

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы **Умарова Амантура Амангельдыевича**  
на тему “Разработка ситуационной интеллектуальной системы  
управления минитеплицей на базе IoT устройств”,  
предоставленной на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D070200 – Автоматизация и управление

Анализ рынка овощей Республики Казахстан за последние десятилетия показал, что отечественный производитель может обеспечить полностью внутренний спрос только на 20%.

Основными причинами такого положения являются:

- не обеспеченность внутреннего спроса продукцией собственного производства;
- резко-континентальные климатические условия и маловодие, не позволяющие для круглогодичного выращивания овощной продукции;
- ограниченное количество орошаемых земель на юге Казахстана, выделяемых для выращивания овощной продукции;
- несовременные системы по выращиванию овощных культур;
- отсутствие развитой инфраструктуры по переработке овощных культур.

Цифровизация агробизнеса является приоритетным и актуальным направлением развитием агросектора нашей экономики и обеспечивает продовольственную безопасность страны. Стремительное сокращение доли сельского населения и его старение ставят перед государством проблемы закрепления и достойной занятости сельской молодежи путем привития навыков и умений высокотехнологичного агропромышленного производства.

Важнейшей компонентой такой трансформации является интенсификация производства, импортозамещение поставок ранних овощей с постоянным снижением разницы в комфортности жизни в городе и сельской местности.

Появление бюджетных микроконтроллерных элементов микро и малой автоматизации позволяют расширять области цифровизации фермерских хозяйств страны. Этому способствует активное изучение основ робототехники и интернета вещей на базе микроконтроллеров серии AVR, ESP32 в средних школах и сельских колледжах. Все это создает плодотворную почву для технологической интеграции отечественного агросектора в цифровое общество.

Сложность разработки умных теплиц заключается, во-первых, в трудности непрерывного мониторинга технологических процессов теплицы и, во-вторых, в сложности моделирования и описания динамических процессов теплицы.

Во-первых, рассматриваемый объект управления – растение является биологической системой, являющийся живым организмом, который требует непрерывного ухода за собой. В связи с этим, процесс мониторинга и управления нельзя приостановить и запустить заново, как в производстве техники и оборудования – оно может погибнуть. Теплица как объект управления, является агроэкологической системой закрытого типа, в которой энергетические процессы не детерминированы и не имеют определенных граничных условий и позволяют выращивать культуры с учетом изменения параметров окружающей среды.

Во-вторых, сложность математического моделирования процессов агроэкосистемы лежит во взаимодействии физических, химических и биологических параметров объекта управления.

В диссертации рассматриваются модели и методы разработки ситуационной интеллектуальной системы управления минитеплицей на базе IoT устройств, а также алгоритмы поддержки принятия решений по управлению технологическими режимами теплицы на основе экспертной системы.

**Актуальность исследования** заключается в:

- разработке отечественных умных теплиц, позволяющих круглогодично получать сельхозпродукцию и доступных для широкого населения;
- разработке алгоритмов поддержки принятия решений в зависимости от текущей ситуации на объекте управления (теплице);
- разработке новых измерительных приборов и технологического оборудования для мониторинга и управления технологическими процессами на базе IoT-устройств.

**Объектом исследования** являются процессы роста и развития растения, состояния среды (микроклимат) внутри теплицы в период вегетации.

**Предметом исследования** является мониторинг процессами роста и развития растения, и управление технологическими режимами теплицы на базе современных интеллектуальных технологий и IoT устройств.

**Цель работы** – разработка ситуационной интеллектуальной системы управления технологическими процессами теплицы на базе современных интеллектуальных технологий и IoT устройств и доступной для населения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи**:

- обзор и анализ современных технологий точного земледелия, рынка импорта овощей и учет климатических условий Казахстана, анализ существующих математических методов и моделей smart-управления теплицами;
- построение математической модели системы “Растение-Среда-Ситуация-Управление”, позволяющей формализацию задач smart-управления теплиц в форме экспертной системы;
- разработка технологической схемы, позволяющей выполнять технологические режимы;
- разработка функциональной схемы IoT-устройства, с помощью которой выполняются функциональные требования к системе;
- разработка прототипа smart-теплицы в виде IoT-устройства, удовлетворяющей критерию Цена – Качество;
- сравнительный анализ модели для различных климатических условий.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в работе научных задач использованы экспериментальные методы биологии, методы ситуационного управления и теории принятия решений, нечеткой логики и нейронных сетей.

**Научная новизна** работы включает пять научных положений:

- 1) впервые построена математическая модель экосистемы “Растение-СредаСитуация-Управление”;
- 2) на базе построенной модели предложена структура общей экспертной системы для ситуационного управления теплицей;
- 3) на базе построенной модели предложены алгоритм/алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений;
- 4) разработана технологическая схема, которая реализована в виде полупромышленного прототипа smart-теплицы;
- 5) разработана функциональная схема IoT-устройства, позволяющая выполнять поставленные функциональные требования к системе.

