

Р. Т. АМАНОВА*, Н. Т. КАРЫМСАКОВА, С. Б. АБДРЕШОВА

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан
e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com*

ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ IoT- УПРАВЛЯЕМЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ IoT-МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ИРРИГАЦИИ МИНИ-ТЕПЛИЦ

В период быстрого городского развития и поиска способов повышения эффективности сельского хозяйства возникает вопрос о применении инновационных технологий в аграрной отрасли. В данном исследовании анализируется прогресс в использовании роботизированных манипуляторов, управляемых через системы IoT, для точечного орошения и мониторинга в городских теплицах. В работе подробно рассмотрены ключевые аспекты внедрения современных технологических решений, включая использование GPS и методов искусственного интеллекта, для контроля влажности почвы, автоматизации полива и эффективной борьбы с сорняками. Особое внимание уделяется потенциалу IoT в контексте удаленного контроля и управления агротехническими процессами в теплицах, что способствует улучшению методов рационального использования воды и увеличению урожайности, при одновременном сокращении необходимости в ручном труде.

Результаты исследования показывают, что интеграция датчиков и роботизированных систем обеспечивает более эффективное управление агротехническими процессами, создаёт оптимальные условия для развития растений и способствует более рациональному использованию природных ресурсов, что в свою очередь способствует экологической устойчивости сельского хозяйства. В данном обзоре отмечается огромный потенциал технологии интернета вещей (IoT) и робототехники для трансформации городского и сельского хозяйства. Эти технологии являются важным фактором повышения производительности, устойчивости и экономической эффективности в данной области, а также достижения целей устойчивого развития.

Ключевые слова: *робототехника, точечное орошение, умное сельское хозяйство, Интернет вещей, робот поливальщик, искусственный интеллект.*

Р. Т. АМАНОВА*, Н. Т. КАРЫМСАКОВА, С. Б. АБДРЕШОВА

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан
e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com*

IoT БАСҚАРА АЛАТЫН РОБОТТАР САЛАСЫНДАҒЫ ПРОГРЕСС ЖӘНЕ ШАҒЫН ЖЫЛЫЖАЙЛАРДЫ СУАРУ ҮШІН IoT МАНИПУЛЯТОРЫН ЖОБАЛАУ

Қаланың қарқынды дамуы және ауыл шаруашылығының тиімділігін арттыру жолдарын іздеу кезеңінде, аграрлық салада инновациялық технологияларды қолдану туралы мәселе туындайды. Бұл зерттеу, қалалық жылыжайларда нүктелік суару және бақылау үшін IoT жүйелері арқылы басқарылатын роботтық манипуляторларды пайдалану барысын талдайды. Жұмыста топырақтың ылғалдылығын бақылау, суаруды автоматтандыру және арамшөптермен

тиімді күресу үшін GPS және жасанды интеллект әдістерін қолдануды қоса алғанда, заманауи технологиялық шешімдерді енгізудің негізгі аспектілері егжей-тегжейлі қарастырылған. Жылыжайлардағы агротехникалық процестерді қашықтан бақылау және басқару контекстінде IoT мүмкіндіктеріне ерекше назар аударылады, бұл қол еңбегіне деген қажеттілікті азайта отырып, су ресурстарын пайдалануды оңтайландыруға және өнімділікті арттыруға ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелері сенсорлар мен роботтық жүйелердің интеграциясы агротехникалық процестерді тиімдірек басқаруды қамтамасыз ететінін, өсімдіктердің өсуіне оңтайлы жағдай жасайтынын және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға ықпал ететінін көрсетеді. Бұл өз кезегінде ауыл шаруашылығының экологиялық тұрақтылығына ықпал етеді. Бұл шолуда қалалық және ауыл шаруашылығын трансформациялау үшін заттар интернеті (IoT) технологиялары мен робототехниканың орасан зор әлеуеті атап өтілген. Бұл технологиялар осы саладағы өнімділікті, тұрақтылықты және экономикалық тиімділікті арттырудың, сондай-ақ орнықты даму мақсаттарына қол жеткізудің маңызды факторы болып табылады.

