

На правах рукописи



**Певчева Елена Викторовна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
ТЕПЛИЧНОГО КОМБИНАТА**

Специальность: 05.09.03- Электротехнические комплексы и системы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Самара – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

**Научный руководитель:**

**Доманов Виктор Иванович**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»

**Официальные оппоненты:**

**Макаров Валерий Геннадьевич**

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривода и электротехники» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

**Пешев Ярослав Иванович**

кандидат технических наук, инженер-конструктор бюро электрооборудования ЗАО «Стан-Самара», г.Самара

**Ведущая организация:**

**ФГБОУ ВО "Вятский государственный университет (ВятГУ)" г. Киров**

Защита диссертации состоится «22» декабря 2020 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.217.04 по адресу г. Самара, ул.Первомайская,18, Самарский государственный технический университет, корпус 1, аудитория 4а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Самарского государственного технического университета (ул. Первомайская,18) и на сайте ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» <http://samgtu.ru>.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Главный корпус, Самарский государственный технический университет, ученому секретарю диссертационного совета Д212.217.04; факс: (846) 278-44-00, e-mail: a-ezhova@yandex.ru.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
Д212.217.04



Е.В. Стрижакова

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время остро стоит вопрос импортозамещения в промышленности и сельском хозяйстве. Созданы предпосылки для интенсивного развития технического оснащения и модернизации тепличных производств.

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур в защищенном грунте весьма энергоемки и включают в себя большое количество электротехнических систем. Для обеспечения качества и объема продукции предъявляются высокие требования к точности регулирования заданных технологических параметров. Необходимо согласовывать систему обогрева с режимами дневных и ночных температур, фрамужной вентиляцией, рециркуляцией воздуха, зашториванием, поливом, электрическим ассимиляционным досвечиванием растений, подпиткой CO<sub>2</sub>. В тепличных комплексах техническое оборудование представлено котловыми газопотребляющими агрегатами, электрогенерирующими газопоршневые установки, теплоаккумулирующими емкостями, исполнительными механизмами, инженерными сетями и другими системами. В себестоимости полученной продукции, выращиваемой в теплицах закрытого грунта, затраты на газ и электроэнергию в зимний период достигают 60 – 70 %. Наблюдается зависимость потребления энергоресурсов от наружной климатической метеоситуации – скорости ветра, температуры окружающего воздуха, солнечной радиации.

Архитектура систем автоматизации электрооборудования построена на основе современных микропроцессорных аппаратов. Управление технологическими системами имеет высший уровень автоматизации. Достичь улучшения динамических характеристик электротехнического комплекса тепличного комбината возможно путем совершенствования и введения возможных коррекций системы автоматического управления.

### **Степень разработанности проблемы**

В последнее десятилетие в России, около сорока лет назад - в Голландии, Финляндии, Америке, Японии, получили распространение технологии выращивания овощей в защищенном грунте методом «гидропоника», с высокой интенсивностью освещения. Искусственное освещение натриевыми лампами высокого давления приближается по составу спектра и яркости к естественному солнечному освещению. Наблюдается прямо пропорциональная зависимость урожайности от освещенности в пределах от 0 до 40 клк.

Российские конструкторы автоматизированных систем управления тепличных комплексов, беря за основу разработки лучших зарубежных «зеленых домиков», адаптируют алгоритмы управления к климатическим особенностям. По возможности применяют отечественные электроаппараты построения автоматизированных

технических систем. Получают удобную и понятную эргономичную установку для отечественных пользователей.

Научные основы развития современных устройств автоматизации и систем управления электротехнических комплексов, ресурсосбережения заложены в трудах Артухова И.И., Безруких П.П., Бесекерского В.А., Беликова Ю.М., Боровикова М.А., Воротникова И.Л., Гольштейна В.Г., Грудинина В.С., Данилова Н.И., Пупкова К.А.

Наряду с отечественными работами значимы труды зарубежных авторов, разработавших теоретические и практические вопросы управления автоматизированными установками, тепличными производственными комплексами: Dagum E.B., Hendriks L., Lofqvist T., Shamshiri R.R., Rodriguez C.

Однако исследования вопросов улучшения динамических характеристик электротехнического комплекса тепличного комбината и использования энергосберегающих технологий на сегодняшний день освещены недостаточно. Применение отдельных мероприятий осуществляется локально, без распространения опыта на аналогичные производства.

В связи с этим возрастает актуальность проведения исследований и разработки современных подходов к теории и практике оптимизации систем управления с позиции улучшения динамических характеристик и энергоэффективности в условиях увеличивающихся расходов на энергоресурсы.

**Объект исследования:** электротехнический комплекс тепличного комбината, имеющий собственную генерацию и потребителей электрической энергии с различным характером нагрузок. Электрооборудование автоматизированного энергоцентра, система управления, эксплуатационные режимы.

**Предмет исследования:** системные свойства и связи в электротехническом комплексе тепличного комбината в условиях воздействия внешних метеофакторов, модель системы автоматического управления. Вопросы электрогенерации, распределения и оптимизации потребления.

**Цель диссертационной работы:**

Целью исследования является повышение эффективности электротехнического комплекса тепличного комбината (ТК), за счет разработки и реализации системы автоматического управления параметрами микроклимата.

**Задачи диссертационного исследования:**

1. Анализ проблемы обеспечения эффективности электротехнического комплекса тепличного хозяйства с позиции совершенствования его системы управления для улучшения показателей работы (на примере АО «Тепличное»).
2. Разработка электротехнической системы управления температурой теплицы для повышения эффективности и быстродействия.

3. Синтез электротехнического устройства, обеспечивающего комплексный контроль параметров микроклимата для теплиц защищенного грунта с повышенной точностью и быстродействием.
4. Разработка системы автоматического регулирования температуры, обеспечивающей требуемую точность и низкую чувствительность к изменениям параметров электротехнического комплекса в процессе роста растений.
5. Комплексная апробация и внедрение предложенных технических решений на производственном комплексе защищенного грунта АО «Тепличное» г. Ульяновск.

#### **Методы исследования:**

В работе использованы методы теории электропривода, теоретических основ электротехники, теории автоматического управления и оптимизации технических систем, преобразования Лапласа и  $D \rightarrow Z$  - преобразования, статистической обработки данных, когнитивного анализа данных, численного моделирования в программном комплексе «Моделирование в технических устройствах (МВТУ)», Matlab Simulink.

Экспериментальные исследования проводились на оборудовании систем автоматизации «Priva Connex».

#### **Научная новизна:**

1. Предложена методика синтеза системы управления температурой теплицы, позволяющая повысить быстродействие ЭТК ТК, отличающаяся от известных формированием режима работы.
2. Разработано устройство комплексного контроля параметров микроклимата ТК, отличающееся от известных возможностью получения интегрального значения измеряемых параметров (температуры, влажности) с меньшей погрешностью и большим быстродействием.
3. Разработана система автоматического регулирования температуры теплицы, отличающаяся от известных низкой чувствительностью к параметрическим изменениям за счет применения упреждающей коррекции.
4. Разработана цифровая математическая модель ЭТК ТК, отличающаяся от известных возможностью учета изменения периода дискретизации датчика контроля микроклимата.

