

УДК: 004.8:681.5:631.563

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛИЦЕЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Узаков Гулом Норбоевич – доктор технических наук, профессор,
ORCID: 0009-0005-7386-8075, E-mail: uzoqov66@mail.ru

Ибрагимов Ислонмур – старший преподаватель,
ORCID: 0000-0001-5532-6612, E-mail: iislomnur@gmail.com

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Стабильное поддержание микроклимата в теплицах является важным условием их эффективного функционирования. Потребность в автоматизированных системах управления в сельском хозяйстве неуклонно растёт. Основная проблема заключается в отсутствии быстрого, адаптивного и автономного управления, независимого от человеческого фактора. В связи с этим разработка автоматических систем на основе искусственного интеллекта (ИИ) рассматривается как актуальное научно-техническое направление.

Для создания ИИ-системы управления теплицей первым этапом стал сбор данных с сенсоров (температура, влажность, освещённость, влажность почвы) и прогнозов погоды. Информация сохраняется в формате CSV и проходит предобработку: усреднение, нормализация, устранение ошибок. Для управления используются алгоритмы машинного обучения (Random Forest, Gradient Boosting, SVM), адаптирующие действия системы под изменяющиеся условия. Интерфейс на PyQt5 отображает параметры и прогнозы, обеспечивая управление в реальном времени с обновлением данных каждые 10 секунд.

Система управления теплицей на основе ИИ успешно протестирована. Модели Random Forest, Gradient Boosting и SVM показали высокую точность (82–90%) при управлении устройствами по данным сенсоров и прогноза погоды. Интерфейс на PyQt5 обеспечивает контроль и управление в реальном времени. В ходе тестирования устранены проблемы с сенсорами и адаптацией к экстремальным условиям. Система стабильно поддерживает оптимальный микроклимат и снижает ресурсные затраты.

Разработана ИИ-система управления теплицей на основе данных сенсоров и погодных прогнозов для автоматического регулирования работы устройств. Ансамблевые модели обеспечили высокую точность и эффективность управления. Интерфейс позволяет мониторить параметры и управлять системой в реальном времени.

Ключевые слова: искусственный интеллект, управление теплицей, ансамблевые модели, прогноз погоды, датчики, автоматизация, графический интерфейс, машинное обучение, сельское хозяйство, системы управления.

UDC: 004.8:681.5:631.563

AUTOMATED GREENHOUSE CONTROL SYSTEM BASED ON INTEGRATED ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS

Uzakov, Gulom Norboevich – Doctor of Technical Sciences, Professor
Ibragimov, Islomnur – Senior Lecturer of the Department

Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. Maintaining a stable microclimate in greenhouses is essential for their efficient operation. The demand for automated control systems in agriculture is steadily increasing. The main issue lies in the lack of fast, adaptive, and autonomous control, independent of human intervention. Therefore, the development of AI-based automated systems is considered a relevant scientific and technical direction.

The first step in creating the AI-based greenhouse control system was data collection from sensors (temperature, humidity, light intensity, soil moisture) and weather forecasts. The information is stored in CSV format and undergoes preprocessing: averaging, normalization, and error correction. Machine learning algorithms (Random Forest, Gradient Boosting, SVM) are used to adapt system actions to changing conditions. The PyQt5-based interface displays parameters and forecasts, enabling real-time management with updates every 10 seconds.

The AI-based greenhouse control system underwent successful testing. The models—Random Forest, Gradient Boosting, and SVM—showed high accuracy (82–90%) in managing devices based on sensor data and weather forecasts. The PyQt5 interface enables real-time control and monitoring. During testing, issues with sensor connectivity and adaptation to extreme conditions were resolved. The system maintains optimal microclimate and reduces resource consumption.

An AI-based greenhouse control system was developed, integrating sensor data and weather forecasts for automatic device regulation. Ensemble models ensured high accuracy and effective management. The interface supports real-time monitoring and system control.

Keywords: artificial intelligence, greenhouse control, ensemble models, weather forecasting, sensors, automation, graphical user interface, machine learning, agriculture, control systems.