Түйін сөздер: робототехника, нүктелік суару, ақылды ауыл шаруашылығы, Заттар интернеті, робот суарушы, жасанды интеллект.

R. T. AMANOVA*, N. T. KARYMSAKOVA, S. B. ABDRESHOVA

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com*

PROGRESS IN IoT-Controlled ROBOT MANIPULATORS AND IoT MANIPULATOR DESIGN FOR IRRIGATION OF MINI GREENHOUSES

With urbanization and the drive to improve the efficiency of agricultural production, the use of innovative technologies in the agricultural sector is becoming increasingly relevant. This article analyzes the progress in the application of IoT-controlled robotic arms for precision irrigation and monitoring in urban greenhouses. The article discusses key aspects of using modern technologies, including GPS and artificial intelligence techniques, to monitor soil moisture, automate irrigation, and control weeds. Particular attention is paid to the potential of IoT to remotely monitor and control greenhouse processes, which can optimize water consumption and increase crop yields while reducing reliance on manual labor.

The study shows that the integration of sensors and robotic systems facilitates efficient management of agronomic processes, ensuring optimal conditions for plant growth. Automation of irrigation based on real soil and environmental data leads to rational use of resources and increased environmental sustainability of agricultural production.

In conclusion, the paper highlights the significant potential of IoT and robotics in transforming urban agriculture, contributing to increased productivity, sustainability, and economic efficiency. The results of the study can be used to develop new management approaches in urban agricultural systems and contribute to the achievement of sustainable development goals.

Key words: Robotics, spot irrigation, smart agriculture, Internet of Things, irrigation robot, artificial intelligence.

Введение. В условиях растущей урбанизации и необходимости обеспечения продовольственной безопасности, интеграция передовых технологий в сельское хозяйство представляется критически важной задачей. Особенно это касается городских теплиц, где использование инноваций, таких как интернет вещей (IoT) и роботизированные системы для орошения и мониторинга, открывает новые возможности для

увеличения эффективности и устойчивости агропроизводства. Несмотря на значительный прогресс в этой области, остаются вопросы, связанные с оптимизацией ресурсоиспользования и повышением урожайности, требующие дальнейшего исследования.

Центральным аспектом нашего исследования является изучение роли и эффективности IoT-управляемых роботов в процессах точного орошения и мониторинга условий выращивания в городских теплицах. Мы стремимся оценить потенциал этих технологий для повышения производительности сельскохозяйственных культур при оптимальном использовании водных и других ресурсов.

Значимость данного исследования обусловлена его потенциалом в решении проблем продовольственной безопасности в городских условиях и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Результаты могут способствовать формированию новых подходов к управлению городскими агроэкосистемами, включая разработку и внедрение инновационных IoT и роботизированных систем в сельское хозяйство.

Далее представлен обзор существующих решений, анализ потенциальных преимуществ и вызовов, а также формулируются рекомендации по дальнейшему развитию и применению этих технологий в контексте городских теплиц. Особое внимание уделяется работе R. Ş. Ricman, который подробно исследует применение IoT и робототехники в аграрной сфере, с акцентом на инновационных методах управления ресурсами и повышении урожайности. Авторы обсуждают основные технологии, методы искусственного интеллекта и приводят примеры улучшения эффективности орошения и мониторинга состояния почвы. Рассматривается влияние этих технологий на снижение трудозатрат и оптимизацию использования водных ресурсов, а также выделяются перспективы развития и преимущества для городского сельского хозяйства [1]. В своем обзоре управляемых роботизированных систем M.Polic и его коллеги представляют новаторскую методику управления ирригацией с использованием коллаборативного робота Franka Panda. Робот оснащен RGB-D камерой и датчиком влажности почвы для автоматизации процедуры, известной как метод "ощущения и внешнего вида".

