

$$B_p = Z + B_a + B_T + B_{эл} + B_{пр}, \quad (43)$$

где E_n – «нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, который принимается при механизации и автоматизации отдельных процессов, модернизации и частичной замене оборудования равным $E_n=0,4$ » [13];

K – капиталовложение, по смете таблицы 11, $K=101283$ руб;

V_p – «ежегодные расходы производства, руб» [13].

Z – заработная плата с начислениями, руб.;

V_a – «амортизационные отчисления на капитальный ремонт и обновление оборудования, можно принять $V_a = 10\%$ от капиталовложений, руб.» [13];

V_T – «отчисление на текущий ремонт, которое можно принять $V_T = 4\%$ от капиталовложений, руб.» [13];

$V_{эл}$ – затраты на электрическую энергию, руб.;

$V_{ПР}$ – «эксплуатационные расходы (инвентарь, спецодежда), ориентировочно 1% от общей суммы годовых расходов» [13].

Суммируя коэффициенты отчислений, преобразуем формулу (43) к виду:

$$V_p = 1,01 \cdot (Z + V_a + V_T + V_{эл}). \quad (44)$$

«Определим годовой фонд заработной платы обслуживающего персонала» [13]:

$$Z = (n \cdot z \cdot Z_{зм} + H) T_p, \quad (45)$$

где « n – количество рабочих в смене, $n=3$;

z – количество смен в сутки, $z=2$;

$Z_{зм}$ – заработная плата одного рабочего за смену, $Z_{зм}=1240$ руб.;

T_p – количество рабочих дней в году, $T_p=360$ дней;

Н – начисление в основной фонд заработной платы, принимаем 9,6% от основного фонда заработной платы, который принимается 144 руб./час» [13].

$$З = (3 \cdot 2 \cdot 1240 + 0,13 \cdot 1240) \cdot 360 = 2736432 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию:

$$B_{эл} = K_{одн} \cdot \sum P_n \cdot Ц_{эл} \cdot T_p \cdot 20,4, \quad (46)$$

где «24 – время работы системы регуляции параметров микроклимата относительно общей технологии выращивания вешенки, час;

$K_{одн}$ – коэффициент одновременности работы, $K_{одн} = 0,6$;

ΣP_n – суммарная номинальная мощность электрооборудования для поддержания параметров микроклимата ($\Sigma P_n = 27$ кВт);

$Ц_{эл}$ – средняя стоимость электрической энергии, $Ц_{эл} = 4,8$ руб/(кВт·час)» [13]

$$B_{эл} = 0,6 \cdot 27 \cdot 4,8 \cdot 360 \cdot 24 = 671846,4 \text{ руб.}$$

$$B_p = 1,01 \cdot (2736432 + 10128,3 + 4051,32 + 671846,4) = 3456682,6 \text{ руб.}$$

$$З_p = 0,4(101283 + 3456682,6) = 1423186,24 \text{ руб}$$

«Годовые расходы труда на производственный процесс (ч.-час.)» [13]:

$$З_T = n \cdot z \cdot t \cdot T_p, \quad (47)$$

где t – длительность смены, час.

$$З_T = 3 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 360 = 17280 \text{ ч.} - \text{час};$$

Удельные расходы труда (ч·час/т):

$$З_{п.т} = \frac{З_T}{G_p} \quad (48)$$

где G_p – годовой объем продукции, $G_p = 20000$ кг.

$$Z_{п.г} = \frac{17280}{20} = 864 \text{ ч} - \text{час} / \text{т}$$

Срок окупаемости капиталовложений:

$$T = \frac{K}{\mathcal{E}_p}, \quad (49)$$

$$\mathcal{E}_p = 0,3 \cdot (G_p \cdot C_{пр} - Z_p), \quad (50)$$

где « \mathcal{E}_p – годовая прибыль, руб./год.

$C_{пр}$ – оптовая стоимость грибов. Принимаем $C_{пр} = 94$ руб/кг.

0,3 – коэффициент, который учитывает расходы на получение питательной среды» [13].

$$\mathcal{E}_p = 0,3 \cdot (20000 \cdot 94 - 1423186,24) = 137044,12 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

$$T = \frac{101283}{137044,12} = 0,75 \text{ лет}$$

Выводы по разделу 4.

На основании технико-экономических расчетов по грибоцеху было определено, что затраты на электрооборудование, требующиеся для автоматизации управления параметров микроклимата составляет 101283 рубля. Прибыль за год составит 137044,12 руб, расходы на электроэнергию составят 671846,4 рублей, расходы на производство 3456682,6 рублей, а срок окупаемости составит 0,75 года.