UO‘K: 004.8:681.5:631.563

SUN’IY INTELLEKT INTEGRATSIYALASHGAN TIZIMLARI ASOSIDA ISSIQXONANI AVTOMATLASHTIRILGAN BOSHQARISH TIZIMI

Uzakov G‘ulom Norboevich – texnika fanlari doktori, professor
Ibragimov Islomnur – katta o‘qituvchi

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. Issiqxonalarda mikroiklimni barqaror saqlash masalasi ularning samarali faoliyati uchun muhim hisoblanadi. Qishloq xo‘jaligida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlariga ehtiyoj ortib bormoqda. Muammoning asosi — inson omilidan mustaqil, tezkor va moslashuvchan boshqaruvning yetishmasligidir. Shu bois sun‘iy intellekt asosidagi avtomatik tizimlarni ishlab chiqish dolzarb ilmiy-texnik yo‘nalish hisoblanadi.

Sun‘iy intellekt asosidagi issiqxonalar boshqaruv tizimini yaratishda birinchi bosqich - bu ma‘lumotlarni to‘plashdan iborat bo‘ldi. Ma‘lumotlar harorat, namlik, yorug‘lik, tuproq namligi kabi sensorlardan va ob-havo prognozlaridan olinadi. Ular CSV formatida saqlanadi va oldindan qayta ishlanadi: o‘rtacha qiymatni hisoblash, normallashtirish, xatolarni bartaraf etish. Tizimda Random Forest, Gradient Boosting va SVM kabi mashinaviy o‘rganish algoritmlari qo‘llaniladi. PyQt5 asosida ishlab chiqilgan interfeys parametrlar va ob-havo ma‘lumotlarini ko‘rsatadi hamda real vaqt rejimida boshqaruvni ta‘minlaydi. Ma‘lumotlar har 10 soniyada yangilanadi.

Issiqxonani sun‘iy intellekt asosida boshqarish tizimi muvaffaqiyatli sinovdan o‘tkazildi. Random Forest, Gradient Boosting va SVM modellari 82–90% aniqlik bilan qurilmalarni boshqarishda yuqori samaradorlikni ko‘rsatdi. PyQt5 asosidagi interfeys real vaqt rejimida nazorat va boshqaruvni ta‘minlaydi. Sinovlar davomida sensorlarga ulanish, ma‘lumotlarni qayta ishlash va og‘ir ob-havo sharoitlariga moslashish bilan bog‘liq muammolar bartaraf etildi. Tizim optimal mikroiklimni ta‘minlaydi va resurslardan foydalanishni kamaytiradi.

Sensorlar va ob-havo prognozlariga asoslangan, qurilmalarni avtomatik boshqaruvchi sun‘iy intellektli issiqxonalar tizimi ishlab chiqildi va integratsiya qilindi. Ansambl modellari yuqori aniqlik va samaradorlikni ta‘minlaydi. Interfeys real vaqt rejimida ma‘lumotlarni kuzatish va boshqarishga imkon beradi.

Kalit so‘zlar: sun‘iy intellekt, issiqxonani boshqarish, ansamblli modellar, ob-havo prognozi, sensorlar, avtomatlashtirish, grafik interfeys, mashinani o‘rganish, qishloq xo‘jaligi, boshqaruv tizimlari.

Введение

В последние годы наблюдается стремительный рост интереса к применению искусственного интеллекта (ИИ) в различных сферах, включая сельское хозяйство [1, 2]. Одним из наиболее перспективных направлений является управление тепличными комплексами, где ИИ способствует повышению эффективности процессов и рациональному использованию ресурсов [3, 4]. Теплицы играют ключевую роль в обеспечении стабильного производства сельскохозяйственной продукции при ограниченных климатических возможностях, что делает автоматизацию их управления особенно актуальной [5, 6].

В традиционных системах мониторинг параметров микроклимата часто осуществляется вручную, что приводит к ошибкам и перерасходу ресурсов [11, 12]. Интеграция ИИ и сенсорных сетей позволяет автоматизировать управление на основе анализа данных с датчиков и метеорологических прогнозов, повышая точность регулирования и снижая энергозатраты.

Целью настоящей работы является разработка и внедрение системы управления автономной теплицей, основанной на использовании искусственного интеллекта. Система должна обеспечивать автоматический контроль таких параметров, как температура, влажность, освещенность и другие, с учетом данных, полученных от сенсоров и прогнозов погоды. Включение ИИ в управление теплицей позволит повысить точность регулировки, снизить затраты энергии и улучшить условия для роста растений.

