

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦАХ
AUTOMATION OF MICROCLIMATE CONTROL
IN INDUSTRIAL GREENHOUSES**

Исмаилов Э.Б., студент

Стариков А.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

star123@yandex.ru

Ismailov E.B., Student

Starikov A.V., DSc (Engineering), Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье дан обзор основных понятий, методов и средств для автоматизации управления микроклиматом в промышленных теплицах. Рассмотрена структурная организация управления автоматизированной теплицей, включающая автоматизированное рабочее место агронома-технолога (верхний уровень), микроконтроллеры и программируемые логические контроллеры (средний уровень), разнообразные датчики и исполнительные механизмы (нижний уровень).

Summary: The article gives an overview of the basic concepts, methods and means for automation of microclimate control in industrial greenhouses. The structural organization of automated greenhouse control is considered, including automated workplace of agronomist-technologist (upper level), microcontrollers and programmable logic controllers (middle level), various sensors and actuators (lower level).

Ключевые слова: промышленная теплица, микроклимат, управление, автоматизация.

Keywords: industrial greenhouse, microclimate, control, automation.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности страны – одна из высокоприоритетных государственных задач. При ее решении существенное значение имеет снабжение населения овощами. В силу климатических условий во многих регионах России не удастся осуществлять интенсивное выращивание овощных культур в открытом грунте, поэтому необходимо развивать и совершенствовать тепличное хозяйство.

Тепличный бизнес в России имеет относительно давнюю историю [1]. Первые теплицы в России появились более 300 лет назад, в промышленном масштабе овощи, зелень, цветы, фрукты, декоративные деревья и саженцы стали выращиваться в закрытом грунте при советской власти. После распада СССР тепличное хозяйство постепенно приходило в упадок, достаточно отметить, что к 1997 году площадь тепличных сооружений сократилась вдвое по сравнению с 1991 годом.

В последние годы повышается интерес инвесторов к тепличному выращиванию и реализации овощей. С учетом этого стали увеличиваться площади, отводимые под тепличное хозяйство. Поскольку установленная в давно существующих теплицах автоматика в значительной степени морально и физически устарела, назрела необходимость комплексной автоматизации и компьютеризации управления технологическими процессами тепличного выращивания овощных и ягодных культур [2].

Кроме того, одна из основных проблем производства внесезонной продукции заключается в ее высокой себестоимости вследствие значительных затрат на энергоресурсы. Энергосбережение также можно обеспечить за счет более качественного решения задач управления микроклиматом теплиц. Таким образом, задача по совершенствованию методов и средств автоматизации управления микроклиматом в промышленных теплицах является актуальной и практически важной.

Микроклимат теплицы

Поддержание микроклимата в теплице выполняется с целью создания климатических условий, оказывающих благоприятное влияние на всхожесть, произрастание и урожайность тепличных культур. Микроклимат теплицы определяется рядом параметров, таких как температура и влажность воздуха и почвы, движение и состав атмосферного воздуха в теплице, уровень pH почвы и других.

Параметры микроклимата теплицы являются контролируемыми, т.е. их значения следует изменять в зависимости от роста растений (по сезонам года), со сменой дня и ночи, при солнечной и пасмурной погоде, от проветривания теплицы. Кроме того, для разных тепличных культур требуются свои оптимальные параметры микроклимата.

Задание и поддержание оптимальных параметров микроклимата в теплице имеют свои особенности. Например, толщина обычного остекления теплицы составляет всего 4 мм. По этой причине любые изменения внешних погодных условий (например, изменение наружной температуры, выпадение снега или дождя, яркое солнце, сильные порывы ветра) приводят к изменению значений таких параметров, как температура воздуха и почвы в теплице. Чтобы обеспечить повышение значений температуры воздуха и температуры почвы в теплице при понижении наружной температуры потребуются некоторый промежуток времени. Этот временной промежуток необходим для заполнения труб системы отопления горячей водой и вытеснения ею холодной воды с последующим повышением температуры в теплице.

Таким образом, автоматизированная система управления микроклиматом с учетом инерционности технологических операций при изменении параметров микроклимата в теплице должна основываться на методах и алгоритмах прогнозирования. Цель использования прогнозных алгоритмов состоит в опережающей подаче соответствующих команд следующим инженерным системам: отопления, проветривания, досвечивания, зашторивания, туманообразования. Также следует иметь в виду, что точность установки и поддержания параметров микроклимата в теплице должна быть достаточно высокой (например, для температуры воздуха и почвы отклонение от заданных значений должно составлять $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$).

