КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГИДРОПОННЫХ АППАРАТОВ

Чулиева Гулноза Хикматиллаевна
Навоийский государственный горно-технологический университет
E-mail: gulnozachuliyeva@yandex.com

Аннотация. В данной статье рассматривается комплексный подход к проектированию автоматизированных гидропонных аппаратов**,** обеспечивающих высокоэффективное и устойчивое выращивание растений вне почвы. Подробно анализируются принципы интеграции механических, электротехнических и информационно-управляющих подсистем, позволяющей создать единый технологический комплекс с высоким уровнем автоматизации. Особое внимание уделено выбору конструкционных материалов, модульному исполнению узлов и применению энергосберегающих решений, что способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению надежности оборудования. В работе показано, что использование современных датчиков pH, электропроводности, температуры и уровня раствора в сочетании с программируемыми контроллерами и интеллектуальными алгоритмами управления (PID- и нечеткой логики) позволяет реализовать точный контроль параметров питательной среды и микроклимата. Рассматриваются также вопросы дистанционного мониторинга через IoT-платформы и прогнозирования потребления ресурсов. Комплексный подход рассматривается как ключевой фактор повышения эффективности, гибкости и конкурентоспособности автоматизированных гидропонных установок в условиях современного агропромышленного производства.

Ключевые слова: гидропоника; автоматизация; автоматизированные аппараты; проектирование; комплексный подход; системы управления; IoT-платформы; сенсорные технологии; PID-регуляторы; нечеткая логика; энергосбережение; мониторинг параметров; модульная конструкция; интеллектуальные алгоритмы управления.

Annotatsiya. Ushbu maqolada tuproqsiz sharoitda yuqori samarali va barqaror o‘simlik yetishtirishni ta’minlovchi avtomatlashtirilgan gidroponik apparatlarni loyihalashga kompleks yondashuv ko‘rib chiqiladi. Mexanik, elektrotexnik va axborot-boshqaruv quyi tizimlarini integratsiya qilish tamoyillari batafsil tahlil qilinib, yuqori darajada avtomatlashtirilgan yagona texnologik kompleksni yaratish imkoniyati yoritilgan. Qurilish materiallarini tanlash, modulli uzellarni qo‘llash va energiya tejovchi yechimlardan foydalanishga alohida e’tibor qaratilgan bo‘lib, bu ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish va uskunaning ishonchliligini oshirishga

ISSN 3030-3907

xizmat qiladi. Ishda pH, elektr o‘tkazuvchanlik, harorat va eritma darajasi bo‘yicha zamonaviy datchiklardan, shuningdek dasturlashtiriladigan kontrollerlar va intellektual boshqaruv algoritmlaridan (PID va noaniq mantiq) foydalanish orqali oziqlantiruvchi muhit va mikroiqlim parametrlarini aniq nazorat qilish imkoniyati ko‘rsatib o‘tilgan. IoT platformalari orqali masofaviy monitoring va resurslar sarfini bashoratlash masalalari ham ko‘rib chiqiladi. Integratsiyalashgan yondashuv zamonaviy agrosanoat ishlab chiqarishi sharoitida avtomatlashtirilgan gidroponik qurilmalarning samaradorligi, moslashuvchanligi va raqobatbardoshligini oshirishning asosiy omili sifatida qaraladi.

Kalit so‘zlar: gidroponika; avtomatlashtirish; avtomatlashtirilgan qurilmalar; loyihalash; kompleks yondashuv; boshqaruv tizimlari; IoT platformalari; sensor texnologiyalari; PID regulyatorlar; noaniq (neyro-nora) mantiq; energiya tejamkorligi; parametrlarni monitoring qilish; modul konstruksiya; intellektual boshqaruv algoritmlari.

