

УДК 004.021:004.75

## ИЗУЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ФЕРМАМИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ФЕРМАМИ В РЕЖИМЕ ОНЛАЙН



**А.К. Куликов**

*Доцент кафедры приборов и информационно-измерительных систем РТУ МИРЭА,  
кандидат технических наук  
science.andrey.kulikov@gmail.com*

### **А.К. Куликов**

*Окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет». Область научных интересов связана с разработкой методов и алгоритмов построения информационно-измерительных систем, организацией учебного и научно-исследовательского процессов в техническом университете.*

**Аннотация.** Проведен обзор и анализ современных научных исследований и публикаций на тему создания автоматизированных систем управления городскими фермами. Рассмотрены наиболее распространенные архитектуры таких систем. Разработана техническая концепция системы управления городской фермой с использованием методов машинного обучения и автоматизации процессов (*ML-Ops*) для обеспечения управления в режиме онлайн.

**Ключевые слова:** *ML-ops*, сити-фермы, системы управления.

**Введение.** На текущий момент задача обработки данных для генерации точных предсказаний объема выпускаемой продукции с квадратного метра умного фермерского хозяйства является актуальной [1-6]. Особенно ярко об этом может свидетельствовать развития стартапов: *InFarm*, *Farm One*, *Gotham Greens* и др. Специалисты в области исследования стремятся определить, какие параметры имеют наибольшее влияние на процесс роста различных типов растений, с целью создания наиболее точного прогноза. Для выполнения обработки данных и формирования прогнозных моделей на их основании создаются различные системы управления [7-15]. Основными задачами подобных систем управления, являются: получение и хранение информации, обработка информации, оповещение оператора о результатах обработки, коррекция среды по результатам обработки.

**Анализ систем управления смарт-теплицами.** По результатам анализа информации из открытых источников на сегодняшний день системы управления представляют из себя Системы разделенные на четыре логических уровня, которые представлены на рисунке 1.

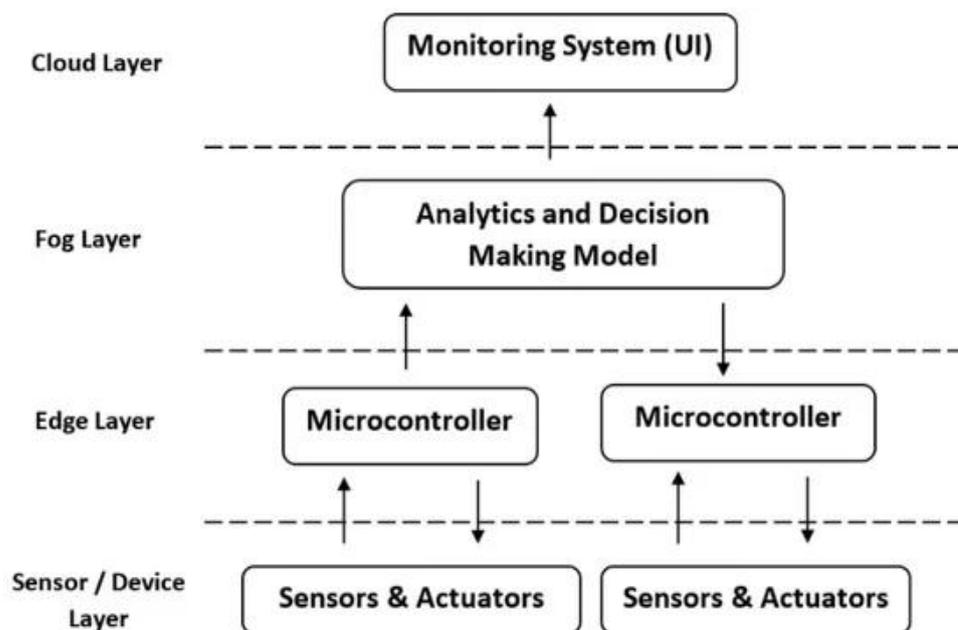


Рисунок 1. Логические уровни системы управления смарт-теплицами.

Таким образом, структура системы управления включает в себя следующие уровни: сенсоры, обработка информации с сенсоров, анализ информации и принятие решений, мониторинг функционирования. Зачастую системы подключаются на уровне сенсоров и на уровне обработки информации при помощи *Wi-Fi*, *LoRaWan*, *NB-IoT* или аналогичных беспроводных и проводных сетей. Сами сенсоры, либо изготавливаются в лабораториях самостоятельно, либо закупаются. Сенсоры собирают данные по параметрам, необходимым для работы прогнозирующих моделей. На этапе обработки данных с сенсоров используются микроконтроллеры с архитектурой *ARM* (*Arduino* или *Raspberry Pi*). На уровне принятия решений происходит планирование, диагностика и прогнозирование. Программная и аппаратная реализации данного уровня выполняются чаще всего самостоятельно научными коллективами, обычно это включает в себя использование протокола связи *MQTT* для передачи данных с предыдущих уровней, а также *SQL*-запросы к базе данных на основе полученных данных. Аппаратная реализация этого уровня чаще всего выполняется на базе *Raspberry Pi* и аналогов на микроконтроллерах с *ARM* архитектурой, ноутбуках или отдельных компьютерах. Уровень мониторинга системы в целом программно реализован в готовых инструментах мониторинга для решений *IoT* или изготовленных самостоятельно.