Классификация промышленных теплиц

Промышленная теплица представляет собой специальное закрытое сооружение с покрытием из светопрозрачного материала, предназначенное для выращивания тепличных культур. В качестве покрывающего материала теплицы обычно используются стекло или синтетическая пленка. Размеры и оборудование промышленной теплицы позволяют организовать полный цикл выращивания той или иной сельскохозяйственной культуры.

Для классификации (типизации) теплиц могут применяться различные эксплуатационные, конструктивные и строительные признаки. Теплицы различаются по назначению, по сезонности использования, по технологии выращи-

вания растений, по виду светопрозрачного материала, по способу обогрева, по использованным конструктивно-планировочным решениям, по профилю поперечного сечения.

Теплицы могут подразделяться на грунтовые и стеллажные. В теплицах первого вида для выращивания сельскохозяйственных культур используется грунтовый слой на полу теплицы. В теплицах второго вида используются стеллажи (дощатые полки с грунтом). Различают также почвенные теплицы, в которых для выращивания растений используются плодородные почвенные смеси, и гидропонные, в которых используются субстраты и питательные растворы.

Теплицы могут подразделяться на зимние и весенние в зависимости от сроков использования. Зимние теплицы эксплуатируются круглогодично и, как правило, имеют остекленное покрытие. Весенние теплицы, использующиеся весной, летом и частично осенью, могут иметь как остекленное, так и пленочное покрытие.

Теплицы по конструктивным особенностям могут подразделяться на однозвенные (ангарные) и многозвенные (блочные). По профилю поперечного сечения теплицы бывают односкатные и двухскатные. В свою очередь, двухскатные теплицы могут иметь равные и неравные, плоские и цилиндрические скаты. На практике широкое распространение получили блочные теплицы (блоки теплиц), представляющие собой соединение нескольких двухскатных теплиц, у которых вместо внутренних стен и перегородок используются опоры.

Теплицы по типу используемых основных несущих конструкций подразделяются на каркасные и бескаркасные. В свою очередь, каркасные теплицы могут быть рамными, стоечно-балочными, арочными, сводчатыми (куполообразными), вантовыми (подвесными) и воздушно-опорными.

Необходимо отметить, что поскольку промышленные теплицы оснащены множеством исполнительных инженерных (технологических) систем, выбор указанных выше критериев оказывается весьма важным для определения оптимальной стратегии поддержания микроклимата в теплице [3].

Инженерные системы промышленных теплиц

Современные промышленные теплицы оборудованы множеством исполнительных инженерных (технологических) систем. Функционирование этих систем обеспечивает поддержание заданного микроклимата, требуемого для роста растений [4].

Система отопления. С помощью этой системы поддерживается заданная температура воздуха и почвы в теплице. В системе отопления теплицы могут

использоваться несколько (до 5 включительно) отдельных контуров, с помощью которых осуществляется регулирование температуры в теплице. Для регулирования применяются смесительные клапаны, обеспечивающие смешение в контурах отопления горячей воды, поступающей в теплицу от теплоисточника, с водой, прошедшей через контуры отопления и отдавшей свое тепло. Смешение горячей и холодной воды в необходимой пропорции обеспечивает поддержание заданной температуры воздуха и почвы в теплице.

Система фрамужной (форточной) вентиляции. Обеспечивает естественный приток в теплицу воздуха снаружи с помощью открытия фрамуг, расположенных в стеклянной крыше. Общая площадь фрамуг может составлять до 30 % от площади крыши теплицы. Для открытия и закрытия фрамуг используются моторы-редукторы.

Система зашторивания. Предотвращает от перегрева воздух и почву в теплице в периоды избыточной солнечной радиации. Система зашторивания позволяет создавать в теплице режим притенения, когда над растениями с помощью моторов-редукторов разворачивается экран из полимерного непрозрачного материала, препятствующий поступлению солнечного света на почву с растениями. В холодные периоды года систему зашторивания также может использоваться для снижения потерь тепла (до 30 %) через остекление теплицы.

Система полива. Обеспечивает орошение водой почвы и тепличных растений. Существуют различные типы систем полива, такие как капельное орошение, микродождевание, подземное орошение и другие. Дополнительно к системе полива может быть подключена установка для получения электрохимически активированной воды, используемой для дезинфекции и стимулирования роста тепличных культур [5, 6].