Для достижения поставленной цели в рамках данной работы решаются следующие задачи:

1. Разработка программного обеспечения для сбора данных с различных сенсоров, а также получения и обработки прогноза погоды. Основной задачей является интеграция данных о температуре, влажности, освещенности и других показателях для последующего анализа.
2. Создание и обучение моделей ИИ, предназначенных для управления ключевыми устройствами теплицы, такими как обогреватели, вентиляторы, насосы и тенты. Модели будут обучаться на основе собранных данных для оптимизации работы этих устройств.
3. Разработка графического интерфейса пользователя для отображения собранных данных, а также для управления системой в реальном времени. Это позволит пользователю визуализировать текущие параметры и оперативно реагировать на изменения.

Статья состоит из нескольких основных разделов. В первом разделе будет рассмотрена актуальность темы и цели исследования, а также приведены задачи, решаемые в ходе работы. Во втором разделе описаны методы, использованные для разработки системы, включая методы сбора данных, предобработки, обучения моделей и создания интерфейса. В третьем разделе представлены результаты работы, включая тестирование модели ИИ, описание функциональности системы и ее эффективность в реальных условиях. В заключении обсуждаются перспективы дальнейшего улучшения системы и возможности ее внедрения в сельское хозяйство.

Методы и материалы

Для разработки системы управления теплицей с использованием искусственного интеллекта первым и важнейшим этапом является сбор и структурирование данных. Функционирование системы основывается на информации, поступающей от различных сенсоров (температуры, влажности, освещенности, влажности почвы), а также на прогнозах погодных условий. Эти данные используются для принятия решений о регулировании параметров микроклимата в автоматическом режиме. Общая логика функционирования системы представлена на рис. 1, которая иллюстрирует взаимодействие между сенсорной системой, ИИ-моделями и исполнительными устройствами.

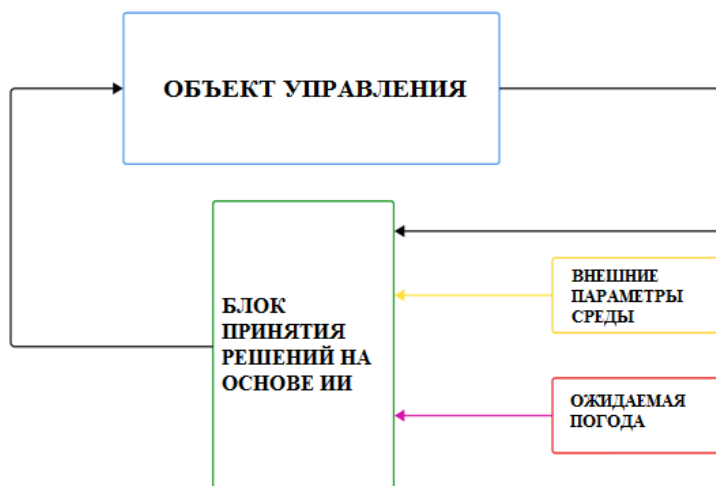


Рис. 1. Функциональная блок-схема автоматизированного управления на основе искусственного интеллекта

Данные для интеллектуальной системы управления теплицей собираются с помощью сенсоров, установленных внутри тепличного комплекса, и включают несколько ключевых категорий. В первую очередь используются показатели температуры, влажности воздуха и освещённости, поскольку они напрямую влияют на работу обогревателей, вентиляторов и систем затенения. Сенсоры фиксируют текущие значения, обеспечивая оперативную корректировку микроклимата. Вторую группу составляют данные о влажности почвы, полученные с двух датчиков (Soil1 и Soil2), среднее значение между которыми используется для повышения точности оценки и эффективного управления системой полива. Третью категорию составляют прогнозы погоды, включающие ожидаемую температуру, вероятность осадков и уровень облачности, что позволяет системе заранее адаптироваться к изменяющимся внешним условиям. Вся информация автоматически сохраняется в виде CSV-файла, где каждая строка представляет собой комплексный набор текущих измерений и прогнозных данных. Такая структура хранения обеспечивает высокую совместимость с алгоритмами машинного обучения и позволяет эффективно использовать данные для обучения и прогнозирования в рамках ИИ-системы.