**Практическая значимость** заключается в применении новой технологической схемы IoT-устройства, обеспечивающей функции мониторинга и нечеткого управления технологическими процессами управления ростом и развития растения в теплице на базе интеллектуальных технологии и IoT-устройств. В состав оборудования входят: бак, клапан полива, магистральный трубопровод, капельницы, датчик почвы, вентилятор, датчик температуры, прожектор, датчик света, блок управления, реле клапана полива, реле вентилятора, реле прожектора. Главным элементом системы является Блок управления (Устройство управления, УУ).

Технический результат работы заключается в применении новой технологической схемы IoT-устройства, обеспечивающей функции мониторинга и нечеткого управления технологическими процессами управления ростом и развития растения в теплице.

**Личный вклад исследователя** заключается в анализе проблем разработки теплиц в условиях РК (статьи 1, 2, 3, 4 и 5), исследовании методов и схем проектирования умных теплиц на базе ПЛК (статьи 6, 7, 8, 9 и 10), получении и обработке данных через разработанное мобильное приложение “Ақылды жылыжай” (авторское свидетельство 11) и (патент 12); планировании и выполнении биологического эксперимента (статьи 13, 14); разработке модели ситуационного управления и алгоритмов поддержки принятия решений и написании на их основе программного обеспечения (15, 16).

**Внедрение результатов исследования.** Модель системы была внедрена в теплицы КазНУ им. Аль-Фараби (Алматы), МКТУ им. А.Ясави (Туркестан) и Eco product (Актобе). По результатам внедрения были сформулированы предложения фермеру в виде рекомендации по выращиванию СХК в зависимости от условий Среды. Результаты биологических экспериментов имеют важное практическое значение в области биологии и агротехнологии.

В результате исследования были определены оптимальные условия выращивания огурца гибрида “Асылым” для всех трех регионов. Также был получен вывод, что при оптимальных условиях среды наблюдается процесс нормального, сбалансированного роста и развития растения и при неоптимальных, наблюдается неравномерный процесс роста и развития растения. Этот вывод полностью отражает основной закон биологии и экологии – Закон оптимума.

**Публикации.** Теме диссертации посвящены 16 научных работ, в том числе 3 – в научных изданиях КН МОН РК, 1 – в научных изданиях КН МОН РФ, 7 – в материалах международных конференции, 2 – в научных журналах, входящих в базу данных Скопус, 1 – авторское свидетельство и 1 патент РК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Она изложена на 168 страницах, включая 85 рисунка, 40 таблиц и список литературы из 108 наименований.

Первая глава посвящена обзору современных технологии в тепличном хозяйстве и проблеме импорта овощей в Казахстане. Проведен обзор математических моделей возможности использования интеллектуальных технологий в тепличном хозяйстве. Вкратце описан обзор мировых производителей IoT технологии. В главе также рассматриваются основные технологические процессы в современных теплицах. Приводится анализ прогрессивных технологии и возможности их применения с точки зрения критерия цена - качество.

Во второй главе описывается постановка задачи исследования и принципы smart-управления теплицами. Главным образом, описывается влияние условий среды на рост и развитие растений и приводится закон оптимума – важнейший закон биологии, играющий ключевую роль в настоящем исследовании. Приводится формальное описание модели системы “Растение-СредаСитуация-Управление”, постановка задачи технологического управления на базе экспертной системы. Для решения поставленной задачи управления, модель приводится к задачам нечеткой идентификации и классификации типа Мамдани и Сугено. В этой главе рассматриваются особенности использования модели системы “Растение-Среда-Ситуация-Управление” для идентификации текущей ситуации в суточном масштабе времени (задача 1), идентификации интегральной ситуации в биологическом масштабе времени (задача 2), определения моментов перехода фаз (задача 3) и ситуационного управления агротехническими мероприятиями (задача 5) и приводятся алгоритмы их решения.

Третья глава рассматривает методы и инструменты исследования объекта управления - теплицы. Определяются цели и задачи биологического эксперимента для исследования роста и развития растений в теплице. Эксперимент проводится научно-исследовательской теплице КазНУ им. аль-Фараби. В главе описывается решение задачи синтеза регулятора на базе нечеткого логического контроллера (НЛК) для системы “Растение-Среда-СитуацияУправление”. Определяются цели и задач управления, выбирается конфигурации

системы и функциональные требования к разработке НЛК, строится модель НЛК (задача 4), а также выбираются функциональная схема, схема технологического оборудования и сбора данных и облачного хранилища для смарт-теплицы.

Четвертая глава посвящена мониторингу и ситуационному управлению объекта управления. Приводится описание экспериментов: а) по мониторингу и управлению в режиме реального времени с использованием беспроводных и IoT технологии в домашней теплице; б) по мониторингу и управлению в режиме реального времени с использованием беспроводных и IoT технологии в исследовательской теплице КазНУ им. аль-Фараби. Приводится схема внедрения установки “Ақылды жылыжай” в исследовательскую теплицу КазНУ им. аль-Фараби, а также сравнительный анализ урожайности теплиц для трех регионов Казахстана: Алматы, Туркестана и Актобе. Определяется оценка работоспособности разработанной системы.