#### **Практическая значимость работы состоит в**

1. Полученное повышение эффективности работы электротехнического комплекса тепличного комбината позволяет снизить энергопотребление используемого оборудования - газа на 4%, электроэнергии на 2%.
2. Разработанное электротехническое устройство комплексного измерения параметров микроклимата увеличит точность и сократит время измерений, что даст

точную интегральную оценку состояния теплицы. Позволит увеличить эффективность регулирования электротехнического комплекса, что улучшит качество продукции и снизит затраты на производство. Может быть использовано для получения параметров микроклимата помещений большого объема.

3. Практическая значимость заключается в применении разработанных технических решений в АО «Тепличное». Получен акт внедрения АО «Тепличное» г. Ульяновск.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Методика синтеза системы управления температурой теплицы с учетом режимов форсирования электрооборудования.
2. Электротехническое устройство комплексного контроля параметров микроклимата теплицы, обладающее возможностью получения интегрального значения измеряемых параметров с меньшей погрешностью и более высоким быстродействием.
3. Система автоматического регулирования температуры теплицы с низкой чувствительностью к параметрическим изменениям.
4. Результаты комплексной апробации предложенных технических решений.

#### **Соответствие научной специальности 05.09.03:**

«**Электротехнические комплексы и системы**»: исследование, проводимое в рамках диссертационной работы, соответствует формуле специальности и областям исследования:

п.1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем»;

п.4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях».

#### **Апробация результатов работы:**

Результаты работы и основные положения были доложены и обсуждены на II Поволжской научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод» (г. Казань, 2016 г.), II Международной научно-практической конференции «Мехатроника, автоматика и робототехника» (г. Новокузнецк, 2018 г.), на II Международной научно-практической конференции «Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса» (г. Санкт-Петербург, 2019 г.), на VIII Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО (г. Санкт -Петербург, 2019 г.).

## Публикации

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ (из них 5 в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 работа в издании, входящем в международную систему цитирования SCOPUS, 1 патент на изобретение), 4 доклада на конференциях.

## Структура и объем работы

Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение, библиографический список и приложение. Основной текст изложен на 134 страницах, содержит 80 рисунков, 11 таблиц и 1 приложение. Библиографический список состоит из 154 наименований на 14 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность работы, характеризуется степень ее разработанности, определяются цели и задачи, осуществляется выбор объекта и предмета исследования, методологические основания исследования, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования.

**В первой главе диссертации** выполнен обзор элементов электротехнического комплекса тепличного комбината. Рассмотрены источники энергоресурсов. Определены основные потребители электроэнергии, построены профили нагрузок. Приведен анализ работы когенераторного энергоцентра.

Основным приёмником по объёму потребления электроэнергии и величине установленной мощности является светотехническая установка, затем насосное оборудование, технологические приемники, хозяйственно - бытовая нагрузка, наружное освещение, Диаграмма распределения электропотребителей по мощностям приведена на рисунке 1.

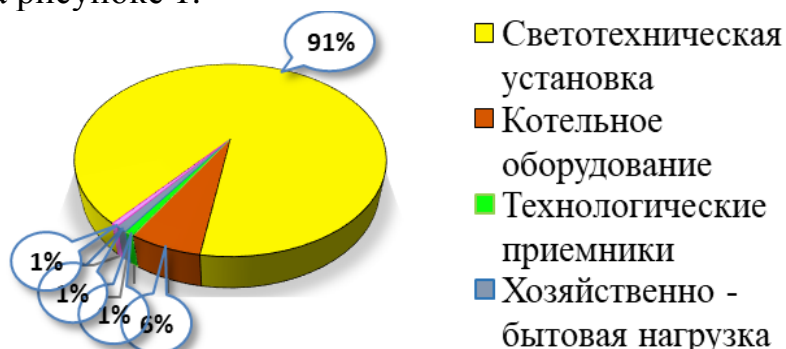


Рисунок 1 – Диаграмма распределения электропотребителей по мощностям

Светотехническая установка представляет собой автоматизированную интегрированную систему с общим технологическим процессом управления. Конструктивно обеспечивает высокоэффективное преобразование электроэнергии в фотосинтетический поток, сбалансированные спектральные составляющие для фото-



синтеза, стабильность излучения светового потока. На рисунке 2 представлен общий вид светотехнической установки.



Рисунок 2 – Светотехническая установка теплицы

Электроснабжение тепличного комбината осуществлено от источника промышленной электроэнергии, с включением в параллельную работу когенерационного энергоцентра. Удачными по техническим характеристикам и эксплуатационным качествам, являются газопоршневые когенераторы. Агрегат состоит из газопоршневого двигателя внутреннего сгорания, синхронного генератора, тепловой системы. Когенерацией является выработка электроэнергии и тепла при сгорании газа. Топливом служит природный магистральный газ. При этом из одного м<sup>3</sup> газа вырабатывается до четырех кВт\*ч электроэнергии и снимается тепло контура охлаждения двигателя и выхлопных газов.

Проведенный обзор элементов электротехнического комплекса показал, что основные источники первичных энергоресурсов по объему и значимости – газ, электроэнергия, вода. Вторичными энергоресурсами является тепло и электроэнергия. Тепло вырабатывается котельными и когенераторным энергоцентром. Основное назначение собственной генерации электроэнергии – обеспечение электроэнергией приемников системы досвечивания теплицы. Структура энергоресурсов имеет выраженную сезонность потребления с максимумом потребления в зимний период. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что имеется явная корреляция потребления энергоресурсов и наружных температур. Доля электроэнергии в ТУТ (тонна условного топлива) изменяется в течение года от 6 до 17%.

Анализ показал, что наибольшая эффективность технических мероприятий по энергосбережению будет наблюдаться при улучшении динамических характеристик электротехнического комплекса тепличного комбината.



**Во второй главе диссертации** выполнен анализ энергопотребления тепличного комбината. Выявлена сезонность энергопотребления по группам технического оборудования. Составлена структура энергоресурсов. Проведена оценка энергосбережения по группам потребителей. Предложены возможные пути снижения инерционности нагрева теплицы.

Рассмотрен электротехнический комплекс как система, состоящая из преобразовательного, технологического, передаточного, управляющего устройств, предназначенная для осуществления технологического процесса. Структурная схема приведена на рисунке 3.