Заключение

Целью выпускной квалификационной работы было существенное повышение эффективности процесса выращивания грибов на примере грибницы, что стало возможным благодаря внедрению системы автоматизированного управления параметрами микроклимата в условиях предприятия ООО «Ясный день», специализирующегося на производстве сельскохозяйственной продукции. Использование специализированных конструкций защищенной почвы с непрозрачным покрытием, являющихся необходимым элементом для выращивания грибов, способствует значительному энергосбережению, поскольку такие конструкции обеспечивают «изолированность» камеры от внешних факторов, способных нарушить стабильность температурно-влажностного режима, что в свою очередь способствует созданию более оптимальных условий для роста грибов. Дополнительно внедрение высокотехнологичной системы автоматизированного контроля и поддержания на требуемом уровне микроклимата открывает возможности для существенного повышения экономической эффективности всего процесса выращивания грибов за счет оптимизации параметров среды.

При капитальных расходах, составляющих 101283 рубля, и установленной мощности силового электрооборудования, равной 27 кВт, было установлено, что годовые расходы на производство составляют 3456682,6 рубля. В то же время, удельные трудовые затраты на производственный процесс составляют 864 чел.-часа, что также указывает на высокую производительность системы. Согласно расчетам, срок окупаемости проекта составляет 0,75 года, что является достаточно быстрым сроком для подобных инвестиционных проектов. При проведении расчетов экономической эффективности была использована оптовая цена грибов, которая составляет 94 рубля за килограмм. Стоимость потребляемой электрической энергии для потребителей второй категории, с учетом НДС,

составила 671846,4 рубля. Важно отметить, что в капитальные расходы не была включена стоимость помещения, так как в рамках проектного варианта предполагается использование уже готового помещения, что значительно снижает начальные затраты. Разработанная система автоматизации позволяет гибко адаптировать агропромышленное производство к выращиванию других видов грибов, что в свою очередь может существенно увеличить экономическую эффективность предприятия и расширить его производственные возможности.

Поставленная задача была успешно решена за счет внедрения современных, высокоэффективных автоматизированных систем, что привело к значительному снижению трудозатрат на производственный процесс и позволило добиться более высоких показателей эффективности производства.

Список используемых источников

1. Автоматические выключатели серии ВА51 [Электронный ресурс] : Официальный сайт производителя «КЭАЗ» URL: <https://profsector.com/media/catalogs/55e8a2633a968.pdf> (дата обращения 27.09.2024).
2. Анализ и синтез систем автоматического регулирования [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Современные технологии» URL: <http://www.techstages.ru/seton-240.html> (дата обращения 02.10.2024).
3. Асинхронный электродвигатель АИР100L4У3-ИМ1081 [Электронный ресурс] : URL: <https://zevsprivod.ru/catalog/elektrodvigateli-dlya-chastotnogo-privoda-i-obshchepromyshlennye/obshchepromyshlennye/air100l4u3-im1081/> (дата обращения 20.09.2024).
4. Выбор средств автоматизации [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «studbooks.net» URL: https://studbooks.net/787363/agropromyshlennost/vybor_sredstv_avtomatizatsii (дата обращения 24.09.2024).
5. Грибоводство [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Российское хозяйство» URL: <https://rushoz.ru/articles/gribovodstvo/gribovodstvo.html> (дата обращения 10.09.2024).
6. ДБ-60 Бактерицидная лампа [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Питер Свет» URL: <https://pitersvet.ru/db-60.htm> (дата обращения 12.09.2024).
7. Компрессорные установки 2ВУ0,35-0,5/7,3М4 [Электронный ресурс] : URL: <https://rhs.com.ru/kompressornye-ustanovki-2vu035-0573m4> (дата обращения 17.09.2024).
8. Кондиционер автономный типа 1-КС-12 [Электронный ресурс] : URL: <https://vintdocs.com/kondiczioner-avtonomnyj-tipa-1-ks-12/> (дата обращения 21.09.2024).

9. Методика выбора контакторов и магнитных пускателей для управления и защиты электрических двигателей [Электронный ресурс] : URL: <https://de.donstu.ru/CDOCourses//structure/%D0%AD%D0%B8%D0%A2%D0%9C/775/1140/3.html> (дата обращения 01.10.2024).

10. Методические рекомендации по расчету и эффективному применению электрической энергии в тепловых процессах рассадных пленочных теплиц [Электронный ресурс] : URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293832/4293832045.pdf> (дата обращения 14.09.2024).

11. МПП51 регулятор температуры и влажности, программируемый по времени [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ОВЕН: оборудование для автоматизации» URL: <https://owen.ru/product/mpr51> (дата обращения 03.10.2024).