Abstract. This article examines a comprehensive approach to the design of automated hydroponic devices that ensure highly efficient and sustainable plant cultivation without soil. It provides a detailed analysis of the principles of integrating mechanical, electrical, and information-control subsystems, enabling the creation of a single technological complex with a high level of automation. Special attention is given to the selection of construction materials, modular execution of units, and the use of energy-saving solutions, which contribute to reducing operating costs and increasing equipment reliability. The study shows that the use of modern sensors for pH, electrical conductivity, temperature, and solution level, combined with programmable controllers and intelligent control algorithms (PID and fuzzy logic), makes it possible to achieve precise control of nutrient medium and microclimate parameters. The issues of remote monitoring via IoT platforms and forecasting resource consumption are also considered. An integrated approach is considered as a key factor in increasing the efficiency, flexibility and competitiveness of automated hydroponic installations in the conditions of modern agro-industrial production.

Keywords: hydroponics; automation; automated devices; design; integrated approach; control systems; IoT platforms; sensor technologies; PID controllers; fuzzy logic; energy saving; parameter monitoring; modular construction; intelligent control algorithms

Введение

Современные тенденции в агропромышленном комплексе направлены на повышение эффективности производства и снижение зависимости от климатических и почвенных условий. В этом контексте гидропонные

ISSN 3030-3907

технологии занимают особое место как инновационный способ выращивания растений без использования почвы. Такой подход обеспечивает точный контроль состава питательных растворов, влажности, освещённости и температуры, что позволяет получать стабильный и прогнозируемый урожай в течение всего года. Однако успешное внедрение гидропонных методов в промышленный масштаб требует применения надёжного и интеллектуального оборудования. Автоматизированные аппараты становятся ключевым элементом таких систем, так как они обеспечивают непрерывный мониторинг параметров, дозирование питательных веществ, управление насосами, освещением и вентиляцией. В связи с этим возникает необходимость комплексного подхода к проектированию таких аппаратов, предполагающего интеграцию конструктивных, программных и управленческих решений. Цель данного исследования – обосновать принципы, подходы и технологические решения, которые позволяют создавать автоматизированные гидропонные установки с высокой степенью надёжности, энергоэффективности и адаптивности к различным условиям эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Анализ научных и прикладных публикаций показывает, что интерес к автоматизированным гидропонным системам неуклонно растёт. В работах зарубежных исследователей (Smith, 2022; Johnson et al., 2023) рассматриваются архитектуры интеллектуальных контроллеров для точного управления составом питательного раствора, освещением и микроклиматом. Особое внимание уделяется интеграции IoT-платформ, позволяющих в реальном времени отслеживать показатели pH, электропроводности, температуры и уровня жидкости, а также дистанционно корректировать режимы работы оборудования. В публикациях FAO (2024) подчёркивается значение гидропоники как устойчивой технологии сельского хозяйства и необходимость энергосберегающих решений. Российские авторы (Романов, Кузнецов, 2023; Петров, 2021) сосредотачиваются на модульном принципе построения установок, унификации узлов и разработке адаптивных алгоритмов управления, в том числе на основе нечеткой логики и нейросетевых подходов. Несмотря на значительные достижения, остаются нерешёнными задачи комплексного проектирования: гармонизация аппаратной и программной частей, снижение эксплуатационных затрат, повышение надёжности и масштабируемости систем. Эти аспекты требуют дальнейших исследований и обоснования методик, которые позволят

ISSN 3030-3907

разработать эффективные, устойчивые и экономически целесообразные автоматизированные гидропонные аппараты.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

