

responsible use of anonymized data for research can enhance healthcare outcomes while protecting individual privacy. As the sector continues to evolve, a commitment to safeguarding patient information will be crucial for the sustainable growth of digital healthcare solutions.

References

1. Conduah AK, Ofoe S, Siaw-Marfo D. Data privacy in healthcare: Global challenges and solutions. *Digit Health*. 2025 Jun 4; 11:20552076251343959. DOI 10.1177/20552076251343959. PMID: 40475296; PMCID: PMC12138216.
2. Jawad L. A. Security and Privacy in Digital Healthcare Systems: Challenges and Mitigation Strategies. *Abhigyan*, 2024, no. 42 (1), pp. 23–31. DOI /10.1177/09702385241233073 (Original work published 2024).

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕПЛИЦЫ

М. А. Бабкин, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрен принцип построения и алгоритм работы блока управления для автоматизированной теплицы на базе микроконтроллера. Описана архитектура системы, включающая сбор данных с датчиков температуры, влажности почвы и воздуха, а также анализ параметров микроклимата, управление исполнительными устройствами, ведение журнала событий и оповещение оператора. Предложен циклический алгоритм работы с обратной связью, направленный на минимизацию влияния человеческого фактора, оптимизацию условий выращивания и повышение стабильности урожайности в режиме реального времени.

Ключевые слова: автоматизированная теплица, микроклимат, микроконтроллер, исполнительные устройства, мониторинг, полив, Atmega 328p, ESP32, управление с обратной связью.

BUILT-IN MONITORING SYSTEM FOR OPERATING MODES OF COMBINED ROAD VEHICLE EQUIPMENT WITH ELECTROHYDROGENATED WORKING BODIES

M. A. Babkin, A. Ya. Zapolski

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The report discusses the design principle and operating algorithm of a control unit for an automated greenhouse based on a microcontroller. The system architecture is described, including data collection from temperature, soil moisture, and air humidity sensors, analysis of microclimate parameters, control of actuators), as well as event logging and operator notification. A cyclic feedback-based operation algorithm is proposed, aimed at minimizing the human factor, optimizing growing conditions, and increasing yield stability in real time.

Keywords: automated greenhouse, microclimate, microcontroller, actuators, monitoring, irrigation, Atmega 328p, ESP32, feedback control.

Целью работы является создание интеллектуальной системы управления, которая преобразует процесс выращивания растений на уровень высокотехнологичного цифрового производства.

Работа направлена на достижение следующих подцелей: минимизация рисков, оптимизация условий выращивания, повышение урожайности, достижение технологической трансформации.

Минимизация рисков связана с устранением ошибок, вызванных человеческим фактором (забывчивость, несвоевременный полив или проветривание).

Под оптимизацией условий понимается обеспечение биологически идеального микроклимата для растений в режиме «24/7».

Использование новых технологий повысит стабильность результата, т. е. повышение урожайности вне зависимости от внешних погодных условий.

Технологическая трансформация заключается в переходе от традиционных методов к точному, контролируемому и автоматизированному циклу производства.

Автоматизация управления микроклиматом – это переход от интуитивного садоводства к точному цифровому производству. Блок управления теплицей выступает центральным интеллектуальным узлом, который на основе данных с сенсоров минимизирует риски человеческого фактора, обеспечивая идеальные условия для растений в режиме 24/7 и гарантируя стабильно высокую урожайность при любых внешних условиях.

Для блока управления автоматизированной теплицы можно выделить следующие функциональные возможности – сбор данных, анализ и принятие решений, управление исполнительными устройствами, ведение журнала, оповещение. Структурная схема показана на рис. 1.

Сбор данных подразумевает прием и обработку информации от всех датчиков (температуры, давления, влажности).

Анализ и принятие решений заключается в сравнении текущих показаний с заданными оптимальными параметрами.

Управление исполнительными устройствами осуществляет подачу команд на включение/выключение систем.

Ведение журнала необходимо для записи данных и действий для последующего анализа и оптимизации алгоритмов.

Функция оповещения информирует владельца о критических или нестандартных ситуациях.

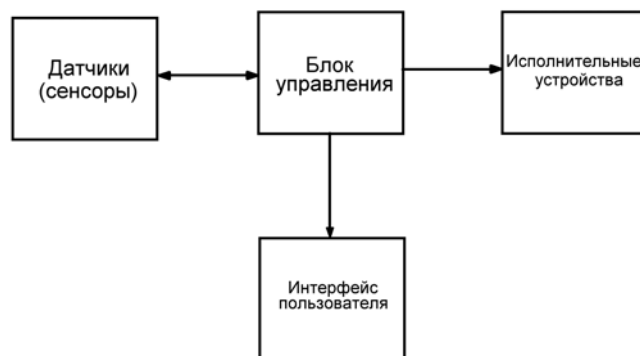


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы

Работа блока управления автоматизированной теплицы построена на реализации циклического процесса, состоящего из четырех ключевых этапов: сбор данных, анализ, исполнение и обратная связь.

Система начинает работу с получения сигналов от датчиков, расположенных в разных точках теплицы. Датчики влажности почвы, температуры воздуха, освещенности и уровня CO₂ преобразуют физические параметры в электрические сигналы. Эти сигналы поступают на входные порты микроконтроллера (например, ESP32 или Atmega 328p) [1].

Центральный процессор обрабатывает полученные данные в соответствии с заданным программным кодом. Программа сравнивает текущее значение (напри-

мер, значение температуры 18 °С) с идеальным заданным значением (заданное значение температуры 22 °С).

В программе используются логические условия, например, алгоритмы типа «Если... То...» (например: «Если влажность почвы < 30 %, активировать полив») [1].

Для инерционных процессов (обогрев) система определяет не просто время включения, а необходимую мощность или время работы.

После принятия решения блок управления посылает сигнал на исполнительные устройства. Через реле или силовые ключи подается питание на насосы, вентиляторы, фитолампы или приводы окон. Насос начинает качать воду, сервопривод открывает форточку для проветривания, включается светодиодное освещение.

Система не прекращает работу после включения приборов. Она сразу же переходит к проверке результата. Датчики фиксируют, начала ли подниматься температура после включения обогрева. Как только целевой показатель достигнут, система подает команду на выключение устройств.

Все данные записываются в лог-файл и отправляются в облако, чтобы оператор мог видеть графики изменений в реальном времени.

Пример реализации рабочего цикла полива:

1. Датчик влажности уведомляет о том, что влажность почвы упала до 20 %.
2. Контроллер сравнивает значение от датчика с установленным, например, если установленное значение равняется 40 %, то контроллер понимает, что нужно включить систему полива на установленное время.
3. Контроллер подает сигнал на устройство коммутации (реле), исполнительное устройство (насос) начинает свою работу.
4. Через определенное время датчик влажности сообщает, что значение влажности поднялось до 45 %. Контроллер выключает насос, оператор получает уведомление: «Полив зоны № 1 завершен» [2].

Стоит отметить, что автоматизированная система масштабируема и может быть расширена в своих функциональных возможностях: деление теплицы на несколько обособленных зон со своим микроклиматом, использование технологий искусственного интеллекта для заблаговременного учета погодных условий и аналитики, использование машинного зрения для отслеживания состояния растений на предмет болезней [3].

Литература

1. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства / Д. Блум. – 2-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2019.
2. Arduino Documentation. – URL: <https://docs.arduino.cc/> (date of access: 13.09.2025.)
3. Бондаренко, Р. С. Реализация системы компьютерного зрения на базе OpenCV для системы «Умная теплица» / Р. С. Бондаренко, А. Е. Запольский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. : в 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 36–38.