

Научная статья

УДК 62-50

<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2026-1-33-39>

EDN RXYZKE

Интеллектуальная система управления микроклиматом теплицы на основе нечеткой логики

Андрей Геннадьевич Кокуев, Елена Федоровна Райкова[✉],
Олег Викторович Антонов, Ву Чонг Хуинь

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, ref11@mail.ru[✉]*

Аннотация. Рассматривается разработка интеллектуальной системы управления микроклиматом в теплице VietFarm, расположенной в г. Далат, Вьетнам. Тепличные хозяйства, представляя собой важный элемент агрономии, сталкиваются с необходимостью повышения продуктивности и качества сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата и нехватки ресурсов. Основная цель исследования заключается в создании системы управления, использующей методы нечеткой логики для обработки данных и формирования алгоритмов, способных адаптироваться к переменчивым климатическим условиям. Описывается разработка системы, состоящей из взаимосвязанных контуров регулирования, включая температурный, влажностный, освещенности и питания растений. В каждом контуре системы применяются датчики, обеспечивающие мониторинг параметров микроклимата с последующей автоматической корректировкой условий для оптимального роста растений. В процессе разработки были сформулированы нечеткие правила, позволяющие реализовывать управление на основе наблюдаемых данных. Основные выводы исследования подчеркивают, что применение системы управления на основе нечеткой логики значительно повышает эффективность эксплуатации теплицы, минимизирует ручное вмешательство и способствует повышению урожайности. Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего усовершенствования автоматизированных систем в сельском хозяйстве путем внедрения интеллектуальных технологий в управление тепличными комплексами, что имеет важное значение для повышения продовольственной безопасности Вьетнама. Использованные методы и алгоритмы, а также полученные результаты могут стать основой для разработки аналогичных систем в других регионах и условиях, что, безусловно, поддержит устойчивое развитие сельского хозяйства в будущем.

Ключевые слова: теплица, интеллектуальные системы, система управления, метод нечеткой логики, нечеткие правила

Для цитирования: Кокуев А. Г., Райкова Е. Ф., Антонов О. В., Ву Чонг Хуинь. Интеллектуальная система управления микроклиматом теплицы на основе нечеткой логики // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2026. № 1. С. 33–39. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2026-1-33-39>. EDN RXYZKE.

Original article

Intelligent greenhouse climate management system based on fuzzy logic

Andrey G. Kokuyev, Elena F. Raykova[✉], Oleg V. Antonov, Vu Trong Huynh

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, ref11@mail.ru[✉]*

Abstract. The article discusses the development of an intelligent microclimate control system for the VietFarm greenhouse located in Dalat, Vietnam. As an important element of agronomy, greenhouse farms face the challenge of increasing agricultural productivity and quality in a changing climate and resource-constrained environment. The primary objective of this research is to create a control system that utilizes fuzzy logic techniques to process data and generate algorithms that can adapt to variable climatic conditions. The article describes the development of a system consisting of interconnected control loops, including temperature, humidity, light, and plant nutrition. Each loop of the system uses sensors to monitor microclimate parameters and automatically adjust conditions for optimal plant growth. During the development process, fuzzy rules were formulated to implement control based on observed data. The main

findings of the study emphasize that the use of a fuzzy logic-based control system significantly improves the efficiency of greenhouse operation, minimizes manual intervention, and contributes to higher crop yields. The results of this work can be used to further improve automated systems in agriculture by incorporating intelligent technologies into the management of greenhouse complexes, which is crucial for enhancing the Vietnam's food security. The methods and algorithms used, as well as the obtained results, can serve as a foundation for the development of similar systems in other regions and conditions, contributing to the sustainable growth of agriculture in the future.

Keywords: greenhouse, intelligent systems, control system, fuzzy logic method, fuzzy rules

For citation: Kokuyev A. G., Raykova E. F., Antonov O. V., Vu Trong Huynh. Intelligent greenhouse climate management system based on fuzzy logic. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics.* 2026;1:33-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2026-1-33-39>. EDN RXYZKE.