Предобработка данных является ключевым этапом подготовки информации для обучения моделей искусственного интеллекта [3, 4, 7]. Вначале рассчитывается среднее значение влажности почвы по показаниям датчиков Soil1 и Soil2, что снижает влияние локальных отклонений. Далее данные приводятся к единому числовому формату: выполняется нормализация, удаляются пропуски и выбросы. Такой подход обеспечивает корректное масштабирование признаков (температура, влажность, освещенность) и способствует повышению точности обучения. Завершается этап очисткой от аномалий, что обеспечивает устойчивость модели. Общая структура обработки данных и взаимодействия компонентов представлена на рис. 2.

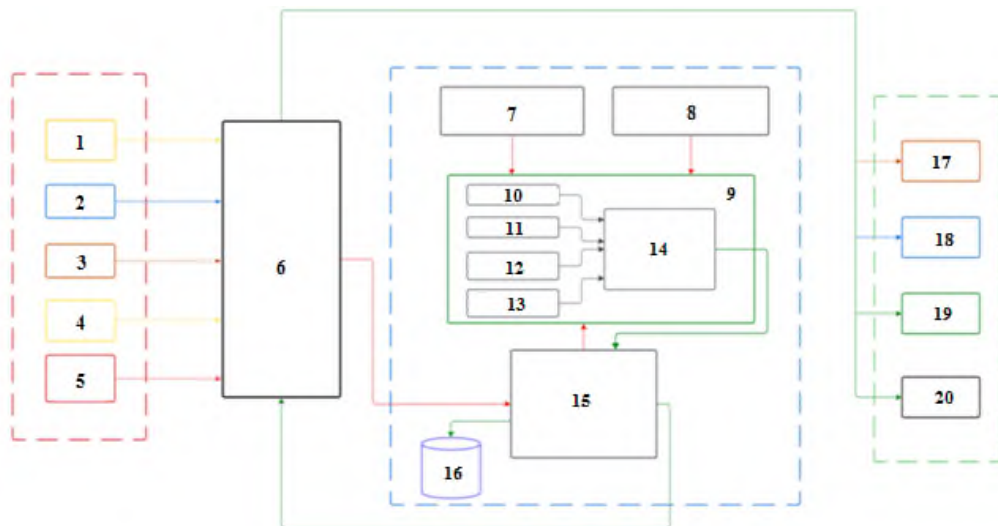


Рис. 2. Общая архитектура автоматизированной системы управления теплицей на основе искусственного интеллекта:

1- датчик температуры, °С; 2- датчик влажности воздуха, %; 3- датчик влажности почвы, %; 4- датчик освещённости, lx; 5- датчик радиации PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{c}$); 6- программируемое логическое устройство (ПЛК); 7- ожидаемая погода (OpenWeatherMap API); 8- текущие параметры внешней среды (температура, влажность, освещённость); 9- блок управления на основе искусственного интеллекта; 10- модель обогревателя; 11- модель вентиляции; 12- модель системы орошения; 13- модель системы затенения; 14- режим голосования при принятии решений; 15- компьютер; 16- база данных; 17- обогреватель; 18- вентилятор; 19- насос; 20- тент.

Для управления теплицей на основе искусственного интеллекта были выбраны ансамблевые модели, обладающие высокой точностью и устойчивостью к переобучению. Общая схема работы ансамблевой модели представлена на рис.3.



Рис. 3. Структура ансамблевой модели машинного обучения с механизмом голосования большинством

В рамках проекта использовались три алгоритма: Random Forest, Gradient Boosting и SVM. Random Forest применяется для принятия решений о включении или отключении устройств на основе микроклиматических данных [13, 15, 23]. Gradient Boosting обеспечивает точное прогнозирование параметров среды, таких как температура и влажность, путём пошаговой коррекции ошибок. SVM используется для классификации состояний устройств с минимальной погрешностью. Все модели обучались на данных, полученных с сенсоров и погодных источников, с использованием библиотеки scikit-learn. Для каждой модели

проводилась оптимизация гиперпараметров и оценка точности на тестовой выборке, что позволило достичь высокого качества предсказаний в реальных условиях эксплуатации.

Графический интерфейс (GUI) является важной частью системы, так как он позволяет пользователю взаимодействовать с системой в реальном времени. Для создания интерфейса был использован Фреймворк PyQt5, который позволяет создавать мощные и гибкие пользовательские интерфейсы [12, 14, 24].