12. Оборудование для создания регулируемого микроклимата. Зоотехнические и санитарно-гигиенические требования [Электронный ресурс] : URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/1/LEXCOL/educationalwork/Tab4/Leksia2.pdf> (дата обращения 24.09.2024).

13. Оценка экономической эффективности автоматизированных систем управления технологическими процессами в промышленности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Ритм». URL: <https://ritm.pro/ocenka-jekonomicheskoy-jeffektivnosti-avtomatizirovannyh-sistem-upravlenija-tehnologicheskimi-processami-promyshlennosti> (дата обращения 13.10.2024).

14. Поиск правильного рецепта освещения теплицы круглогодичного выращивания овощей [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Gavrish.Shop» URL: <https://gavrishshop.ru/articles/poisk-pravilnogo-rezhima-osveshcheniya-v-teplicah> (дата обращения 11.09.2024).

15. Правильное освещение теплиц [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Планета Электрика» URL:

<https://www.elektro.ru/articles/pravilnoe-osveshchenie-teplits/> (дата обращения 09.09.2024).

16. Предприятия сельского хозяйства [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «АгроПродМаш» URL: <https://www.agroprodmask-expro.ru/ru/ui/17160/> (дата обращения 07.09.2024).

17. Программный ПИД-регулятор ОВЕН ТРМ251 [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Энергосервиз» URL: <https://www.kipspb.ru/catalog/6541/element183423.php> (дата обращения 03.10.2024).

18. Проектирование электрических шкафов автоматики и управления [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Инженерные Сети» URL: <https://ingeset.ru/uslugi/proektirovanie-jelektricheskikh-shkafov-avtomatiki-i-upravlenija/> (дата обращения 02.10.2024).

19. Просто о PID-регулировании [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «СТА» URL: <https://www.cta.ru/articles/cta-spravochnik/v-zapisnuyu-knizhku-inzhenera/124336/> (дата обращения 02.10.2024).

20. Развитие агропромышленного комплекса [Электронный ресурс] : URL: <https://open.midural.ru/service/priority/napravleniya/razvitie-agropromyshlennogo-kompleksa/> (дата обращения 15.10.2024).

21. Расчет автоматического выключателя и устройство защитного отключения [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «WSD.by» URL: <https://wsd.by/articles/raschet-avtomaticheskogo-vyklyuchatelya-i-ustroystvo-zashchitnogo-otklyucheniya-uzo/> (дата обращения 26.09.2024).

22. Расчет систем вентиляции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «РФК Климат» URL: https://www.rfclimat.ru/htm/vent_ft.htm (дата обращения 22.09.2024).

23. Система управления микроклиматом теплицы [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Оборудование для автоматизации» URL:

<https://owen.ru/project/sistema-upravleniya-mikroklimatom-tepliczy> (дата обращения 23.09.2024).

24. Технологии выращивания популярных видов грибов [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Сфера Медиа» URL: <https://sfera.fm/articles/trendy/tekhnologii-vyrashchivaniya-populyarnykh-vidov-gribov> (дата обращения 08.09.2024).

25. Центробежный вентилятор ВЦ 4-75-5 (2,2 кВт, 1000 об/мин, сх. №1) [Электронный ресурс] : URL: <https://promsnabob.ru/ventilyacionnoe-oborudovanie/promyshlennye-ventilyatory/radialnye-centrobezhnye/nizkogo-davleniya/vc-4-75/5/2-2-kvt-1000-ob-min-skh-1/> (дата обращения 16.09.2024).

26. A Comparative Study for Forced Ventilation Systems in Industrial Buildings to Improve the Workers' Thermal Comfort [Electronic resource] : URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/18/10267> (date of access 15.09.2024).

27. Bio-Effective Lighting for Humans, Livestock and Plants. The Global Information Hub for Lighting Technologies and Design [Electronic resource] : URL: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/bio-effective-lighting-for-humans-livestock-and-plants> (date of access 05.09.2024).

28. Design and Implementation of Automatic Control Acquisition System under Big Data Background [Electronic resource] : URL: <https://scholarpress.com/uploads/papers/Z8xiGn6rzThYKdV9Plk54Kh5SIeS9o8Tp8TxjV1e.pdf> (date of access 25.09.2024).

29. Modern problems of agriculture [Electronic resource] : URL: <https://grainrus.com/en/news/articles/modern-problems-of-agriculture/> (date of access 08.10.2024).

30. Problems and prospects for the development of the agroindustrial complex in Russia. E3S Web of Conferences 381, 01058 (2023) [Electronic resource] : URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338101058> (date of access 02.09.2024).