Система подкормки растений CO₂. Обеспечивает содержание необходимой концентрации углекислого газа (CO₂) в воздухе теплицы. Наличие углекислого газа необходимо для осуществления процесса фотосинтеза растений, обеспечивающего их рост. По этой причине концентрация CO₂ в воздухе является таким же важным параметром микроклимата теплицы, как температура и влажность. Для подкормки тепличных растений CO₂ можно использовать отходящие газы котельной или жидкую углекислоту.

Система досвечивания. Поддерживает в теплице определенный уровень освещенности (в диапазоне 120...250 Вт/м²) в условиях недостаточного естественного освещения. При использовании интенсивной технологии выращи-

ния растений в теплицах рекомендуется установка систем ассимиляционного освещения.

Система вентиляции. Обеспечивает естественный воздухообмен через вентиляционные проемы, расположенные в крыше теплицы. Система вентиляции теплиц избавляет человека от лишней работы, а растениям обеспечиваются комфортные условия. В промышленных теплицах она работает автоматически в зависимости от климатических условий.

Система рециркуляции воздуха. Осуществляет принудительный воздухообмен в теплице с помощью вентиляторов, установленных в верхней ее части. Включение вентиляторов обеспечивает движение воздуха, приводящее к выравниванию теплового поля и ускорению конвективного теплообмена.

Система туманообразования (система испарительного охлаждения и доувлажнения). Обеспечивает поддержание заданных значений температуры и влажности независимо от типа вентиляции – искусственной или естественной. Данная система позволяет распылять воду под давлением до 100 атмосфер, при этом с помощью специальных форсунок удастся добиться образования водяных частиц диаметром не более 10 микрон. Малые размеры частиц дают им возможность зависать в воздухе, что и обеспечивает эффект образования тумана.

Система туманообразования позволяет понизить температуру воздуха на 5-7 °С по сравнению с температурой наружного воздуха. Это происходит за счет поглощения тепла при испарении мелкодисперсной влаги, подаваемой в теплицу.

Системы туманообразования имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами распыления воды. Их применение обеспечивает создание подходящих для растений фитоклиматических условий. При увлажнении туманом улучшается всхожесть семян и стимулируются процессы роста тепличных растений. Системы туманообразования применяются с одинаковой результативностью в течение года. В летний период атмосфера в теплице охлаждается, а уровень влажности повышается. В зимний период системы тумана поддерживают приемлемый уровень влажности, который снижается в связи с работой систем отопления.

Дополнительно к системе туманообразования может быть подключена установка для получения электрохимически активированной воды. При использовании католита она позволяет стимулировать рост тепличных растений, а при использовании анолита – провести дезинфекцию растений, воздушной среды и элементов технологического оборудования в теплице [7].

Метеостанция входит в состав тепличных промышленных комплексов и обеспечивает непрерывный мониторинг показателей внешней окружающей среды (температура и влажность воздуха, уровень выпавших осадков, скорость и направление ветра, освещенность и другие). Основная задача мониторинга – собрать объективные данные о состоянии внешней среды с целью принятия оперативных мер по защите конструкций теплиц и тепличных растений.

Метеостанция содержит следующие датчики:

- датчик скорости ветра, определяющий скорость ветра и предоставляющий ее текущее значение по запросу контроллера. Контроллер формирует управляющий сигнал на закрытие открытых фрамуг при достижении предельных значений, чтобы предотвратить повреждение конструкции фрамуг и самой теплицы;

- датчик направления ветра, определяющий направление ветра и предоставляющий данные о нем по запросу контроллера. Контроллер принимает решение о степени закрытия наветренной и подветренной стороны фрамуг, чтобы предотвратить их повреждения. Датчик направления ветра используется совместно с датчиком скорости ветра;

- датчик осадков, определяющий наличие дождя и снега. Предоставляет информацию об осадках по запросу от контроллера, который принимает решение и формирует управляющий сигнал на закрытие фрамуг для предотвращения попадания осадков внутрь теплицы;

- датчик температуры и влажности воздуха, определяющий температуру и влажность наружного воздуха. Предоставляет информацию по запросу от контроллера, который формирует управляющие сигналы на открытие или закрытие фрамуг, обеспечивая необходимый микроклимат в теплице.

Согласованная работа перечисленных выше инженерных систем требует использования эффективной системы автоматизированного управления, которая предназначена для контроля параметров микроклимата промышленных теплиц.