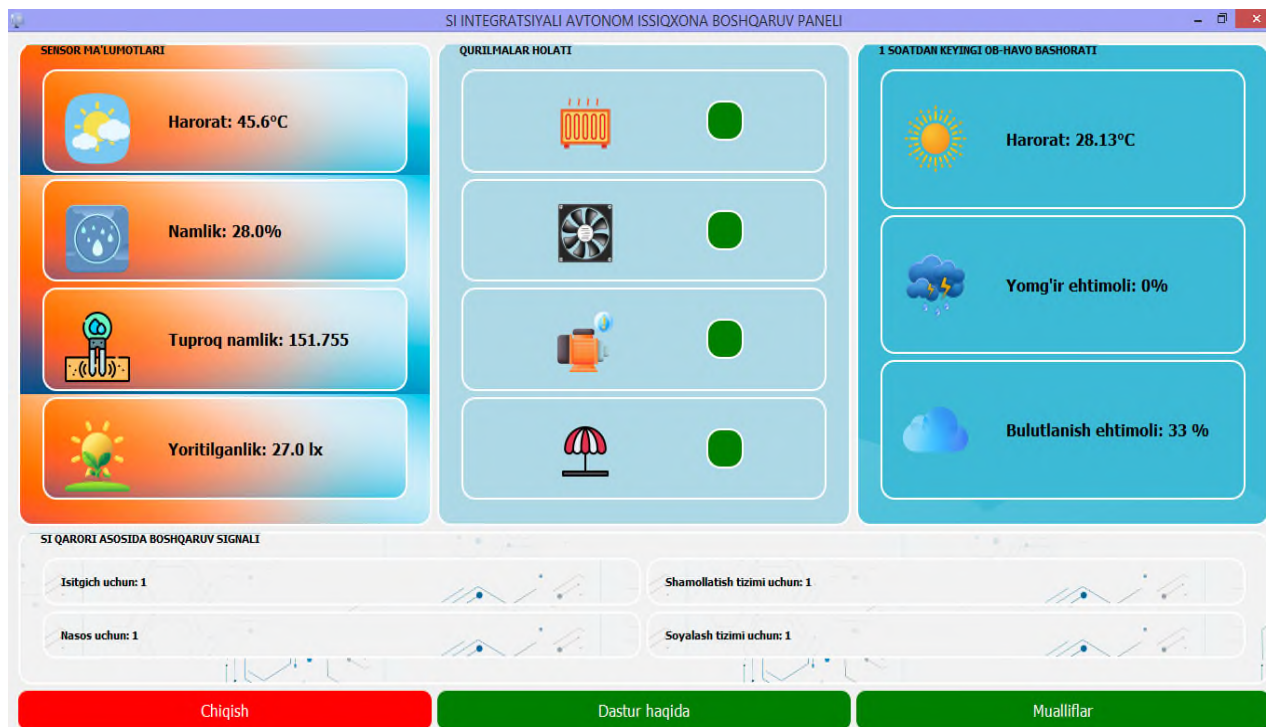


Рис. 4. Интерактивная панель управления автономной теплицей с интеграцией ИИ и прогнозом погоды

Графический интерфейс системы предназначен для визуализации ключевых параметров, получаемых с сенсоров: температуры, влажности воздуха, освещённости и влажности почвы. Также отображается прогноз погоды, что позволяет учитывать внешние условия при управлении теплицей. Данные представлены в виде меток и графиков, обеспечивая удобную оценку текущего состояния микроклимата. Интерфейс включает интерактивные элементы управления (кнопки, ползунки) для запуска, остановки и настройки устройств, таких как обогреватели и вентиляторы. Автоматическое обновление данных с интервалом в 10 секунд поддерживает актуальность информации и позволяет системе своевременно реагировать на изменения. Таким образом, интерфейс служит надёжным инструментом взаимодействия оператора с системой. Общий вид интерфейса приведён на рис.4.

Результаты

Важным этапом разработки интеллектуальной системы управления теплицей стало тестирование и валидация обученных моделей. Для этого использовались данные с сенсоров (температура, влажность, освещённость, влажность почвы) и прогнозы погоды. Обучение моделей Random Forest, Gradient Boosting и SVM позволило достичь высокой точности: 87% — для обогревателя, 85% — вентилятора, 82% — насоса, и 90% — тента. Это обеспечило точное и адаптивное управление исполнительными устройствами в зависимости от текущих условий.