Основная цель заключается в мониторинге влажности почвы для определения времени полива и нужного объема воды с минимальным ущербом для растений. Разработанная система использует алгоритм адаптивного силового управления, позволяющий роботу вводить датчик влажности почвы в зону корней растений без их повреждения. Камера применяется для грубой оценки поверхности почвы, что в сочетании с алгоритмом адаптивного силового управления позволяет роботу брать пробы почвы без предварительного знания ее жесткости. Кроме того, предложен подход на основе глубокого обучения для визуальной оценки состояния почвы и содержания влаги на основе данных, полученных с камеры [2]. Недавние исследования предлагают использовать недорогую и энергоэффективную технологию интеллектуального тепличного хозяйства на основе IoT. Для этого используются микроконтроллеры ESP32 и Raspberry Pi, а также различные сенсоры для контроля окружающей среды, которые работают через протокол MQTT в локальной Wi-Fi

сети. Цель заключается в достижении автономного управления климатом теплицы и условиями для роста растений при максимальной энергоэффективности за счет солнечной энергии. В рамках проекта реализован мониторинг влажности почвы и автоматический полив. Для отслеживания роста растений используется камера ESP32_CAM, которая в реальном времени фотографирует растения и сохраняет изображения для последующего анализа. Отмечается, что несмотря на значительные достижения в адаптации и согласованности работы с почвой разной плотности, существует потребность в улучшении разработки более точных и устойчивых моделей взаимодействия роботов с почвой. Это особенно важно в условиях, когда необходимо сократить риск повреждения корневой системы растений и оборудования. Для реализации таких улучшений требуется дальнейшее исследование и развитие адаптивных методов управления, учитывающих сложное взаимодействие механических свойств почвы, динамики роботов и точности оценки состояния почвы. Это подчеркивает важность продолжения исследований в данной области для достижения более высокой эффективности и надежности интеллектуальных систем управления тепличным хозяйством [3]. Agus Suwandi, и его коллеги разработали и протестировали мобильного робота для автоматического полива растений. Управление им осуществляется через Bluetooth с помощью смартфона. Для создания пользовательского интерфейса авторы использовали платформу App Inventor, а в качестве контроллера – Arduino Uno.

Цель исследования заключалась в разработке недорогой и эффективной системы автоматизации полива растений. Результаты тестирования показали, что робот успешно выполняет задачи по поливу с задержкой в среднем 1 секунду и максимальным радиусом действия в 5 метров [4]. На основе автоматической системы полива были разработаны и протестированы небольшие садовые роботы [5], которые помогают людям в выращивании растений, как показано на рисунке 1. Исследование охватывает два садовых робота, основанных на микроконтроллерах Raspberry Pi и ESP32. Они оснащены датчиками влажности почвы, камерами и системами для уничтожения сорняков. Основная цель заключается в автоматизации полива и ухода за растениями с возможностью удаленного управления через смартфон. Роботы способны удалять сорняки и поливать растения, используя модель нечеткой логики для принятия решений о поливе. Однако были выявлены ограничения в эффективности работы на различных типах поверхностей и в радиусе действия Wi-Fi сигнала. Ожидается, что в будущем будут доступны дополнительные датчики, а также возможно применение машинного обучения на основе изображений. Nagaraja [6] и Mechsy [7] (2017) также обсуждают использование автономных цепочек полевых растений, которые включают датчики для постоянной идентификации, технологию RFID и мобильную платформу для эффективного полива растений. Петерсон [8] подчеркивает важность разработки образовательных материалов в данной области, тогда как Луппов [9] обсуждает использование технологий Интернета вещей для сохранения скоропортящихся продуктов. Эта концепция может быть применена к орошению мини-теплиц.