Введение

Сельское хозяйство как отрасль экономики должно учитывать множество внешних факторов, среди которых изменение климата, нехватка ресурсов и необходимость повышения продуктивности. Тепличные хозяйства, являясь важными объектами в агрономии и сельском хозяйстве, требуют высокотехнологичных решений для эффективного управления микроклиматом, что способствует повышению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. Теплицы с регулируемым микроклиматом становятся важным инструментом для решения проблем, позволяя создавать оптимальные условия для роста различных растительных культур [1].

Развитие интеллектуальных систем управления позволяет использовать современные подходы к автоматизации и анализу данных тепличных хозяйств. Применение методов нечеткой логики учитывает неопределенность и вариативность природных условий, обеспечивает возможность оптимизации параметров роста растений и гибкость в реагировании на изменения внешних факторов, что критически важно для успешного функционирования теплицы [2, 3].

Материалы и методы исследования

Объектом данного исследования является теплица VietFarm в г. Далат (Вьетнам), в которой на данный момент не используются автоматизированные технологии для управления агрономическими процессами. Теплица имеет оптимальную агротехническую конструкцию, предназначенную для выращивания различных овощных культур в закрытом помещении, но отсутствие автоматизированной системы управления приводит к низкой продуктивности.

Для решения проблемы было решено применить интеллектуальный метод нечеткой логики как инструмент для обработки данных и формирования алгоритмов систем управления. Основной целью исследования стало создание системы управления, способной адаптироваться к изменяющимся климатическим условиям и обеспечивать оптималь-

ные параметры для роста растений.

Были сформулированы правила нечеткой логики, основанные на анализе собранных данных. Эти правила применялись для автоматического регулирования климатических условий в теплице. Например, система могла автоматически включать вентиляцию при превышении заданных значений температуры и влажности или активировать искусственное освещение в условиях недостатка солнечного света [4].

Таким образом, применение системы управления на основе нечеткой логики представляет собой эффективную стратегию для оптимизации агрономических процессов в теплице и служит основой для дальнейших исследований в области автоматизации сельского хозяйства.

Анализ полученных результатов

В ходе исследования были определены регулирующие и возмущающие воздействия, а также регулируемые параметры теплицы: регулирующие воздействия: F_T – система контроля температур; F_{pH} – система контроля pH; F_H – система увлажнения; F_L – система освещения; регулируемые параметры: T_t – температура в теплице; pH_t – уровень pH; H_t – уровень влажности; L_t – освещенность в теплице; возмущающие воздействия: $T_{o.c}$ – температура окружающей среды; $A_{вл.o.c}$ – влажность окружающей среды; A_h – влияние насекомых (рис. 1).

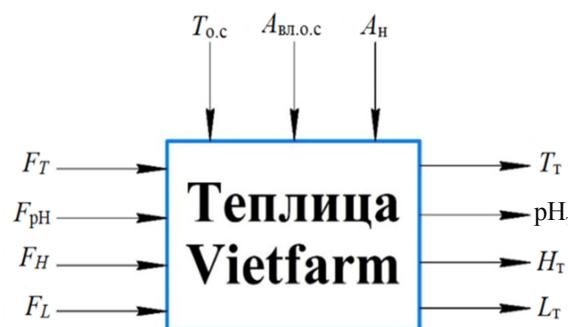


Рис. 1. Анализ теплицы как объекта управления

Fig. 1. Analysis of a greenhouse as a management object

В системе автоматизации теплицы предлагается реализация следующих основных контуров регулирования, прогнозирования и анализа, а также охраны и безопасности.

Температурный контур отвечает за поддержание оптимальной температуры внутри теплицы. Регулирование может осуществляться через автоматическое открытие и закрытие вентиляционных окон, включение/выключение отопительных систем, а также использование тепловых аккумуляторов и систем кондиционирования (управление отоплением и вентиляцией для поддержания оптимальной температуры) [5].

Влажностный контур включает в себя автоматизацию систем полива, регулирование испарения воды, использование увлажнителей и дегидраторов в зависимости от текущих уровней влажности (регулирование интенсивности полива и вентиляции для поддержания необходимого уровня влажности).

Контур освещения включает в себя автоматизацию системы освещения, управление шторками или экранами для защиты от излишнего солнечного света, а также использование датчиков освещенности для включения/выключения дополнительных источников света (автоматизация системы освещения для обеспечения растений необходимым светом в зависимости от времени суток и погодных условий).