Функции автоматизированного управления микроклиматом теплицы

Основные функции АСУ ТП (в частности, при автоматизированном управлении микроклиматом в теплице) включают [4]:

1. Автоматическое управление параметрами микроклимата на основе закона ПИД регулирования, позволяющего обеспечить оптимальные переходные процессы при запуске и остановке оборудования.

2. Сбор и первичная обработка исходных данных, выдача управляющих воздействий, отображение информации о состоянии технологического процесса.

3. Идентификация, сигнализация и регистрация аварийных ситуаций, отклонений процесса от заданных пределов, отказов технологического оборудования.

4. Отображение информации о ходе технологического процесса и состоянии технологического оборудования (например, в виде мнемосхем с индикацией на них значений параметров).

5. Дистанционное управление работой технологического оборудования с использованием автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора.

6. Регистрация параметров технологического процесса, контролируемых событий, выполненных действий оператора и автоматическое архивирование их в базе данных сервера.

7. Предоставление информации из базы данных сервера по требованию пользователя в удобочитаемом виде (тренды, таблицы, графики).

Структура автоматизированной системы управления микроклиматом теплицы

Структура современной АСУ ТП предусматривает три следующие уровня: нижний – полевой уровень, средний – уровень базовой автоматизации производственных процессов (контроллеры управления), верхний – уровень управления технологиями (на платформе SCADA-системы).

На рисунке 1 показана трехуровневая структура АСУ микроклимата промышленной теплицы [2].

На нижнем (полевого) уровне используются датчики (сенсоры), исполнительные механизмы (актуаторы), вспомогательные устройства и пульта управления. Оборудование этого уровня обеспечивает измерение физических параметров и преобразование их в типовые виды электрических сигналов, получение управляющих сигналов от оборудования (контроллеров) среднего уровня и непосредственное управление технологическим процессом в соответствии с полученными сигналами.

На среднем (управляющем) уровне используются программируемые логические контроллеры (ПЛК) с распределенной системой ввода-вывода.

На верхнем уровне, представленном серверами и автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов, осуществляется централизованное управление технологическим процессом [8].