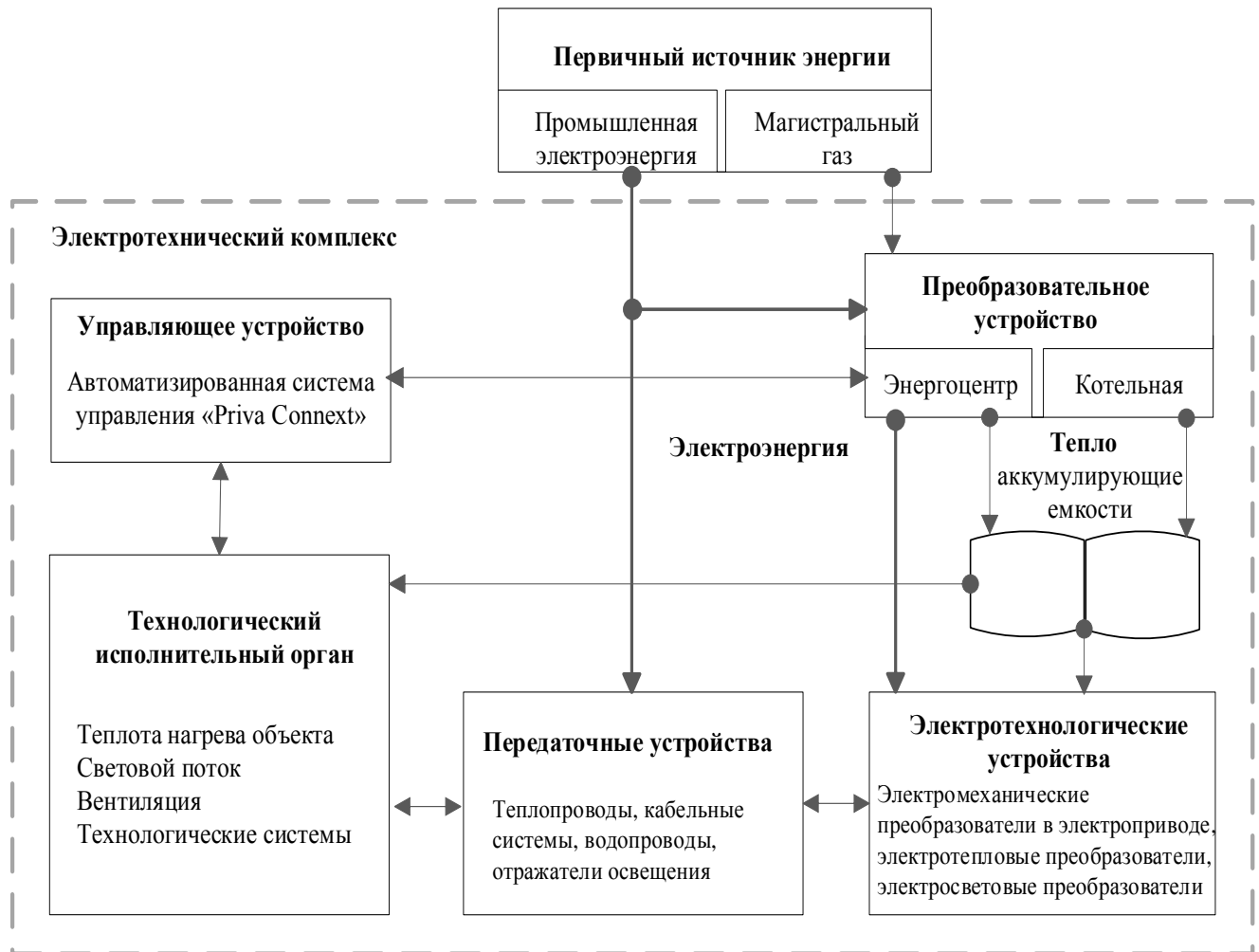


Рисунок 3 – Структурная схема электротехнического комплекса

Первичный источник электрической энергии покрывает технологические нужды энергоцентра и электроснабжение технологических устройств. Источник магистрального газа снабжает энергоцентр и котельные. Преобразовательное устройство – электротехническое устройство, обеспечивающее согласованное преобразование энергии посредством электротехнических устройств. Электротехнологические устройства - электромеханические преобразователи электроприводов, электротепловые преобразователи, светотехнические преобразователи, осуществ-

ляющие процесс преобразования электроэнергии. Передаточные устройства – механические преобразователи электроприводов, теплообменники, трубопроводы, рефлекторы, отражатели в светильниках. Технологический исполнительный орган – тепловая энергия нагрева, световой поток светотехнической установки. Управляющее устройство – автоматизированная система управления высшего уровня автоматизации «Priva Connex».

Был проведен анализ работы технического оборудования ТК, который показал, что имеется постоянная потребность в воде, тепле, газовой среде, микроклимате, электроэнергии, световой энергии. Наибольший объем потребления энергоресурсов – электроэнергии, тепла, света наблюдается в холодные, темные, пасмурные периоды. Расход воды максимален в летние месяцы.

Тепловая энергия расходуется на поддержание заданного микроклимата в теплице и подогрев воды. Температура внутреннего воздуха теплиц в ночное время не менее  $18^{\circ}\text{C}$ , в дневное до  $26^{\circ}\text{C}$ . Запрос на разбор теплоносителя поступает от центрального процессора автоматизации технологии «Priva Connex». Нагретый теплоноситель от всех теплоисточников поступает в теплоаккумулирующие емкости. Тепловые сети внутренние, короткие, с минимальными потерями. Транспорт теплоносителя по блокам теплиц производится от частотно - регулируемых насосных агрегатов.

В рассматриваемом комплексе тепловые процессы представляют системы с большими инерционностями. На рисунке 4 приведена функциональная схема электротехнического комплекса управления температурой теплицы.

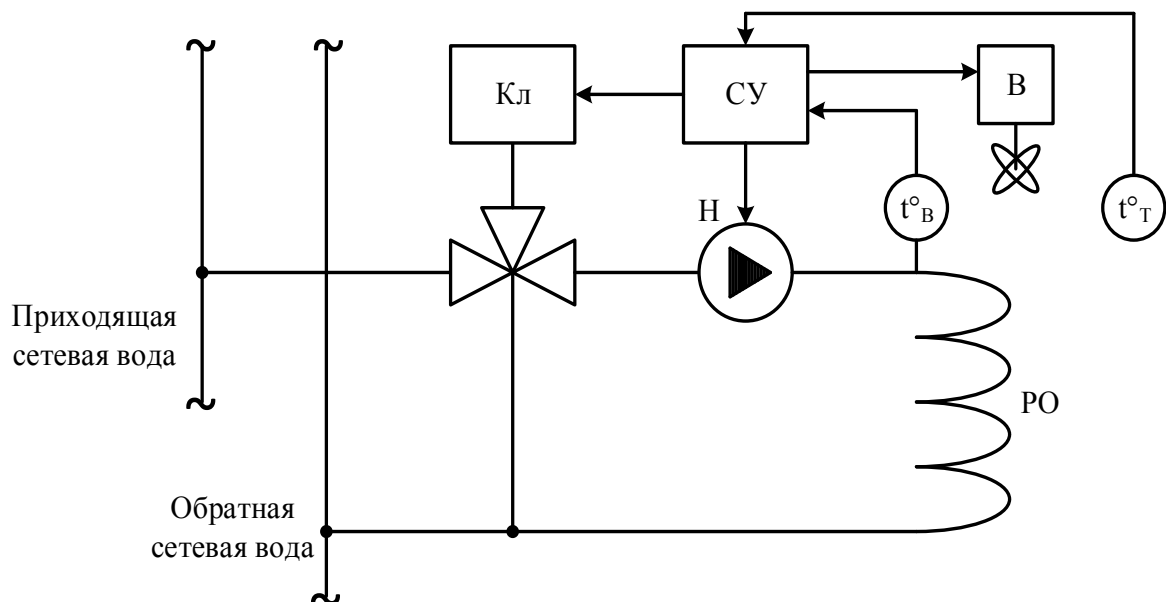


Рисунок 4 – Функциональная схема электротехнического комплекса управления температурой теплицы