Контур питания растений включает системы автоматического полива и внесения удобрений,

которые могут регулироваться в зависимости от уровня влажности почвы и других параметров, таких как pH и уровень питательных веществ.

Контур прогнозирования и анализа включает в себя системы сбора данных с датчиков и их анализ для учета изменений параметров внутреннего климата теплицы. Это может помочь в планировании и оптимизации процессов.

Системы охраны и безопасности отвечают за защиту теплицы от несанкционированного доступа и другие параметры безопасности. К ним относятся датчики движения и камеры видеонаблюдения.

Все контуры работают взаимосвязанно и объединены в единую систему управления, позволяющую обеспечить высокую эффективность эксплуатации теплицы и создание оптимальных условий для роста растений [6, 7].

В связи с большой инерционностью тепличного комплекса и взаимовлиянием параметров микроклимата оперативное изменение управляющих воздействий часто не обеспечивает заданное качество регулирования параметров, а также может ухудшать параметры теплицы в среднесрочной перспективе.

Применение метода нечеткой логики для решения задачи автоматизированного управления климатом в теплице VietFarm в г. Далат (Вьетнам) обеспечивает многоуровневый подход, учитывающий неопределенности и сложные взаимодействия между различными факторами, влияющими на микроклимат. Этот процесс показан на рис. 2.

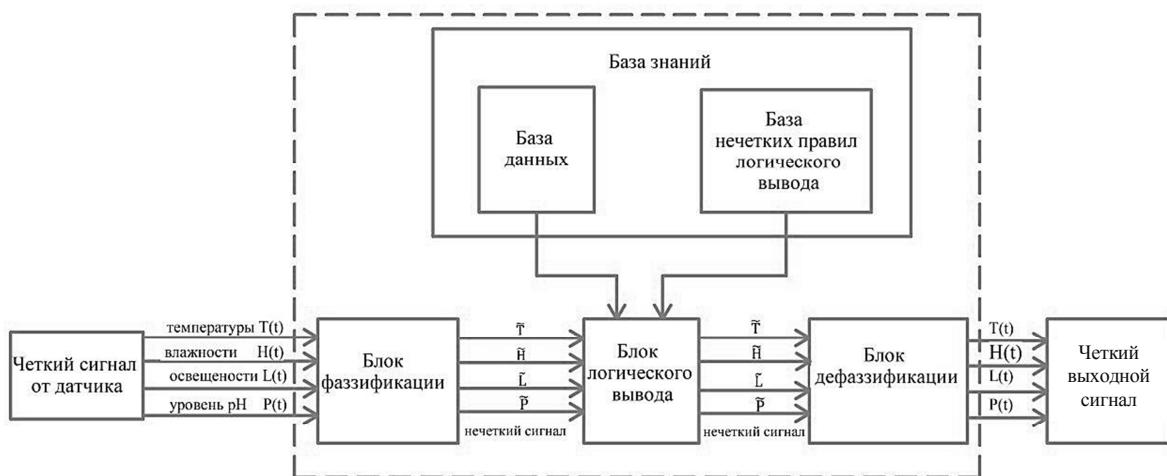


Рис. 2. Функциональная схема нечеткого логического контроллера

Fig. 2. Functional diagram of a fuzzy logic controller

Данная схема для автоматизации теплицы включает несколько основных компонентов, обеспечивающих управление условиями внутри теплицы.

Центральный элемент системы, содержащий базы данных и базы нечетких правил, хранит информацию о параметрах, логических выводах и прави-

лах, необходимых для управления. Блок фаззификации принимает четкие сигналы от датчиков, измеряющих влажность, температуру, освещенность и кислотность почвы и преобразует их в нечеткие значения, которые проще использовать в логическом выводе. Блок логического вывода на основе

нечетких входных данных и базы нечетких правил производит нечеткие выходные сигналы, анализирует изменяющиеся условия и принимает решения о необходимых корректировках. Блок дефазификации преобразует нечеткие выходные сигналы в четкие значения ($u(t)$), которые могут быть использованы для управления системами, такими как орошение или обогрев.