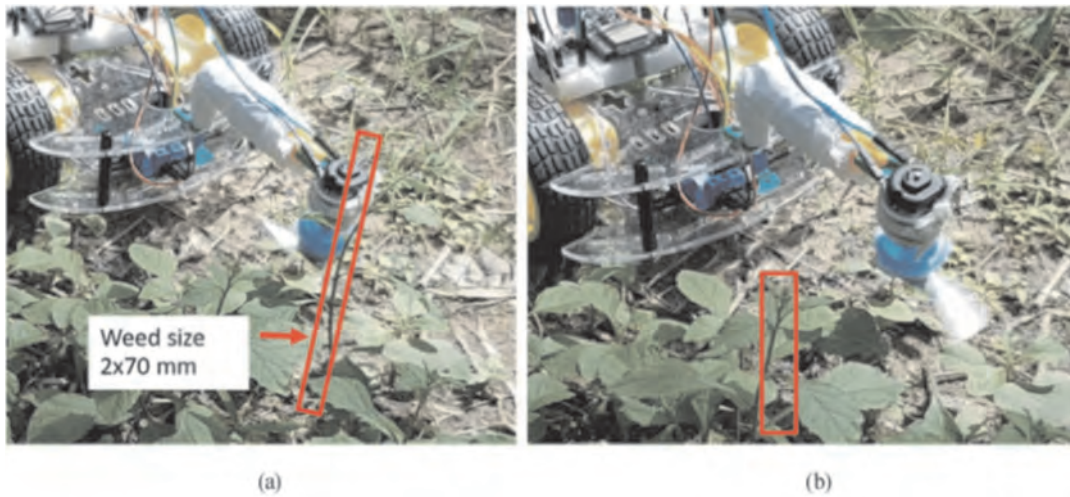


Рисунок 1 – Сорняки (а) до скашивания резакom и (б) после скашивания резакom

Наконец, Strisciuglio и его коллеги [10] впервые создали прототип, используя инновационное планирование маршрута и визуальные системы управления, а также алгоритмы для навигации по различным типам местности, обхода препятствий и точной обрезки растений. Однако проект столкнулся с вызовами, связанными с динамикой садовой среды, изменчивыми условиями освещения и необходимостью динамической реконструкции объектов для точного выполнения обрезки. Роботизированная система орошения [11] была специально разработана для орошения закрытых садов. Микроконтроллер Arduino увеличивает поток воды, когда датчик влажности обнаруживает сухую почву. Исследование фокусируется на разработке автоматической системы ирригации для домашнего садоводства, использующей датчики влажности почвы и микроконтроллер Arduino для регулирования полива. Целью является минимизация усилий по уходу за растениями и оптимизация использования воды. Применяется методология жизненного цикла разработки систем (SDLC), включающая этапы планирования, анализа, проектирования и реализации. Более того, для компенсации одного недостатка этой работы был разработан автоматический опрыскиватель удобрений.

Условия для сельскохозяйственного производства универсальны и сложны. Поэтому сельскохозяйственные роботы должны обладать исключительной адаптивностью, точной навигацией и способностью избегать препятствия. Обычно они состоят из четырех частей: системы технического зрения, системы управления, механических приводов и мобильной платформы. Более конкретные исследовательские вопросы представлены и исследованы в работе [12][13]. Основное внимание уделяется технологиям восприятия, автономному принятию решений, управлению и точному выполнению задач. Определены вызовы, связанные с интеграцией искусственного интеллекта и необходимостью адаптации к сложным агроусловиям. Предложены направления дальнейших исследований, включая разработку доступных и высококачественных роботов, а также улучшение взаимодействия с агроокружением.

Включение камеры Raspberry Pi Camera Module V2 в нашу разработку значительно расширяет возможности системы. Мы можем использовать технологию FPV в сочетании с мощностью Raspberry Pi, что предоставляет нам непревзойденные преимущества. У нас появляется улучшенная оперативная гибкость и оптимизация вычислительной нагрузки, делая систему идеально подходящей для динамически изменяемых условий. Использование камеры Raspberry Pi Camera Module V2 обеспечивает высокое качество изображения, что позволяет нам точно мониторить и управлять в реальном времени. Это повышает адаптивность и скорость реагирования системы на изменения в среде. Наше инновационное решение не только улучшает эффективность использования ресурсов, но и открывает новые горизонты для практического применения робототехнических систем в самых разнообразных условиях. Мы делаем значительный прогресс в данной области науки и техники.