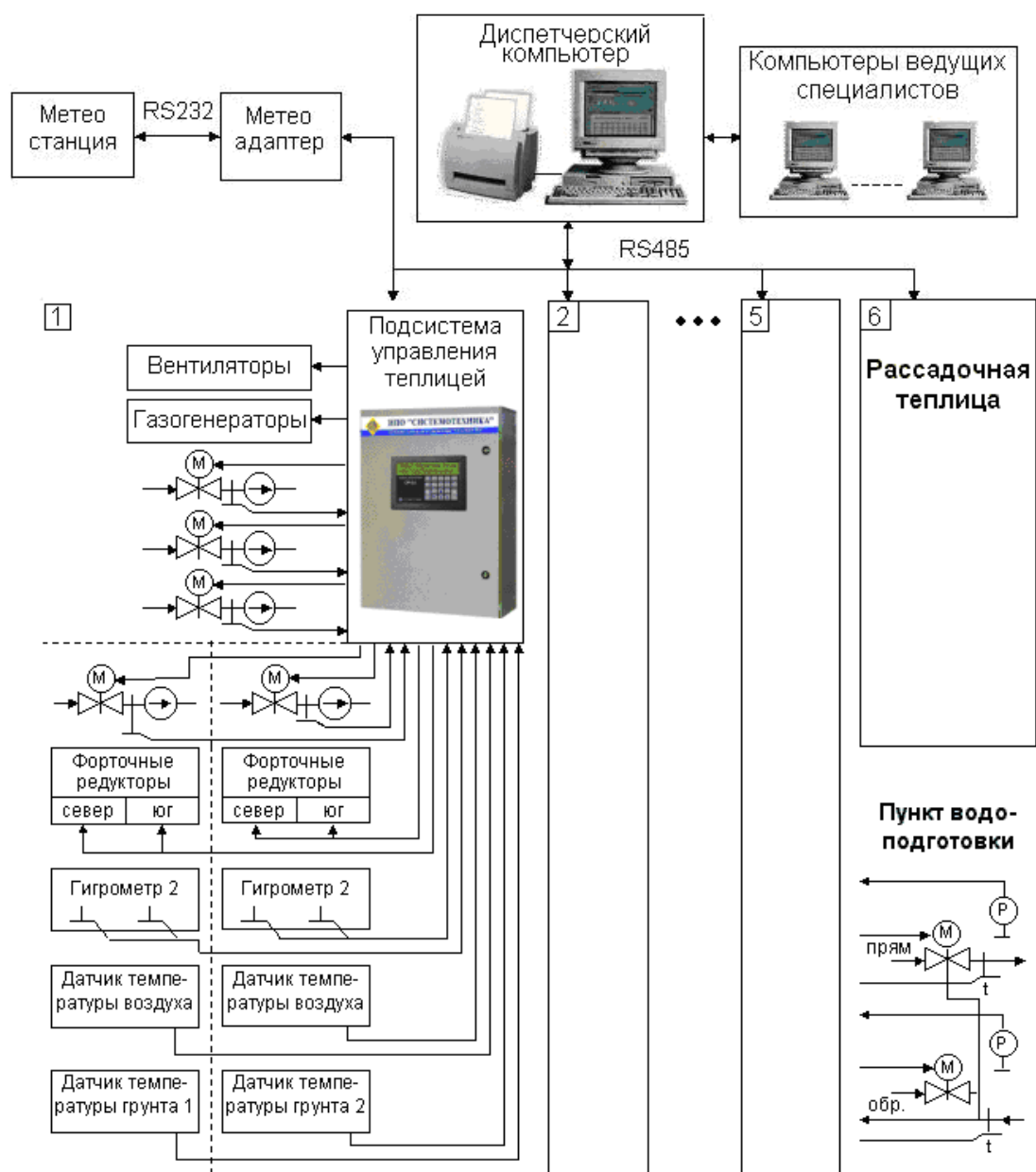


Рисунок 1 – Структура АСУ микроклимата промышленной теплицы
Программное обеспечение автоматизированной системы управления
микроклиматом теплицы

Как отмечалось выше, АСУ микроклиматом промышленной теплицы должна обеспечивать следующие минимальные функциональные возможности:

- программное задание суточного цикла изменения контролируемых параметров микроклимата в теплице;
- контроль микроклимата в теплице и отслеживание внешних метео-условий;
- поддержание заданного микроклимата в теплице;
- анализ получаемых данных и оперативное информирование персонала о возникновении критических ситуаций.

Для реализации указанных возможностей помимо технических средств автоматизации используется программное обеспечение. Программное обеспечение для АСУ ТП представлено следующими двумя видами:

- программное обеспечение общего назначения, включающее базовый набор программ, не имеющих привязки к специфическим особенностям конкретного предприятия и технических объектов автоматизации. К подобному типу программного обеспечения относятся операционные системы, текстовые редакторы, компиляторы языков программирования, SCADA-системы и другие;
- специальное программное обеспечение, разработанное для решения специальных задач автоматизации, учитывающее специфику предметной области и особенности используемых технических средств автоматизации и направленное на достижение оптимальной продуктивности. Примером специального ПО является графический интерфейс АСУ ТП, позволяющий создавать и визуализировать технологические процессы.

Для реализации верхнего уровня АСУ ТП в промышленных теплицах целесообразно использовать SCADA-системы в качестве платформы для создания человеко-ориентированного интерфейса управления системами промышленной автоматизации. Важнейшей особенностью SCADA-систем является поддержание работы в режиме реального времени, при котором обеспечивается получение оперативной информации о контролируемых параметрах, выявляются критические состояния технологического процесса и предотвращаются аварийные ситуации. Одним из ранних примеров успешного использования российской SCADA-системы TRACEMODE в автоматизации тепличного хозяйства является внедрение первой очереди АСУ микроклиматом на агрокомбинате «Московский» в 2000 году [9].

Специальное программное, ориентированное на использование программируемых логических контроллеров (ПЛК), решает специфические задачи управления технологическими процессами конкретного типа. Структура специального программного обеспечения автоматизированных систем должна учитывать требования, налагаемые используемым программным обеспечением общего назначения, в частности, операционной системой, системами программирования, отладки и контроля [10].

Заключение

Автоматизация управления микроклиматом является частью более общей задачи по проектированию, разработке и внедрению АСУ ТП в промышленных теплицах. При этом разработка и внедрение АСУ микроклимата обеспечивает

создание базовых условий для оптимального управления ходом технологического процесса в промышленной теплице, направленного на увеличение объема и повышение качества выращиваемой тепличной продукции, а также на снижение энергозатрат на ведение тепличного хозяйства.