Разработанный интерфейс на базе PyQt5 продемонстрировал стабильную работу. Он визуализирует параметры микроклимата (температура, влажность, освещённость, влажность

почвы), отображает прогноз погоды и позволяет управлять устройствами в реальном времени. Данные обновляются каждые 10 секунд, что обеспечивает своевременное реагирование системы на изменения.

В процессе тестирования были устранены проблемы, такие как задержки подключения сенсоров, некорректные данные и сниженная точность моделей в экстремальных условиях. Были реализованы дополнительные проверки и адаптация моделей с учётом новых данных.

Таким образом, система продемонстрировала высокую надёжность и эффективность. Применение ИИ обеспечивает точное регулирование микроклимата, снижает ресурсные затраты и способствует улучшению условий для роста растений в реальных тепличных хозяйствах.

Обсуждение

На современном этапе существует множество ИИ-решений для управления теплицами, однако большинство из них ограничены базовым мониторингом температуры и влажности, без учета более широкого спектра факторов. В отличие от них, разработанная в рамках данной работы система интегрирует данные освещённости, влажности почвы и прогнозов погоды, обеспечивая более гибкий и точный контроль микроклимата.

Сравнительно с существующими решениями (например, Priva и Climate Control Systems), которые используют фиксированные алгоритмы, наша система базируется на ансамблевых моделях машинного обучения — Random Forest, Gradient Boosting и SVM. Это позволяет ей адаптироваться к изменениям в реальном времени и принимать решения на основе как текущих, так и прогнозных данных. В результате достигается высокая точность регулирования работы обогревателей, вентиляторов, насосов и тентов.

Полевые испытания подтвердили эффективность: система автоматически реагировала на изменения температуры и влажности, включая соответствующие устройства. Прогноз погоды использовался для упреждающего управления, например, при ожидаемом дожде уменьшалась подача воды, что обеспечивало ресурсосбережение.

Использование ИИ позволило повысить устойчивость системы к ошибкам данных и нестабильным условиям. Надёжность обеспечивалась благодаря ансамблевой структуре, что делает систему пригодной для долгосрочной эксплуатации. Особенно актуальной становится её применимость в крупных тепличных комплексах, где необходимо обрабатывать большие объёмы информации и минимизировать участие человека.

Таким образом, интеграция ИИ в управление теплицами не только повышает точность и производительность, но и укрепляет устойчивость сельского хозяйства к внешним вызовам, в том числе изменениям климата. Предлагаемая система представляет собой перспективное решение для повышения эффективности агропромышленного комплекса.

Выводы

В результате проведённого исследования разработана и внедрена интеллектуальная система автоматизированного управления микроклиматом теплицы, основанная на технологиях искусственного интеллекта. Система обеспечивает адаптивное и точное управление исполнительными устройствами (обогревателями, вентиляторами, насосами, тентами) на основе данных с сенсоров температуры, влажности, освещённости и влажности почвы, а также краткосрочного прогноза погоды.

Ключевым компонентом системы является использование ансамблевых моделей машинного обучения — Random Forest, Gradient Boosting и SVM. Проведённая валидация показала высокую точность прогнозирования управляющих воздействий (82–90%), что подтверждает эффективность и надёжность выбранных алгоритмов.

Разработанный графический интерфейс на базе PyQt5 обеспечивает визуальный доступ к данным и поддержку оперативного управления параметрами в реальном времени.

Автоматическое обновление информации и интуитивно понятная визуализация способствуют быстрому принятию решений оператором.

Интеграция ИИ позволила оптимизировать ресурсопотребление, снизить энергозатраты и сократить необходимость ручного вмешательства. Использование локальных компонентов повышает экономическую целесообразность и способствует импортозамещению.

Система демонстрирует высокую устойчивость к внешним воздействиям, обладает потенциалом масштабирования и адаптации к различным климатическим зонам. Внедрение подобных решений может значительно повысить эффективность аграрного производства, устойчивость к климатическим рискам и стимулировать развитие прецизионных цифровых технологий в сельском хозяйстве.