На начальном этапе производится сбор данных о текущих условиях в теплице. Рассмотрим следующие значения термов: температура T , влажность H , уровень освещения L , уровень pH P . Каждый из этих параметров может принимать лингвистические значения из некоторого множества:

- температура: низкая ($15\text{--}20^{\circ}\text{C}$), нормальная ($20\text{--}25^{\circ}\text{C}$), высокая ($25\text{--}35^{\circ}\text{C}$);
- влажность: низкая ($0\text{--}40\%$), нормальная ($40\text{--}70\%$), высокая ($70\text{--}100\%$);
- уровень освещения: низкий ($0\text{--}2\,000\text{ лк}$), нормальный ($2\,000\text{--}6\,000\text{ лк}$), высокий ($6\,000\text{--}10\,000\text{ лк}$);
- уровень pH: кислая среда (от 0 до 7), нейтральная среда (7), щелочная среда (от 7 до 14).

На этапе фазификации входные значения от датчиков применены к нечетким правилам для установления степени соответствия. Каждая из переменных указывается в виде соответствующих входных данных с границами, представленными в таблице.

Определение входных переменных

Defining input variables

Температура $T, ^{\circ}\text{C}$	Влажность $H, \%$	Уровень освещения $L, \text{лк}$	Уровень pH P
$0 \leq T \leq 35$	$0 \leq H \leq 100$	$0 \leq L \leq 10\,000$	$0 \leq P \leq 14$
Низкая: $0 \leq T < 15$	Низкая: $0 \leq H < 40$	Низкая: $0 \leq L < 2\,000$	Кислая: $0 \leq P < 5,5$
Средняя: $19 \leq T \leq 25$	Средняя: $39 \leq H \leq 70$	Средняя: $1\,900 \leq L \leq 6\,000$	Нейтральная: $5,4 \leq P \leq 7,5$
Высокая: $24 \leq T \leq 35$	Высокая: $69 \leq H \leq 100$	Высокая: $1\,900 \leq L \leq 10\,000$	Щелочная: $7,0 \leq P \leq 14$

Пример лингвистических значений входных переменных:

- при $H = 20\%$ можно классифицировать данное состояние как «Низкая влажность», поскольку этот уровень находится в диапазоне $0 \leq 20 < 40\%$;
- при $T = 10^{\circ}\text{C}$ состояние определяется как «Низкая температура», поскольку значение находится в пределах $0 \leq 15^{\circ}\text{C}$;
- если $L = 3\,000\text{ лк}$, состояние соответствует категории «Средняя освещенность», т. к. $1\,900 \leq 3\,000 \leq 6\,000\text{ лк}$;
- при $P = 5$ состояние классифицируется как «Кислая среда», т. к. значение находится в пределах $0 \leq 5 < 5,5$.

Далее производится вычисление выходных нечетких значений для каждого правила, идет активизация заключений правил нечеткой логики. Ниже приведены примеры правил на основе данных входных переменных.

Правило 1: «ЕСЛИ» температура «низкая» «И» влажность «низкая», «ТО» «увеличить обогрев».

Правило 2: «ЕСЛИ» освещенность «низкая», «ТО» «включить лампы».

Правило 3: «ЕСЛИ» уровень pH «низкий», «ТО» «добавить реагент для повышения pH».

Дефазификация выходных переменных:

- управляющее воздействие на обогреватель: 70 % (на основе степени истинности правила 1);

- управляющее воздействие на освещение: 100 % (на основе степени истинности правила 2);

- управляющее воздействие на дозатор реагента: 60 % (на основе степени истинности правила 3).

В результате работы блока управления:

- обогреватель будет включен с определенным уровнем мощности, который можно определить по дополнительным правилам или значениям;
- лампы освещения будут включены;
- реагент будет добавлен при кислой среде.

Такая система позволяет динамически управлять устройствами в зависимости от текущих условий, обеспечивая оптимальные параметры. После интеграции системы необходимо провести тестирование для обеспечения функционирования в реальных условиях [8, 9].

В окончательном варианте получим следующие требования к системе управления тепличным хозяйством:

- оператор должен иметь возможность задать план выращивания;
- оператор должен иметь возможность просматривать протокол работы системы;
- система должна получать информацию от датчиков;
- система должна иметь возможность управлять внешними устройствами на основе показателей датчиков и введенного плана выращивания.