Переходный процесс нагрева теплицы представляем инерционным звеном с передаточной функцией вида:

$$W(p) = \frac{1/A}{TP + 1}, \quad (1)$$

где  $A$  – теплоотдача,  $T=c/A$  – тепловая постоянная времени,  $c$  – теплоемкость.

Контур управления нагревателем содержит регулятор  $W_{PH}(p)$ , блок нагревателя, регистр отопления (РО)  $W_{PO}$  (апериодическое звено) и обратную связь по температуре с коэффициентом  $K_{OH}$ . Передаточная функция контура нагревателя имеет вид:

$$W_{KH}(p) \approx \frac{1/K_{OH}}{T_{KH}p + 1}, \quad (2)$$

Блок нагревателя включает в себя: - клапан (нелинейное звено – усилитель с насыщением), трубопроводную систему – апериодическое звено с большой постоянной времени (на схеме интегрирующее звено с обратной связью), регулируемый насос (множительное звено в контуре с интегрирующим звеном).

Насос (Н) обеспечивает циркуляцию воды в контуре РО. При необходимости увеличения температуры открывается клапан (Кл) и более горячая вода из приходящей сети подмешивается в контур циркуляции теплоносителя. Для регулирования скорости теплопередачи РО можно изменять частоту вращения двигателя вентилятора В и насоса Н. Увеличение скорости этих электроприводов в переходных процессах позволило повысить быстродействие и снизить динамическую ошибку рисунок 5, 6.

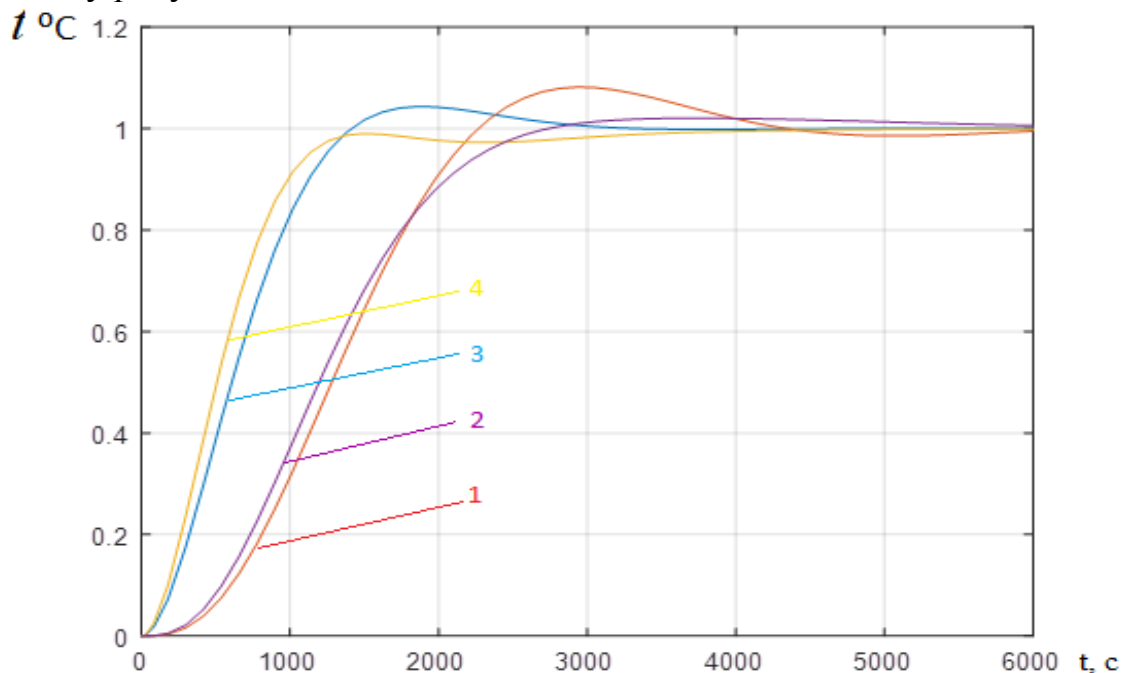


Рисунок 5 – Переходные процессы в системе управления температурой теплицы (форсирование насоса), где 1 – нагрев РО без форсирования, 2 – нагрев РО с форсированием, 3 – нагрев теплицы без форсирования, 4 - нагрев теплицы с форсированием