Цель исследования заключается в оценке текущего состояния и прогресса в области использования IoT-управляемых роботов-манипуляторов для точного орошения и мониторинга условий выращивания в городских теплицах, с особым уклоном на Казахстан из-за дефицита водных ресурсов. Основной упор делается на изучение потенциала таких технологий для улучшения эффективности и устойчивости сельского хозяйства в условиях городской среды, а также для решения проблемы дефицита воды, особенно актуальной для Казахстана. Исследование направлено на выявление ключевых аспектов применения современных технологий, включая GPS и методы искусственного интеллекта, для мониторинга влажности почвы, автоматизации полива, борьбы с сорняками, а также исследование возможностей IoT для удаленного контроля и управления процессами в теплицах с целью экономии воды и более эффективного использования ее. Исходя из условий Казахстана, исследование стремится выявить специфические нерешенные проблемы и вызовы, связанные с оптимизацией использования водных ресурсов и повышением урожайности в условиях дефицита воды, предлагая дальнейшие направления исследований и разработки новых подходов к управлению в городских аграрных системах с ограниченным доступом к воде.

Методы и материалы. Научно-практический метод, который лежит в основе разработки нашего робототехнического комплекса для минитеплиц, объединяет применение передовых технологий и интеграцию комплексных технических решений. В центре внимания стоит разработка управляющих алгоритмов с использованием искусственного интеллекта на базе компактных вычислительных устройств, которые обеспечивают высокую производительность и оперативность. Основные усилия направлены на достижение надежности и выносливости робота, обеспечение его безопасной работы с людьми и животными, а также на развитие мобильности и интерактивности через обмен данными в реальном времени и применение сенсорного видеозрения для точного позиционирования и адаптации к изменяющимся условиям.

Эффективность и точность системы полива достигаются за счёт применения технологии FPV, которая позволяет оператору в реальном времени наблюдать за работой робота и корректировать его действия, а также через инновационные методы управления движением, включая распознавание инфракрасного излучения. Эта многоаспектная система, разрабатываемая на Python и основанная на возможностях Raspberry Pi,

демонстрирует гибкость и высокую адаптивность к условиям минитеплиц, открывая новые горизонты в области автоматизированного сельского хозяйства.

Эти технологические решения сыграют важную роль в обеспечении высокой точности и эффективности разработанной системы полива, что, в свою очередь, это может улучшить продуктивность сельскохозяйственного производства в минитеплицах.

Применение передовых технологий, таких как Raspberry Pi и FPV, в сочетании с разработкой специализированного программного обеспечения на Python, создает мощную и гибкую систему, способную адаптироваться к различным требованиям и условиям внутри минитеплицы.[14][15]

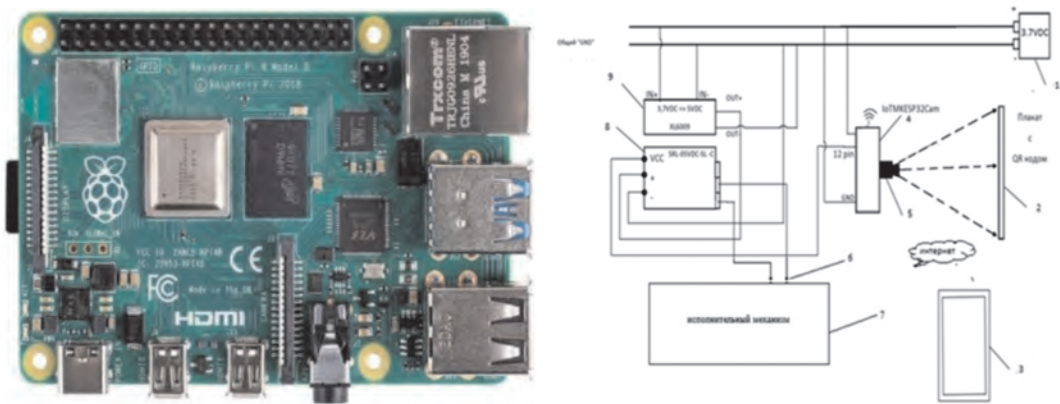


Рисунок 2 – Raspberry Pi и схема видекамеры для управления траекторией движения

Результаты. При разработке роботизированной системы для автоматизированного точечного полива растений в минитеплицах мы ставим перед собой несколько ключевых целей. Используя технологии Raspberry Pi и FPV, система будет точно определять местоположение растений с помощью QR-кодов и управлять движением робота по заданным траекториям. Основные ожидаемые результаты:

- Высокая точность распознавания QR-кодов для точного определения местоположения растений в минитеплице.
- Эффективное и точное управление движением робота-поливальщика для минимизации возможных повреждений растений и обеспечения оптимального полива.
- Способность системы к адаптации к изменениям окружающей среды для оптимизации режима полива в реальном времени.

Обсуждение. Разработка и внедрение роботизированной системы, предназначенной для автоматизации точечного полива в минитеплицах, открывают новые перспективы для сельского хозяйства. Эта система предлагает эффективные решения для экономии трудовых ресурсов и оптимизации использования воды. Использование Raspberry Pi в качестве базового контроллера и модуля камеры Raspberry Pi V2 для считывания QR-кодов и навигации значительно повышает точность и эффективность системы. Благодаря этому система может адаптироваться к расположению растений без необходимости ввода данных вручную. Она создает потенциал для более эконо-

мичного использования водных ресурсов, что особенно важно в условиях ограниченного доступа к воде. Благодаря масштабируемости и гибкости адаптера система может использовать передовые технологии и приспосабливаться к разнообразным условиям и потребностям минитеплиц. Она также предоставляет основу для внедрения дополнительных технологий, таких как датчики влажности земли.

Однако при разработке и тестировании системы необходимо учитывать потенциальные ограничения, такие как точность распознавания QR-кодов в различных условиях освещения и сложности навигации в ограниченном пространстве минитеплиц. Решение этих вызовов требует дальнейшего изучения и оптимизации, чтобы обеспечить надежность и эффективность системы в различных агроусловиях. В итоге данное исследование подчеркивает значительный вклад интеграции Интернета вещей (IoT) и робототехники в совершенствование методов управления в сельском хозяйстве. Это способствует повышению производительности, устойчивости и экономической эффективности аграрных систем. Перспективы для будущих исследований включают разработку новых подходов к автоматизации ухода за растениями и управлению ресурсами. Это будет способствовать достижению целей устойчивого развития и решению глобальных проблем продовольственной безопасности и управления водными ресурсами.

Заключение. Исследование применения роботизированных систем для автоматизации точечного полива в городских минитеплицах показывает большой потенциал для улучшения эффективности и экологической устойчивости сельского хозяйства. Использование передовых технологий, таких как искусственный интеллект и IoT, с Raspberry Pi и Raspberry Pi Camera Module V2 для контроля и управления, открывает новые возможности для малого и среднего бизнеса, частных лиц и офисных пространств. Эти инновации позволяют повысить качество урожая и автоматизировать процессы ухода за растениями, уменьшая зависимость от ручного труда. Несмотря на некоторые сложности, такие как точность распознавания QR-кодов в различных условиях освещения и навигация в ограниченном пространстве минитеплиц, потенциал для увеличения производительности и экономической эффективности огромен. Это особенно важно для регионов с ограниченными водными ресурсами, например, для Казахстана, где внедрение таких технологий может сыграть ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и управлении водными ресурсами. В заключение, наше исследование подчеркивает важность разработки и интеграции новых агротехнологий в городское сельское хозяйство, способствуя созданию устойчивой и экологически чистой городской среды. Результаты работы могут стать основой для дальнейших разработок в области автоматизации аграрных систем и внесения значительного вклада в достижение целей устойчивого развития, открывая новые горизонты для исследований и практического применения в сфере умного сельского хозяйства.