Важно также предусмотреть возможность оптимизации правил и параметров системы на основе собранных данных в процессе эксплуатации.

Ниже представлена схема, демонстрирующая интеллектуальную систему автоматизации, которая

использует датчики для мониторинга этих параметров и принимает решения на основе анализа данных (рис. 3).

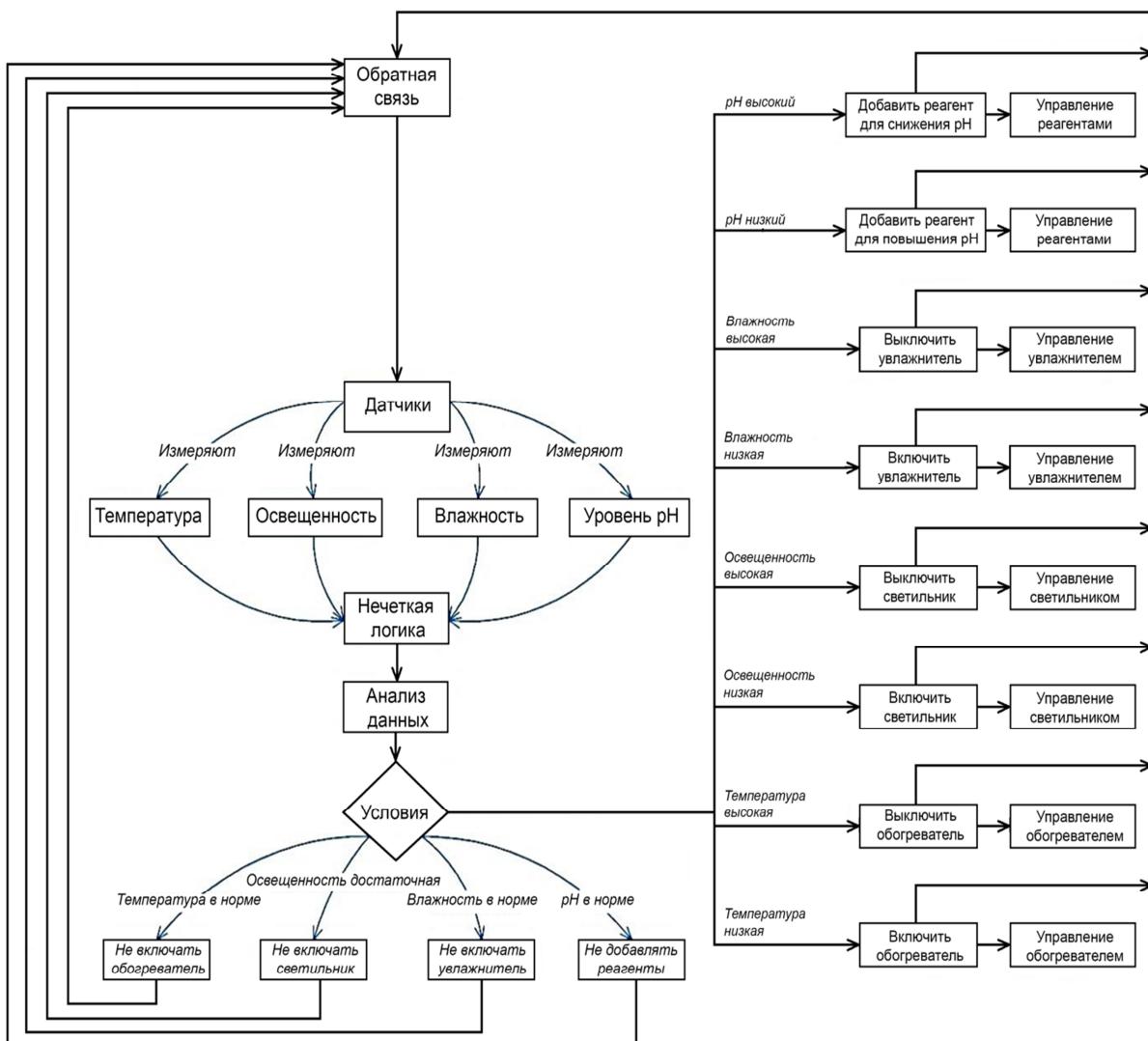


Рис. 3. Схема системы автоматизации параметров микроклимата в теплице

Fig. 3. Diagram of the automation system for microclimate parameters in a greenhouse

Система обеспечивает динамическое регулирование условий, что позволяет поддерживать оптимальный микроклимат и повышать урожайность, минимизируя затраты и усилия.