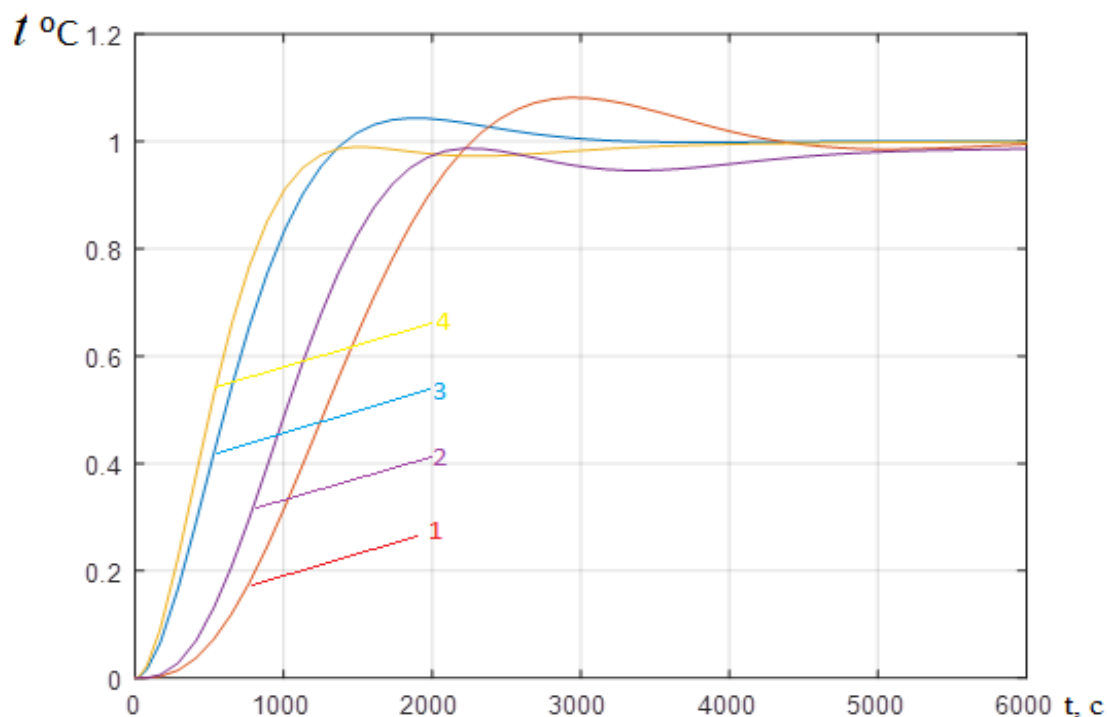


Рисунок 6 – Переходные процессы в системе управления температурой теплицы (форсирование насоса и вентилятора), где 1 – нагрев теплицы без форсирования, 2 –нагрев РО с форсированием насоса и вентилятора, 3 – нагрев теплицы при форсировании насоса и вентилятора, 4 – нагрев РО без форсирования

Схемы управления температурой и влажностью достаточно разнообразны. Измеряемый параметр в пределах площади теплицы может различаться в контролируемых точках. Расположение точек, в которых размещены датчики в теплице, указаны на рисунок 7.

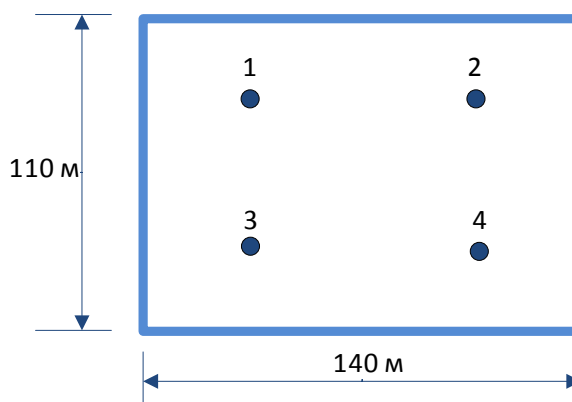


Рисунок 7 – Схема расположения датчиков в теплице

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты измерений различными приборами температуры, там же приведены средние значения и ошибки измерений ( $\Delta$ ).

Таблица 1. Результаты измерения температуры

Тип датчика	Датчик				Средняя температура/4, °С	Δ, %
	№1	№2	№3	№4		
Штатный	22,4	21,6	22,6	21,9	22,1	0,5
Термометр	23,2	24,2	24,9	22,2	23,6	7,4
Тепловизор	25,0	26,0	26,0	24,0	25,3	15,0
Средняя температура/3, °С	23,5	23,9	24,5	22,7	23,7	7,4
Δ, %	6,8	8,6	11,4	3,2		

Анализ значений температуры, приведенный в таблице 1, показал:

- наименьшее значение ошибки соответствует штатному датчику (его данные используются в системе управления теплицей);

- все датчики имеют различные показания, в зависимости от места расположения в теплице;

- у штатных датчиков имеется разброс значений в пределах от -2% до +3%.

Поэтому, существует необходимость получения однозначной информации, характеризующей параметры микроклимата теплицы. Одним из возможных вариантов является применение акустических методов. Они широко используются для контроля и измерения различных параметров физической среды, в том числе и воздуха. Для условий, когда имеются большие замкнутые объемы, распределение температуры и влажности может быть неравномерным, как в рассматриваемом объекте (теплице). Применение акустических методов измерения позволило получить интегральную оценку контролируемых параметров. Наибольшее влияние на изменение параметров звука, оказывает температура.

Коэффициент затухания звука ( $\alpha$ ) позволяет получить больше информации, так как в отличие от скорости звука, коэффициент затухания зависит и от частоты ( $f$ ). Поэтому, для единообразия вычислений используем только измерение  $\alpha$  на различных  $f$ .

Было выбрано значение частоты (диапазон частот) таким образом, чтобы чувствительность  $P_s$  к изменениям  $\alpha$  была максимальной:

$$\int_{P_s}^{\alpha} = \frac{dP_s}{d\alpha} \frac{\alpha}{P_s} \quad (3)$$

Расчеты на основании формулы (3) показывают, что максимум чувствительности достигается при условии:

$$S0,1151\alpha=1 \quad \text{или} \quad \alpha = \frac{1}{0,1151S}, \quad (4)$$

с учетом размеров теплицы, расстояние  $S=0,14$ км, получаем  $\alpha=62,06$ .

Был выбран диапазон частот,  $f = 1,6-4$ кГц. Процесс вычисления значений температуры и влажности происходит на основе данных для различных значений  $f$  в соответствии с предложенным алгоритмом вычисления температуры и влажности,  $t^{\circ}\text{C}$ ,  $h$ , рисунок 8.