Будущая работа. Для проверки теоретических предположений и оценки практической применимости разработанной системы планируется провести серию экспериментов в городской теплице. Цель экспериментов - оценить точность и эффективность системы, включая способность точного определения местоположения растений с использованием QR-кодов и эффективное управление движениями робота-

поливальщика. Также будет изучено влияние системы на урожайность и качество растений.

Перед началом экспериментов будет проведено тщательное планирование, включая выбор и подготовку оборудования, разработку программного обеспечения для управления системой, а также выбор и подготовку растений для исследования. Система будет оцениваться по различным критериям, включая параметры влажности почвы, роста растений и потребления воды.

Помимо экспериментов, планируется использовать компьютерное моделирование для имитации работы системы в различных условиях. Это позволит определить потенциальную эффективность системы и оптимальные параметры для экспериментов. Разработка и внедрение IoT-управляемых роботов-манипуляторов для точного полива и мониторинга в городских теплицах открывает новые перспективы для сельского хозяйства в условиях урбанизации. Проведение запланированных экспериментов и моделирование работы системы позволит не только подтвердить теоретические предположения, но и оценить практическую эффективность и применимость разработки. Сотрудничество с научными группами и использование передовых технологий способствуют достижению целей проекта и внесению значительного вклада в развитие устойчивого сельского хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1 R. Ş. Ricman, M. Marinca, E. Ilies, S. Bularka, A. Gontean and D. Ursu, "Design and Implementation of a Greenhouse Monitoring and Control System," 2023 46th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Timisoara, Romania, 2023, pp. 1-5

2 M.Polic, M.Car, J. Tabak, M.Orsag, "Robotic Irrigation Water Management: Estimating Soil Moisture Content by Feel and Appearance", (2022).

3 K. Lee, M. J. Islam, H. Lee, W. Kim, S. -K. Lee and B. Kim, "IoT Based Intelligent Greenhouse Farming Technology with Low Cost and Energy Efficiency," 2023 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Singapore, 2023, pp. 1-37

4 Agus Suwandi., Abdul Hafid, Paronda., Aeri Sujatmiko. (2020). Robot Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis App Inventor. 8(1):51-60. Journal of Electrical and Electronics doi: 10.33558/JREC.V8I1.2222

5 Tangtisanon, P. Small gardening robot with decision-making watering system. Sens. Mater. 2019, 31, 1905–1916.

6 Nagaraja, H., Aswani, R., & Malik, M. (2012). Plant Watering Autonomous Mobile Robot. IEEE International Conference on Robotics and Automation.

7 L. S. R. Mechsy, M. U. B. Dias, W. Pragithmukar and A. L. Kulasekera, "A mobile robot based watering system for smart lawn maintenance," 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Jeju, Korea (South), 2017, pp. 1537-1542

8 Петерсон, Ирина Робертовна et al. "Состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования." состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования (2020): n. pag.

9 Луппов, е. et al. "технологии iot для обеспечения сохранности скоропортящихся пищевых продуктов и медицинской безопасности." LAST MILE Russia (2021): n. pag.

10 Strisciuglio, N.; Tylecek, R.; Blaich, M.; Petkov, N.; Biber, P.; Hemming, J.; van Henten, E.; Sattler, T.; Pollefeys, M.; Gevers, T.; et al. Trimbot2020: An outdoor robot for automatic gardening.

In Proceedings of the ISR 2018; 50th International Symposium on Robotics, Munich, Germany, 20–21 June 2018; pp. 1–6.

11 Lamsen, F.C.; Favi, J.C.; Castillo, B.H.F. Indoor Gardening with Automatic Irrigation System using Arduino Microcontroller. *ASEAN Multidiscip. Res. J.* 2022, 10, 131–148.

12 Raj, R.; Aravind, A.; Akshay, V.; Chandu, M.; Sharun, N. A seed planting robot with two control variables. In Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Tirunelveli, India, 23–25 April 2019; pp. 1025–1028.