Рассмотрим структуру системы автоматизации параметров микроклимата в теплице.

Датчики в реальном режиме измеряют текущие параметры микроклимата (температура, влажность, освещенность, уровень pH) и передают их в систему.

На основании собранной информации система

анализирует, соответствуют ли параметры заданным значениям. Если параметры находятся вне допустимых пределов, система реализует управляющие воздействия.

Условия работы системы определяются на основании показаний датчиков. Например, если температура слишком высокая или низкая, система принимает меры для ее корректировки. Если температура слишком высокая, система может активировать обогреватель или увлажнитель; при недо-

статочном освещении включаются светильники; если уровень pH не соответствует норме, система добавляет реагенты для его коррекции.

Управление происходит следующим образом:

- увлажнитель включается или выключается в зависимости от уровня влажности;
- светильник управляет освещением в теплице, включаясь или выключаясь в зависимости от уровня освещенности;
- обогреватель регулирует температуру, включая или выключая нагревательные элементы;
- реагенты добавляются в почву для коррекции уровня pH.

После выполнения команд система снова считывает данные с датчиков, чтобы проверить, достигнуты ли желаемые параметры. Этот процесс повторяется, что обеспечивает постоянное поддержание оптимальных условий. В итоге система представляет собой замкнутый контур управления,

данные от датчиков используются для принятия решений, а результаты этих решений возвращаются обратно в систему для дальнейшего анализа.

Таким образом, интеллектуальная система управления микроклиматом в теплице является высокоеффективным решением, которое позволит автоматизировать процессы и значительно улучшить условия для роста растений.

Заключение

В результате исследования была разработана интеллектуальная система, способная существенно повысить урожайность и экономическую эффективность производства в теплице и минимизировать ручное вмешательство в управление микроклиматом. Полученные результаты будут использованы при проектировании в теплице VietFarm в г. Далат (Вьетнам).

Список источников

1. Алтухов А. И. Эффективность сельскохозяйственного производства (методические рекомендации) / под ред. И. С. Санду, В. А. Свободина, В. И. Нечаева, М. В. Косолаповой, В. Ф. Федоренко. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 228 с.
2. Боргоякова В. А. Разработка информационной модели автоматизации теплицы // Междунар. студенческий вестн. 2019. № 1. С. 30.
3. Лошкарев С. В., Кузнецов Б. Ф., Клибанова Ю. Ю. Интеллектуальная система контроля микроклимата теплицы // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Молодежный, 05–06 марта 2020 г.). Молодежный: Изд-во Иркутск. гос. аграр. ун-та им. А. А. Ежевского, 2020. Т. III. С. 48–54.
4. Паюк Л. А., Воронина Н. А., Умурзакова А. Д., Лазуткина Е. Е., Хацевский К. В. Система управления микроклиматом тепличного комплекса на базе нечеткой логики // Омский науч. вестн. 2024. № 2 (190). С. 59–68. DOI: 10.25206/18138225-2024-190-59-68.
5. Жаникулов Ш., Уразбаева З. Ю. Некоторые аспекты автоматизации регулирования температуры в теплицах для выращивания овощных культур // Наука, образование, инновации: современные задачи и перспективы: тр. Междунар. науч.-практ. конф. (3 мая 2024 г.). Ташкент: ТИПИ, 2024. С. 219–223.
6. Попов М. Ю. Повышение эффективности энергоснабжения малогабаритных теплиц: дис. ... канд. техн. наук. М., 2023. 134 с.
7. Савосин С. И. Интеллектуальная система контроля влажности и температуры в теплице: дис. ... канд. техн. наук. М., 2009. 132 с.
8. Фейламазова С. А., Ахмедова З. Х., Абдуразакова З. Ш. Разработка аппаратно-программного комплекса дистанционного управления микроклиматом теплицы // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 4. С. 68–75. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-68-75.
9. Шамирбек М. Е. Автоматизированная система управления микроклиматом теплицы на основе нечеткой логики // Форум молодых ученых. 2022. № 4 (68). С. 339–349.