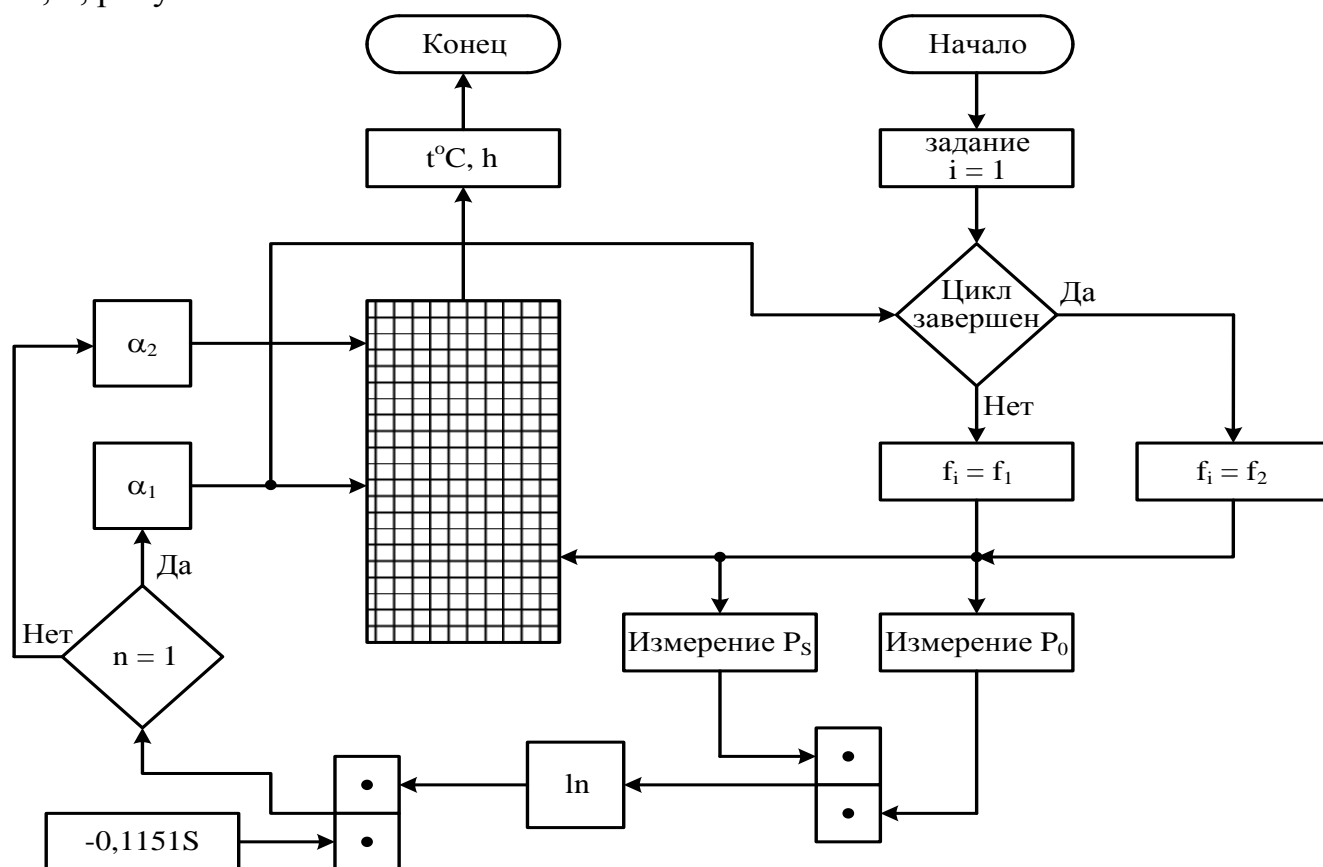


Рисунок 8 – Алгоритм вычисления  $t^{\circ}\text{C}$ ,  $h$

Использование предложенного устройства комплексного контроля параметров микроклимата позволило уменьшить потребление энергоресурсов.

**В третьей главе диссертации выполнен синтез системы регулирования температуры.** Структурная схема системы регулирования температуры теплицы (СРТТ) содержит звенья с большими постоянными времени. Наиболее инерционная часть характеризуется теплоемкостью и теплопроводностью внутреннего объема теплицы. Эти параметры изменяются в зависимости от величины растительной массы выращиваемой культуры. Таким образом, наиболее инерционное звено имеет переменные параметры. Высокие требования, предъявляемые к СРТТ, были достигнуты за счет применения упреждающей коррекции и использованием инвариантных цепей (ИЦ).

На рисунке 9 приведена структурная схема системы управления электротехническим комплексом теплицы.

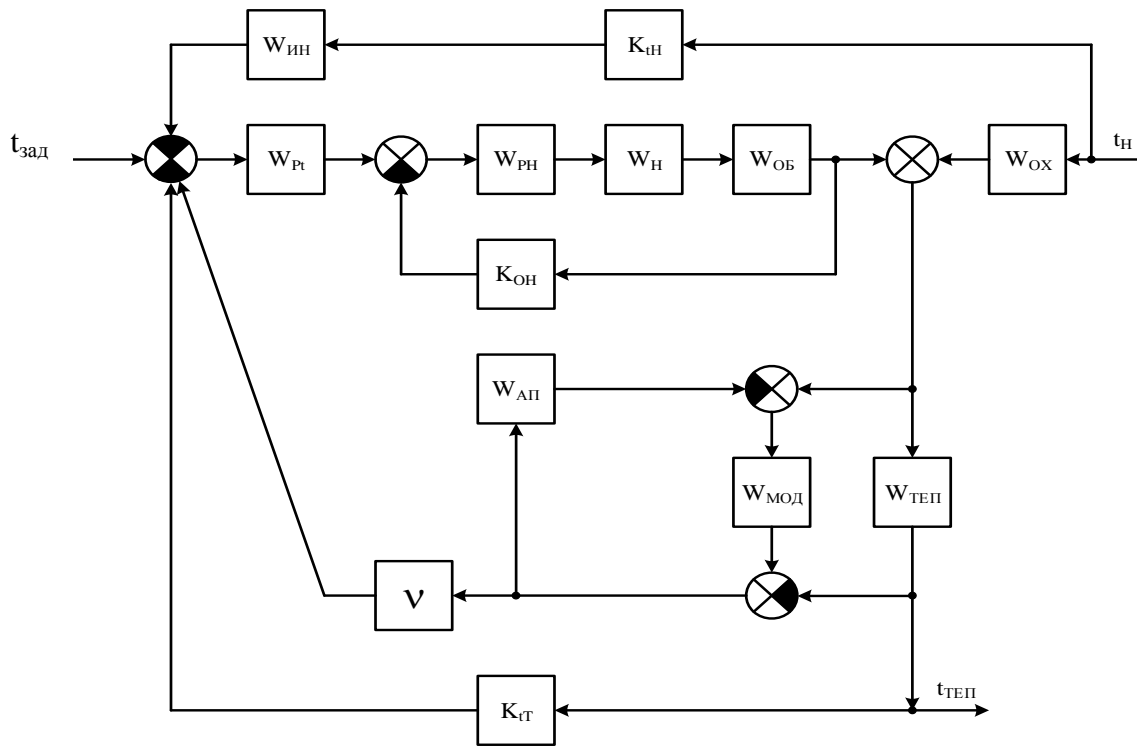


Рисунок 9 – Структурная схема системы управления электротехническим комплексом

где  $W_{Pt}$  – передаточная функция регулятора температуры теплицы;  
 $W_{PH}$  – передаточная функция регулятора нагревателя;  
 $W_H$  – передаточная функция нагревателя;  
 $W_{OB}$  – передаточная функция обогревателя;  
 $W_{OX}$  – передаточная функция элементов охлаждения;  
 $W_{МОД}$  – передаточная функция модели теплицы;  
 $W_{ТЕП}$  – передаточная функция теплицы;  
 $W_{АП}$  – передаточная функция звена автоподстройки;  
 $K_{OH}$  – коэффициент передачи датчика температуры обогревателя;  
 $K_{тГ}$  – коэффициент передачи датчика температуры теплицы;  
 $K_{тН}$  – коэффициент передачи датчика температуры наружного воздуха;  
 $v$  – коэффициент дифференциального сигнала.

Синтез регулятора нагревателя выполнен исходя из настройки контура на технический оптимум:

$$W_{PH}(p)W_H(p)W_{OB}(p)K_{OH} = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)} \quad (5)$$

где  $T_{\mu}$  - сумма некомпенсированных постоянных времени.

Передаточная функция контура нагревателя в этом случае имеет вид:

$$W_{KH}(p) \approx \frac{1/K_{OH}}{T_{KH}p + 1}, \quad (6)$$

где  $T_{KH} = 2T_H$ .