Список литературы

1. История появления и развития тепличного бизнеса в России. – URL: <http://www.greenrussia.ru/main/poleznoe/1092-istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-teplichnogo.html> (дата обращения: 19.03.2025).
2. Карандашев, А. П. Система автоматизированного управления микроклиматом блока теплиц. – URL: http://www.syst.ru/vnedren/sau_mkt.htm (дата обращения: 19.03.2025).
3. Система управления микроклиматом тепличного комплекса «Анна». – URL: https://insat.ru/projects/industries_solutions/agricultural_industry/climate_control_system_anna (дата обращения: 19.03.2025).
4. Система управления микроклиматом теплицы. – URL: <https://www.lis-agro.com/wp-content/uploads/2022/04/upravlenie-klimatom.pdf> (дата обращения: 19.03.2025).
5. Стариков, А. В. Система комбинированного орошения в тепличных комплексах с использованием электрохимически активированной воды / А. В. Стариков, А. А. Старикова // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж, 2020. – С. 492-498.
6. Starikov, A. V. Automation of Combined Irrigation System Control in Greenhouses with Electrochemically Activated Water / A. V. Starikov, A. A. Gribanov, A. A. Starikova // International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2022. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9906670>, cap. from the screen (access date: 03/19/2025).
7. Стариков, А. В. Стимулирование роста тепличных растений путем подпитки электрохимически активированной водой с использованием специальной системы туманообразования / А. В. Стариков, А. В. Колесников, В. В. Найдено // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т.5, № 1 (27). – С. 345-350.
8. Автоматизация управления процессами выращивания культур в тепличных комплексах вертикального типа / А. В. Рябинов, М. С. Виноградов,

Д. К. Леванеский, С.И. Лоскутов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – №2. – С. 201-213. – DOI: 10.36107/spfp.2023.381.

9. TRACEMODE в автоматизации теплиц на агрокомбинате «Московский». – URL: http://www.adastra.ru/products/runtime/scada/rtm6/news/agrokomb_moskovsky (дата обращения: 19.03.2025).

10. О специальном программном обеспечении автоматизированных систем управления технологическими процессами. – URL: <https://ritm.pro/specialnoe-programmnoe-obespechenie-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-processami> (дата обращения: 19.03.2025).

References

1. The history of the emergence and development of the greenhouse business in Russia. – URL: <http://www.greenrussia.ru/main/poleznoe/1092-istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-teplichnogo.html> (date of access: 03.19.2025).

2. Karandashev, A. P. Automated climate control system of the greenhouse block / A. P. Karandashev. – URL: http://www.syst.ru/vnedren/sau_mkt.htm (date of access: 03.19.2025).

3. Microclimate management system of the Anna greenhouse complex. – URL: https://insat.ru/projects/industries_solutions/agricultural_industry/climate_control_system_anna (date of access: 03.19.2025).

4. Greenhouse microclimate management system. – URL: <https://www.lis-agro.com/wp-content/uploads/2022/04/upravlenie-klimatom.pdf> (date of access: 03.19.2025).

5. Starikov, A.V. Combined irrigation system in greenhouse complexes using electrochemically activated water / A.V. Starikov, A. A. Starikova // Mechanization and automation of technological processes in agricultural production: proceedings of the national scientific and practical conference. – Voronezh, 2020. – Pp. 492-498.

6. Starikov, A. V. Automation of Combined Irrigation System Control in Greenhouses with Electrochemically Activated Water / A. V. Starikov, A. A. Gribanov, A. A. Starikova // International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2022. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9906670>, cap. from the screen (date of access: 03.19.2025).

7. Starikov, A.V. Stimulating the growth of greenhouse plants by feeding with electrochemically activated water using a special misting system / A.V. Starikov,

A.V. Kolesnikov, V. V. Naidenko // Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. – 2017. – Vol.5, No. 1 (27). – Pp. 345-350.

8. Automation of crop management processes in vertical-type thermal complexes / A.V. Ryabinov, M. S. Vinogradov, D. K. Levanesky, S.I. Loskutov // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2023. – No. 2. – Pp. 201-213. – DOI: 10.36107/spfp.2023.381.

9. TRACE MODE in greenhouse automation at the Moskovsky agro-industrial complex. – URL: http://www.adastra.ru/products/runtime/scada/rtm6/news/agrocomb_moskovsky (accessed: 03.19.2025).

10. About special software for automated process control systems. – URL: <https://ritm.pro/specialnoe-programmnoe-obespechenie-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-processami> (date of request: 03.19.2025).