13 Katzschmann, R.K.; DelPreto, J.; MacCurdy, R.; Rus, D. Exploration of underwater life with an acoustically controlled soft robotic fish. *Sci. Robot.* 2018, 3, eaar3449.

14 Х. Али; С.А.Х. Сайед Нидзамуддин; М. Эльшейх,. Smart irrigation system based IoT for indoor housing farming, 2024, *AIP Conf. Proc.* 2898, 030070 (2024)

15 H. T, S. R. Menon, P. S. Swathy, S. Suresh, J. Adarsh and S. Sree Kumar, "UAV Incorporating Infrasonic Transmitter for Bird Deterrence and Field Surveillance," *2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)*, Trivandrum, India, 2023, pp. 1-6

REFERENCES

1 R. Ş. Ricman, M. Marinca, E. Ilies, S. Bularka, A. Gontean and D. Ursu, "Design and Implementation of a Greenhouse Monitoring and Control System," *2023 46th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Timisoara, Romania, 2023, pp. 1-5

2 M.Polic, M.Car, J. Tabak, M.Orsag, "Robotic Irrigation Water Management: Estimating Soil Moisture Content by Feel and Appearance", (2022).

3 K. Lee, M. J. Islam, H. Lee, W. Kim, S. -K. Lee and B. Kim, "IoT Based Intelligent Greenhouse Farming Technology with Low Cost and Energy Efficiency," *2023 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, Singapore, 2023, pp. 1-37

4 Agus Suwandi., Abdul Hafid, Paronda., Aeri Sujatmiko. (2020). Robot Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis App Inventor. 8(1):51-60. *Journal of Electrical and Electronics* doi: 10.33558/JREC.V8I1.2222

5 Tangtisanon, P. Small gardening robot with decision-making watering system. *Sens. Mater.* 2019, 31, 1905–1916.

6 Nagaraja, H., Aswani, R., & Malik, M. (2012). Plant Watering Autonomous Mobile Robot. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*.

7 L. S. R. Mechsya, M. U. B. Dias, W. Pragithmukar and A. L. Kulasekera, "A mobile robot based watering system for smart lawn maintenance," *2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Jeju, Korea (South), 2017, pp. 1537-1542

8 Петерсон, Ирина Робертовна et al. "Состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования." состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования (2020): n. pag.

9 Луппов, е. et al. "технологии iot для обеспечения сохранности скоропортящихся пищевых продуктов и медицинской безопасности." *LAST MILE Russia* (2021): n. pag.

10 Strisciuglio, N.; Tylecek, R.; Blaich, M.; Petkov, N.; Biber, P.; Hemming, J.; van Henten, E.; Sattler, T.; Pollefeys, M.; Gevers, T.; et al. Trimbot2020: An outdoor robot for automatic gardening. In Proceedings of the ISR 2018; 50th International Symposium on Robotics, Munich, Germany, 20–21 June 2018; pp. 1–6.

11 Lamsen, F.C.; Favi, J.C.; Castillo, B.H.F. Indoor Gardening with Automatic Irrigation System using Arduino Microcontroller. *ASEAN Multidiscip. Res. J.* 2022, 10, 131–148.

12 Raj, R.; Aravind, A.; Akshay, V.; Chandy, M.; Sharun, N. A seed planting robot with two control variables. In Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Tirunelveli, India, 23–25 April 2019; pp. 1025–1028.

13 Katzschmann, R.K.; DelPreto, J.; MacCurdy, R.; Rus, D. Exploration of underwater life with an acoustically controlled soft robotic fish. *Sci. Robot.* 2018, 3, eaar3449.

14 Х. Али; С.А.Х. Сайед Нидзамуддин; М. Эльшейх,. Smart irrigation system based IoT for indoor housing farming, 2024, *AIP Conf. Proc.* 2898, 030070 (2024)

15 H. T, S. R. Menon, P. S. Swathy, S. Suresh, J. Adarsh and S. Sreekumar, "UAV Incorporating Infrasonic Transmitter for Bird Deterrence and Field Surveillance," *2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)*, Trivandrum, India, 2023, pp. 1-6