Для компенсации возмущения (изменения температуры наружного воздуха) создана инвариантная цепь из условия

$$W_a(p) = \frac{a(p)}{t_H(p)} = 0. \quad (7)$$

$$\text{Используя выражение } M = \frac{A(\omega_p)}{A(\omega = 0)}, \quad (8)$$

определен показатель колебательности для рассматриваемой системы:

$$M = \frac{1}{\sqrt{2\alpha - \alpha^2}}, \quad (9)$$

где  $\alpha = K_T / K_{Трас}$  - коэффициент, характеризующий отклонение коэффициента  $K_T$  от расчетного значения  $K_{Трас}$ .

Значение  $M$  изменяется в широких пределах, в зависимости от  $\alpha$ . Для устранения этого недостатка была использована упреждающая коррекция. Формирование корректирующего сигнала показано на рис. 9. Сигнал с датчика температуры теплицы поступает на звено модели  $W_{МОД}(p)$ , параметры которого выбираются из условия

$$W_{МОД}(p) = W_{ТЕП}(p)_{НОМ}; \quad W_{МОД}(p) = \frac{K_{ТЕП}}{pT_{ТЕП} + 1}, \quad (10)$$

где  $W_{ТЕП}(p)_{НОМ}$  - передаточная функция объекта в номинальном режиме.

Сигнал с выхода звена модели сравнивается с сигналом обратной связи, в результате чего формируется дифференциальный сигнал, который с коэффициентом  $\nu$  поступает на регулятор температуры теплицы. Упрощенная передаточная функция замкнутого контура температуры теплицы с упреждающей коррекцией  $W_{КТУ}(p)$  имеет вид:

$$W_{КТУ}(p) \approx \frac{1/K_{ТЕП} X}{2T_T^2 \frac{\alpha}{X} p^2 + 2T_T \frac{\alpha}{X} p + 1}, \quad X = 1 + \nu(\alpha - 1). \quad (11)$$

Показатель колебательности скорректированной системы определяется выражением:

$$M = \frac{1 + \nu(\alpha - 1)}{\sqrt{2\alpha[1 + \nu(\alpha - 1)] - \alpha^2}}. \quad (12)$$

Введение упреждающей коррекции позволило создать систему, инвариантную к изменениям параметров теплицы в широких пределах. На рисунках 10, 11 представлены переходные процессы в исследуемой системе при вариации коэффициента  $K_{ТЕП} \pm 10\%$ .

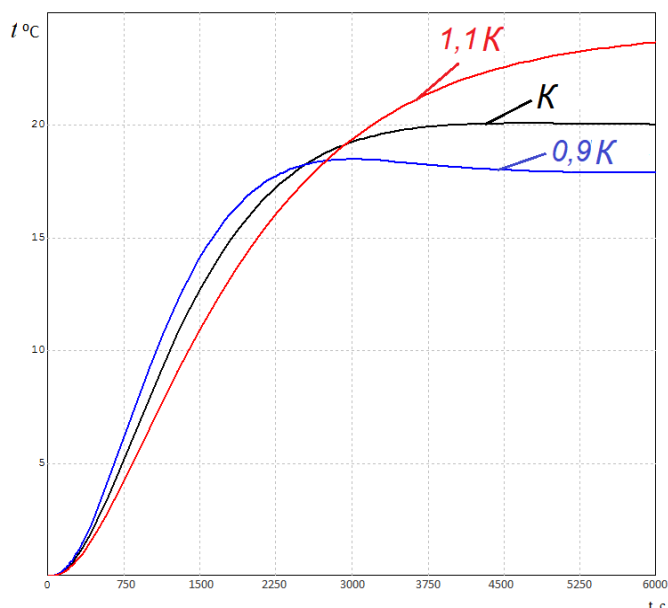


Рисунок 10 – Переходные процессы в системе с упреждающей коррекцией без автоподстройки

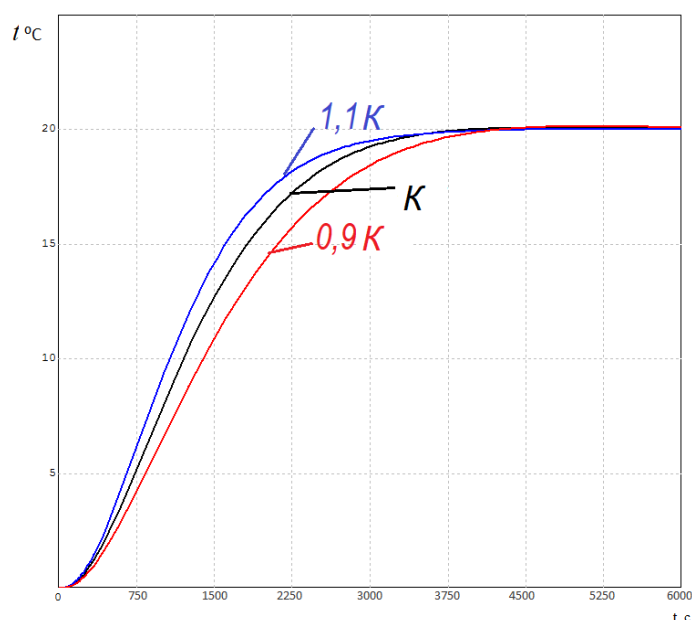


Рисунок 11 – Переходные процессы в системе с упреждающей коррекцией с автоподстройкой

В четвертой главе диссертации был проведен статистический анализ изменения параметров микроклимата теплицы и получены следующие обобщенные характеристики, таблица 2.

Таблица 2 — Значения корреляции

Корреляция	За сутки 27.01.2020	Время с 00 до 12	Время с 12 до 17	Время с 17 до 24
$t_{\text{теп}}$ и $t_{\text{наружная}}$	0,461072	0,091981	0,545651	0,208711
$t_{\text{теп}}$ и $t_{\text{задано}}$	0,520075	0,646718	0,364231	0,413526
$t_{\text{теп}}$ и $Q_{\text{освещ}}$	0,82819	0,283547	0,877796	-0,319368

Анализ значений корреляции показывает, что:

- В течение суток корреляция ( $t_{\text{теп}}$  и  $t_{\text{наружная}}$ ) и ( $t_{\text{теп}}$  и  $Q_{\text{освещ}}$ ) принимают наибольшее значение в утренние и ночные часы.

- Можно сделать вывод о влиянии освещенности и наружной температуры, эти параметры являются существенным возмущающим фактором для системы стабилизации температуры теплицы.

Была построена цифровая модель для анализа систем регулирования электро-технического комплекса тепличного комбината с разной частотой дискретизации. В результате исследования было определено влияние случайного сигнала с различными частотными характеристиками, рисунок 12.