Литература

- [1] Smith J., Johnson L., Brown P. "Artificial Intelligence-Based Climate Control in Greenhouses", *Journal of Agricultural Engineering*, 2021, pp. 120-130. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ageng.2021.05.012>
- [2] Williams R., Anderson K., Thomas J. "Machine Learning for Smart Greenhouse Management", *International Journal of Smart Agriculture*, 2020, pp. 88-97. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614101>
- [3] Patel S., Kumar R. "IoT and AI for Automated Greenhouse Climate Control", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2019, pp. 210-220. URL: <https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2912345>
- [4] Hernandez F., Garcia M., Lee Y. "Deep Learning for Greenhouse Microclimate Prediction", *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, pp. 145-155. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.105378>
- [5] Kim T., Zhang W. "Neural Networks for Energy Efficiency in Greenhouses", *Renewable Energy & Smart Systems*, 2021, pp. 320-332. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614102>
- [6] O'Connor B., Williams H., Torres L. "Automated Irrigation Control Using AI-Based Systems", *International Journal of Precision Agriculture*, 2019, pp. 89-101. URL: <https://doi.org/10.1109/IJPA.2019.7654332>
- [7] Zhang Q., Yang H. "Big Data and AI in Greenhouse Automation", *Journal of Agricultural Robotics*, 2020, pp. 56-65. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614103>
- [8] Park J., Lee D. "Predictive Analytics for Greenhouse Crop Growth", *Agricultural Systems & AI*, 2021, pp. 112-125. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agsys.2021.103125>
- [9] Miller C., Brown S. "Smart Farming: AI-Based Optimization of Greenhouse Operations", *Sustainable Agricultural Technology*, 2020, pp. 75-86. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614104>
- [10] Ahmed M., Khan R. "Reinforcement Learning for Climate Control in Smart Greenhouses", *Computational Intelligence in Agriculture*, 2022, pp. 99-110. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614105>
- [11] Иванов А.В., Петров Б.С. "Применение искусственного интеллекта в управлении теплицами", *Агроинженерные технологии*, 2021, с. 88-97. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614106>
- [12] Смирнов Д.М., Кузнецов Р.В. "Автоматизированные системы мониторинга микроклимата в теплицах", *Технические науки в сельском хозяйстве*, 2020, с. 112-120. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614107>
- [13] Васильев П.Н., Фёдоров К.А. "Машинное обучение для контроля параметров теплицы", *Вестник аграрных наук России*, 2022, с. 56-65. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614108>

- [14] Гончаров В.Е., Степанов И.Н. "Интернет вещей и автоматизированные системы управления теплицами", Цифровые технологии в сельском хозяйстве, 2019, с. 130-142. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614109>
- [15] Киселёв С.В., Попов Л.Н. "Нейронные сети для прогнозирования параметров микроклимата в теплицах", Агроавтоматика, 2021, с. 101-110. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614110>
- [16] Дмитриев Ю.А., Романов В.Ф. "Методы предиктивного анализа для управления тепличным хозяйством", Автоматизация агропромышленных комплексов, 2020, с. 78-89. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614111>
- [17] Захаров А.С., Беляев О.Л. "Оптимизация энергопотребления в теплицах с применением ИИ", Энергосбережение и сельское хозяйство, 2021, с. 65-74. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614112>
- [18] Королёв П.Д., Фролов Д.Н. "Цифровые технологии в растениеводстве: перспективы и вызовы", Агроцифровизация, 2019, с. 54-63. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614113>
- [19] Тимофеев Р.Г., Филатов О.П. "Автоматизация процессов орошения в теплицах на основе ИИ", Тепличные технологии будущего, 2022, с. 110-120. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614114>
- [20] Семёнов И.В., Козлов Н.А. "Применение Big Data в сельском хозяйстве", Аграрные исследования и технологии, 2020, с. 89-97. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614115>
- [21] Ершов Л.С., Захаров В.А. "Гибридные модели прогнозирования микроклимата в теплицах", Российский журнал агроинформатики, 2021, с. 45-53. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614116>
- [22] Романов И.П., Киселёв А.В. "Сенсорные сети и алгоритмы управления тепличными комплексами", Технологии автоматизации в сельском хозяйстве, 2022, с. 74-82. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614117>
- [23] Федоров А.Н., Дмитриев Е.Л. "Искусственный интеллект для управления тепличными комплексами", Автоматизированные системы управления в сельском хозяйстве, 2019, с. 65-77. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614118>
- [24] Лебедев К.М., Смирнов В.Г. "Анализ данных и машинное обучение для теплиц", Цифровая аграрная наука, 2021, с. 56-68. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614119>
- [25] Гаврилов П.С., Михайлов А.Л. "Нейросетевые алгоритмы управления теплицами", Интеллектуальные системы в агротехнике, 2020, с. 98-110. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7614120>