В пятой главе дается описание принципов действия и руководство по эксплуатации IoT-устройства и мобильного приложения “Ақылды жылыжай”, на которые были получены патент и авторское свидетельство. Разработанное IoT-устройство является прототипом смарт-теплицы и удовлетворяет критерию Цена – Качество. Также формулируются выводы и рекомендации по выращиванию сельхозкультуры в зависимости от условий среды.

**В заключении** изложены основные результаты и выводы диссертации.

**Уровень достоверности и результаты апробации.** Обоснованность и достоверность исследования соответствуют обоснованным обязанностям задачи, анализу критериев и состоянию исследований в данной области, большому количеству проведенных экспериментов и успешной реализации их на практике. Применяемые в исследовании методики были направлены на решение сформулированных цели и задач исследования.

Основные положения и результаты работы доложены на: XI Международной конференции "Математические, физические науки и инженерные приложения", 9-12 мая 2018, г. Давао, Филиппины; XIX Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», 16-18 мая 2018, г. Уральск, Казахстан (2 доклада); IV международной конференции молодых ученых «Перспективы развития науки и образования», 10 декабря 2018, г. Нью-Йорк, США; IV международной конференции “Новые тенденции в технике, науке и технологии” (ICETEST-2020), 26-27 февраля 2020, г. Бангкок, Таиланд; Международной научной конференции в области информационных технологий, посвященной 75-летию профессора У.А. Тукеева (8 октября 2021 г.); на научном семинаре Факультета автоматизации и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета, 13 марта 2020, г. Новосибирск, Россия.

По теме диссертации опубликованы 16 научных работ, среди них получен 1 патент и 1 авторское свидетельство:

1. Ауылдың рухани жаңғыруы: шағын жылыжайлар // “Қазақ үні” Республикалық қоғамдық саяси газеті – ұлттық портал. 2018/07/17. <https://qazaquni.kz/2018/07/17/87636.html>.

2. Исследование температурного режима минитеплицы для условий Казахстана // Вестник Национальной инженерной академии наук Республики Казахстан. - Алматы. 2018. – № 2(68).

3. Systems for monitoring and controlling the parameters of the microclimate of greenhouses: a review of the current state and analysis of the directions of development // Abstracts of the International Conference "The 11th Dynamical systems, Mathematical, Physical Sciences and It's Engineering Applications", March 28-30, 2018, Bali, Indonesia,

4. A review of the current state and analysis of the directions of development // Abstracts of the International Conference "The 11th Dynamical systems, Mathematical, Physical Sciences and It's Engineering Applications", March 28-30, 2018, Bali, Indonesia.

5. Жылыжайдағы микроклимат параметрлерін бақылау және басқару жүйелерінің модельдері: қазіргі күйіне шолу және даму бағыттарын талдау // Материалы XIX Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий

телекоммуникаций» (Республика Казахстан, г. Уральск: КазИИТУ, 16-18 мая 2018 года). — Уральск: КазИИТУ, 2018 — 384- 397 с.

6. Микроклимат жүйелерін жобалау ерекшеліктері. Материалы XIX Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Республика Казахстан, г. Уральск: КазИИТУ, 16-18 мая 2018 года). — Уральск: КазИИТУ, 2018, 397- 405 с.

7. Exergy Calculation Analysis Of Differing Solar Collector Systems In Various Climate Conditions Of Kazakhstan //Journal of Engineering and Applied Sciences 14 (20): 7709-7713, 2019.

8. Relay Law of Management by a Mini-Hothouse // The 4th International youth conference “Perspectives of science and education”, New York: Premier Publishing, USA (2018). 41-47.

9. БЛК негізінде жасалған ЕИМ контроллерінің моделі // ҚР Ұлттық инженерлік ғылым академиясының хабаршысы. Алматы. 2019. – № 2(72), 35-42 с.

10. “Microclimate Monitoring System for a Home Greenhouse as Part of ESP32” 4th International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technologies (ICETEST-2020), Bangkok, Thailand 26th – 27th February’ 2020.

11. Авторское свидетельство “Ақылды жылыжай” // Программа для ЭВМ № 7578 от 17.01.2020.

12. Патент на полезную модель «Домашняя смарт-теплица» Рег. №2019/1162.2 от 30.12.2019.

13. Проектирование смарт теплицы, удовлетворяющей критерию цена – качество // Вестник КазНУ. Серия математика, механика, информатика, N.1(105), 2020.

14. Разработка «умной теплицы» на основе модели «Растение–Среда–Ситуация–Управление» Сборник научных трудов НГТУ. – 2020. – № 3 (98). – 49–64.

15. “Smart greenhouse and plant growth control” // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. Vol. 9, No. 3, July 2021, pp. 474-493.

16. Ситуационная экспертная система “Ақылды жылыжай”// Материалы Международной научной конференции в области информационных технологий, посвященной 75-летию профессора У.А. Тулеева. Алматы, 8 октября 2021 г.: – Алматы: Қазақ университеті, 2021. – 109-115 с.