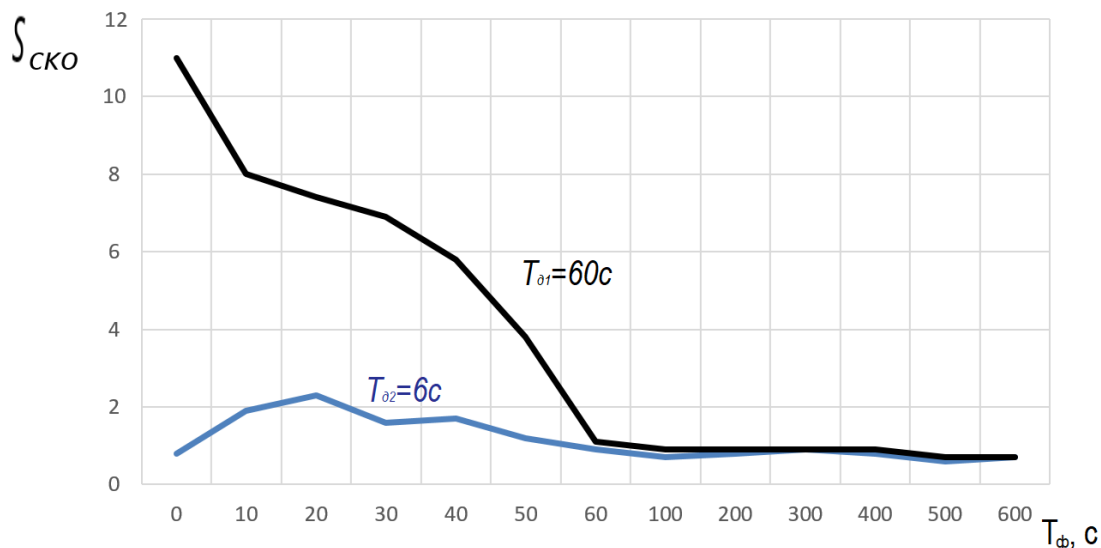


Рисунок 12 – Графики изменения СКО систем регулирования с разным периодом дискретизации в зависимости от динамичности возмущения

После проведения предлагаемых мероприятий в системе автоматического регулирования электротехнического комплекса снижается величина потребления энергоресурсов.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Использование предложенной методики синтеза системы управления температурой теплицы с форсированием режима позволило повысить быстродействие системы регулирования температуры на 32%.
2. Разработано электротехническое устройство, обеспечивающее комплексный контроль параметров микроклимата теплицы, дающее интегральную оценку и повышение быстродействия измерения контролируемых параметров в 10 раз.
3. Разработана система автоматического регулирования температуры теплицы с низкой чувствительностью к параметрическим возмущениям, которая обеспечивает сохранение динамических показателей при изменении параметров теплицы на 10%.
4. Комплексная апробация и внедрение предложенных решений позволили определить их энергоэффективность и снизить объемы потребления энергоресурсов – газа на 4%, электроэнергии на 2%. В денежном выражении по состоянию тарифов на 2019г. это составляет 268 тыс. руб. на один блок теплиц за год.
5. Разработана цифровая математическая модель ЭТК ТК, с возможностью учета периода дискретизации датчика контроля микроклимата, которая позволила оценить эффективность его применения в реальных условиях.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Дальнейшая разработка темы может быть направлена на построение системы управления микроклимата с учетом большего числа влияющих возмущающих факторов.

### **СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК:**

1. Доманов В.И. Анализ основных узлов энергосистемы тепличного комбината и способов снижения энергозатрат / Доманов В.И., Певчева Е.В. // Промышленные АСУ и контроллеры. Приборы и системы для автоматизации промышленных предприятий. 2017. №3 С.3-10.
2. Доманов В.И. Комплексный контроль параметров микроклимата теплицы / Доманов В.И., Певчева Е.В. // Промышленные АСУ и контроллеры. Приборы и системы для автоматизации промышленных предприятий. 2019. №4 С.3-8.
3. Доманов В.И. Система управления температурой теплицы / Доманов В.И., Доманов А.В., Певчева Е.В. // Промышленные АСУ и контроллеры. Приборы и системы для автоматизации промышленных предприятий. 2019. №8 С.3-8.
4. Доманов В.И. Синтез инерционной электромеханической системы, инвариантной к изменениям параметров объекта управления / Доманов В.И., Доманов А.В., Певчева Е.В. // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. №5
5. Певчева Е.В. Энергоэффективное управление электротехническим комплексом тепличного комбината // Энергетик. г. Москва. 2020. №8 С.41-44.

#### **Публикации в изданиях, входящих в перечень SCOPUS/Web of Science:**

6. Доманов В.И. Synthesis of a Greenhouse temperature control system. / Доманов В.И., Певчева Е.В., Доманов А.В. // East European scientific journal (Wschodnio europejskie Czasopismo Naukowe) электронная версия журнала: 16.10.2019 журнал рецензируемый. Issn - 2468-5380 Свидетельство СМИ (Польша): Sygn. Akt VII Ns Rej Pr961/15.

#### **Патент на изобретение:**

7. Пат. №2704636 Российская Федерация. Устройство контроля параметров микроклимата в теплице защищенного грунта. [Текст] Е.В. Певчева; заявитель и патентообладатель Е.В. Певчева. Опубл. 30.10.2019г., Бюл. №31.

#### **В иных изданиях:**

8. Певчева Е.В. Характеристика электроприемников тепличного комбината / Певчева Е.В., Доманов В.И. // Материалы докладов II Поволжская научно-практическая конференция «Казанский государственный энергетический университет» Казань 2016. Том III, С. 202-204.
9. Певчева Е.В. Повышение эффективности энергетического оборудования теплиц закрытого грунта. / Певчева Е.В., Доманов В.И. // Материалы докладов 12 Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых

- ученых «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» г. Иваново 2017. Т.1 С. 119-121.
10. Доманов В.И. Определение потребности энергоресурсов тепличным комбинатом / Доманов В.И., Певчева Е.В. // Мехатроника, автоматика и робототехника. Материалы международной научно-практической конференции. г. Новокузнецк- НИЦ МС 2018. - №2. С. 159 - 160.
  11. Певчева Е.В. Анализ сезонности потребления энергоресурсов тепличным комбинатом. / Певчева Е.В., Доманов В.И. // Актуальные проблемы энергетики АПК. «Саратовский Государственный Аграрный Университет Имени Н.И. Вавилова» Материалы IX международной научно-практической конференции. г. Саратов 2018. С. 322-324.
  12. Доманов В.И. Система автоматического регулирования параметров микроклимата в теплице закрытого грунта. / Доманов В.И., Певчева Е.В. // Мехатроника, автоматика и робототехника. Материалы международной научно-практической конференции. г. Новокузнецк- НИЦ МС 2019. - №4. С. 20 - 22.

Разрешено к печати диссертационным советом Д 212.217.04  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»  
(протокол № 10 от 19 октября 2020 г.)

Певчева Елена Викторовна

«Повышение эффективности электротехнического комплекса  
тепличного комбината»

Автореферат

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84/16

Усл. печ. л. 1,39

Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный Венец, 32