References

1. Altuhov A. I. Effektivnost' sel'skohozyajstvennogo proizvodstva (metodicheskie rekomendacii) [Efficiency of agricultural production (methodological recommendations)]. Pod redakciei I. S. Sandu, V. A. Svobodina, V. I. Nechaeva, M. V. Kosolapovo, V. F. Fedorenko. Moscow, FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013. 228 p.
2. Borgoyakova V. A. Razrabotka informacionnoj modeli avtomatizacii teplicy [Development of a greenhouse automation information model]. Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik, 2019, no. 1, p. 30.
3. Loshkarev S. V., Kuznecov B. F., Klibanova Yu. Yu. Intellektual'naya sistema kontrolya mikroklimata teplicy [Intelligent greenhouse climate control system]. Nauchnye issledovaniya studentov v reshenii aktual'nyh problem APK: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Molodezhnyj, 05–06 marta 2020 g.). Molodezhnyj, Izd-vo Irkutsk. gos. agrar. un-ta im. A. A. Ezhevskogo, 2020. Vol. III. Pp. 48–54.
4. Payuk L. A., Voronina N. A., Umurzakova A. D., Lazutkina E. E., Hacevskij K. V. Sistema upravleniya mikroklimatom teplichnogo kompleksa na baze nechetkoj logiki [Greenhouse complex microclimate management system based on fuzzy logic]. Omskij nauchnyj vestnik, 2024, no. 2 (190), pp. 59–68. DOI: 10.25206/18138225-2024-190-59-68.
5. Zhanikulov Sh., Urazbaeva Z. Yu. Nekotorye aspekty avtomatizacii regulirovaniya temperatury v teplicakh dlya vyrashchivaniya ovoshchnyh kul'tur [Some aspects of automation of temperature control in greenhouses for growing vegetable crops]. Nauka, obrazovanie, innovacii: sovremennoye zadachi i perspektivy: trudy Mezhdunarodnoj nauchno-

prakticheskoy konferencii (3 maya 2024 g.). Tashkent, TIPI, 2024. P. 219-223.

6. Popov M. Yu. *Povyshenie effektivnosti energosnabzheniya malogabaritnyh teplic. Dissertation ... kand. tekhn. nauk* [Improving the efficiency of energy supply to small greenhouses. Dissertation ... Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2023. 134 p.

7. Savosin S. I. *Intellektual'naya sistema kontrolya vladimosti i temperatury v teplice. Dissertation ... kand. tekhn. nauk* [Intelligent greenhouse humidity and temperature control system. Dissertation ... Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2009. 132 p.

8. Fejlamazova S. A., Ahmedova Z. H., Abdurazakova Z. Sh.

Razrabotka apparatno-programmnogo kompleksa dистacionnogo upravleniya mikroklimatom teplicy [Development of a hardware and software complex for remote control of the greenhouse microclimate]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Up-ravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2021, no. 4, pp. 68-75. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-68-75.

9. Shamirbek M. E. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya mikroklimatom teplicy na osnove nechetkoj logiki [Automated greenhouse climate management system based on fuzzy logic]. *Forum molodyh uchenyh*, 2022, no. 4 (68), pp. 339-349.

Статья поступила в редакцию 31.07.2025; одобрена после рецензирования 05.09.2025; принятa к публикации 29.12.2025
The article was submitted 31.07.2025; approved after reviewing 05.09.2025; accepted for publication 29.12.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Геннадьевич Кокуев – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой автоматики и управления; Астраханский государственный технический университет; kokuevag@mail.ru

Andrey G. Kokuyev – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; kokuevag@mail.ru

Елена Федоровна Райкова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры автоматики и управления; Астраханский государственный технический университет; ref11@mail.ru

Elena F. Raykova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; ref11@mail.ru

Олег Викторович Антонов – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры автоматики и управления; Астраханский государственный технический университет; o_antonov@mail.ru

Oleg V. Antonov – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; o_antonov@mail.ru

By Чонг Хуинь – магистрант кафедры автоматики и управления; Астраханский государственный технический университет; vuhuynh3698@gmail.com

Vu Trong Huynh – Master's Course Student of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; vuhuynh3698@gmail.com