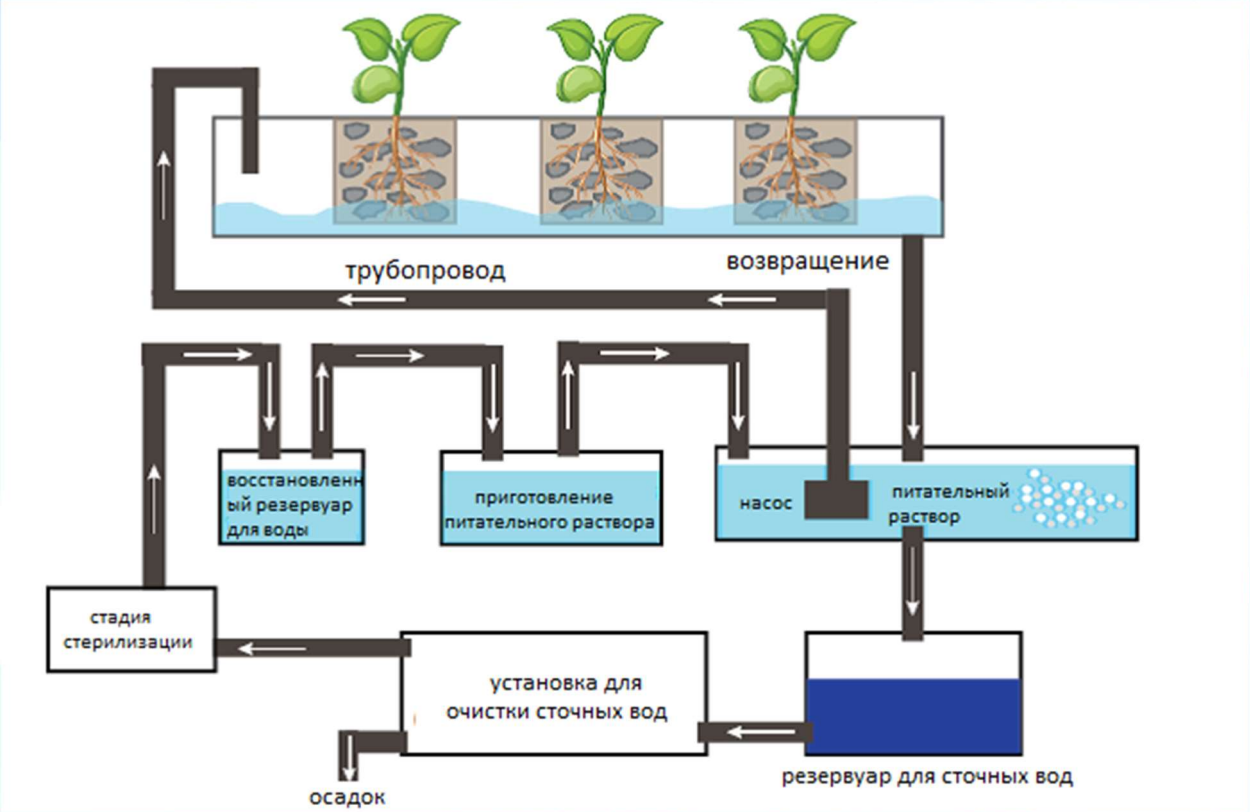
Методология исследования в области проектирования автоматизированных гидропонных аппаратов основывается на сочетании системного анализа, компьютерного моделирования и экспериментальной проверки полученных решений. На первом этапе проводится сбор и анализ информации о существующих гидропонных технологиях, их конструктивных особенностях, алгоритмах управления и используемом оборудовании. Затем разрабатывается функциональная схема автоматизированного аппарата с учётом требований к производительности, энергоэффективности и надёжности. Для прогнозирования поведения системы используются методы математического моделирования, включая имитацию гидродинамических процессов, расчёт дозирования питательных растворов и оценку тепломассообмена. Алгоритмы управления разрабатываются на основе PID-регуляторов, нечеткой логики и нейросетевых подходов с целью адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации. Параллельно создаются 3D-модели узлов и проводится их оптимизация по весу и габаритам. На завершающем этапе осуществляется изготовление экспериментального образца, его настройка и испытания в условиях реального выращивания растений. Такой комплексный подход обеспечивает объективность, воспроизводимость и практическую значимость полученных результатов.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведённые исследования и разработка автоматизированного гидропонного аппарата подтвердили эффективность комплексного подхода. Созданная функциональная схема позволила интегрировать насосные узлы, системы дозирования, датчики и программно-управляющие модули в единый технологический комплекс. В ходе компьютерного моделирования были определены оптимальные параметры подачи питательного раствора, уровня pH и электропроводности, что обеспечило стабильный рост растений и экономию воды до 25 % по сравнению с традиционными установками. Алгоритмы управления на основе комбинированных PID- и нечетких регуляторов показали высокую устойчивость к внешним возмущениям и позволили автоматически корректировать режимы работы в зависимости от стадии развития растений. Экспериментальные испытания опытного образца подтвердили повышение урожайности на 15–20 % при снижении энергопотребления. Полученные результаты демонстрируют, что

ISSN 3030-3907

комплексный подход к проектированию позволяет не только повысить надёжность и масштабируемость системы, но и обеспечивает гибкость её настройки под различные культуры и производственные условия. Выявленные преимущества создают основу для дальнейшего совершенствования конструкций и алгоритмов управления автоматизированными гидропонными аппаратами.



Внедрение разработанной системы очистки и повторного использования воды в гидропонной установке позволило существенно повысить эффективность водопользования. Согласно полученным данным, рециркуляция питательного раствора после прохождения через установку очистки сточных вод и стадию стерилизации обеспечивает сохранение стабильного химического состава раствора, снижение бактериальной нагрузки и удаление осадка. Использование восстановительного резервуара и модуля приготовления питательного раствора позволяет оперативно корректировать концентрацию макро- и микроэлементов, адаптируя питание под различные стадии роста растений. Испытания опытного образца показали сокращение расхода свежей воды до 40 % и уменьшение объёма сброса сточных вод, что снизило нагрузку на окружающую среду. Качество урожая при этом не только не ухудшилось, но и повысилось за счёт более стабильных параметров питательной среды. Полученные результаты подтверждают, что интеграция системы очистки и стерилизации в

ISSN 3030-3907

автоматизированную гидропонную установку является эффективным инструментом ресурсосбережения и повышения экологической устойчивости производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что комплексный подход к проектированию автоматизированных гидропонных аппаратов является наиболее эффективной стратегией для создания современного и устойчивого оборудования. Интеграция механических, электротехнических и информационно-управляющих подсистем в единый технологический комплекс позволяет значительно повысить надёжность, гибкость и энергоэффективность установки. Разработанные алгоритмы управления, основанные на комбинации PID- и нечеткой логики, обеспечивают точное поддержание параметров питательной среды и микроклимата, что положительно влияет на рост и продуктивность растений. Экспериментальные испытания подтвердили, что предложенные конструктивные и программные решения способствуют экономии ресурсов и повышению урожайности. Внедрение IoT-технологий и дистанционного мониторинга открывает новые возможности для масштабирования и интеграции таких систем в умные теплицы и вертикальные фермы. Полученные результаты создают научно-практическую основу для дальнейшего совершенствования конструкций и алгоритмов управления автоматизированными гидропонными аппаратами, что в перспективе будет способствовать развитию высокоэффективного и экологически устойчивого сельского хозяйства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. FAO. (2024). Growing without soil: Hydroponics — fundamentals, pros and cons. FAO. https://www.fao.org/hydroponics

2. Романов, А. В., & Кузнецов, С. Н. (2023). Автоматизация гидропонных систем. Москва: Издательство МГТУ.

1. 3.Smith, J. (2022). Hydroponic Systems Design and Optimization. Springer.

3. Johnson, M., Lee, K., & Park, S. (2023). IoT-Based Intelligent Control for Vertical Hydroponic Farms. Journal of Agricultural Engineering, 78(5), 345–359. https://doi.org/10.1016/j.jaeng.2023.05.007

4. Zhou, H., Xia, X., & Cong, L. (2025). Dynamic Modeling of Heat-Integrated Air Separation Column Based on Nonlinear Wave Theory and Mass Transfer Mechanism. Processes, 13(4), 1052. https://doi.org/10.3390/pr13041052

ISSN 3030-3907

5. Петров, А. А. (2021). Применение нечетких регуляторов в автоматизированных гидропонных установках. Автоматизация и современные технологии, 3(12), 56–63.
6. Kim, Y., & Tanaka, H. (2023). Energy-efficient LED Lighting Strategies for Hydroponic Plant Growth. Renewable Agriculture, 45(2), 210–222.
7. Garcia, L., Torres, J., & Medina, P. (2022). Fuzzy Control and Neural Networks in Smart Greenhouses. International Journal of Agricultural Automation, 17(3), 89–104.

ISSN 3030-3907