Наиболее интересными являются исследования, проводимые *Wageningen University & Research*, приблизительный вид их системы управления на рисунке 2. На текущий момент этим научно-исследовательским коллективом организованы состязания по созданию точных прогнозирующих моделей за счет предоставления научным коллективам доступа к своим смарт-фермам, а также возможности анализировать в режиме реального времени полученные результаты и корректировать их. Помимо этого, по результатам их исследований существует портал, который позволяет пользователям на основе своих данных получить прогнозы по выращиванию собственных культур.

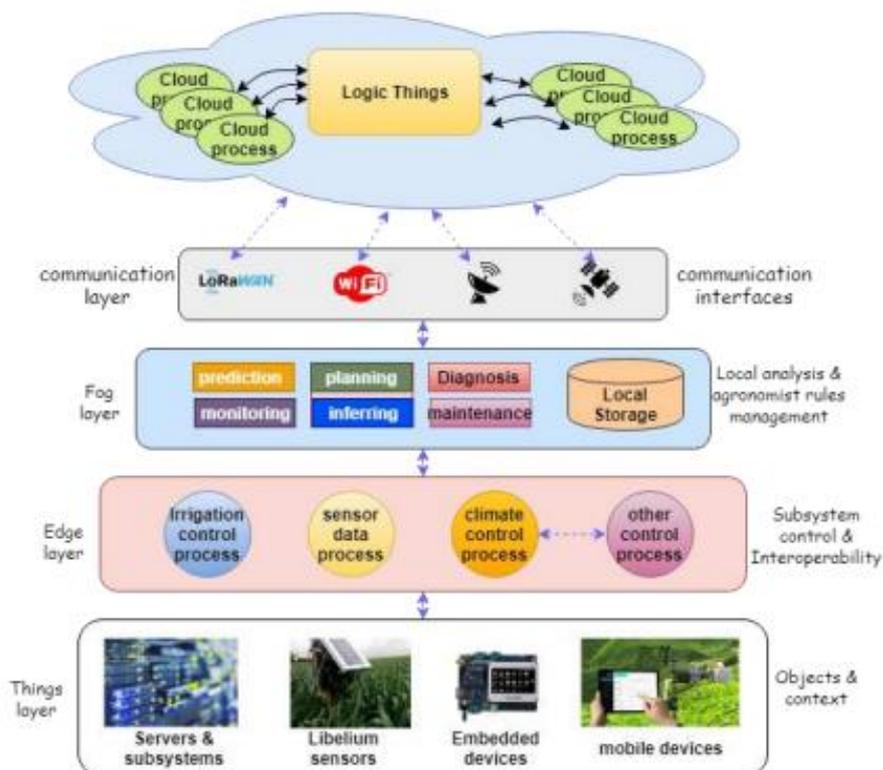


Рисунок 2. Wageningen University & Research система управления.

Кроме того, в контексте автоматизации городских ферм следует отметить проект ученых из Саудовской Аравии на рисунке 3. Они предложили конкретные рекомендации по техническому облику системы контроля. Основной целью этой системы является наблюдение за условиями внутри теплицы и контроль внутренней температуры с целью снижения потребления энергии при сохранении благоприятных условий для повышения урожайности. В качестве инструмента для мониторинга условий в теплице и определения оптимальной эталонной температуры используется модель сетей Петри. Температура затем передается в блок управления температурой. Вторая цель – разработка энергоэффективной масштабируемой системы для обработки больших объемов данных, поступающих от датчиков. Для этого используется динамическая графическая модель данных, которая может быть использована для прогнозирования производства, скорости роста урожая, энергопотребления и других связанных вопросов в будущем. Проект предусматривает унификацию различных форматов неструктурированных данных, полученных от разных типов устройств интернета вещей, с помощью преобразований моделей и моделируемой архитектуры. Это позволяет преобразовывать данные в структурированный вид.

Таким образом, был сделан вывод о важности реализации в техническом облике блока быстрого тестирования *ML* моделей и их быстрого апробирования на реальных растениях с целью получения точной модели, которую можно было бы передавать в другие сити-фермы для масштабирования результата выхода продукции конкретной сельскохозяйственной культуры.

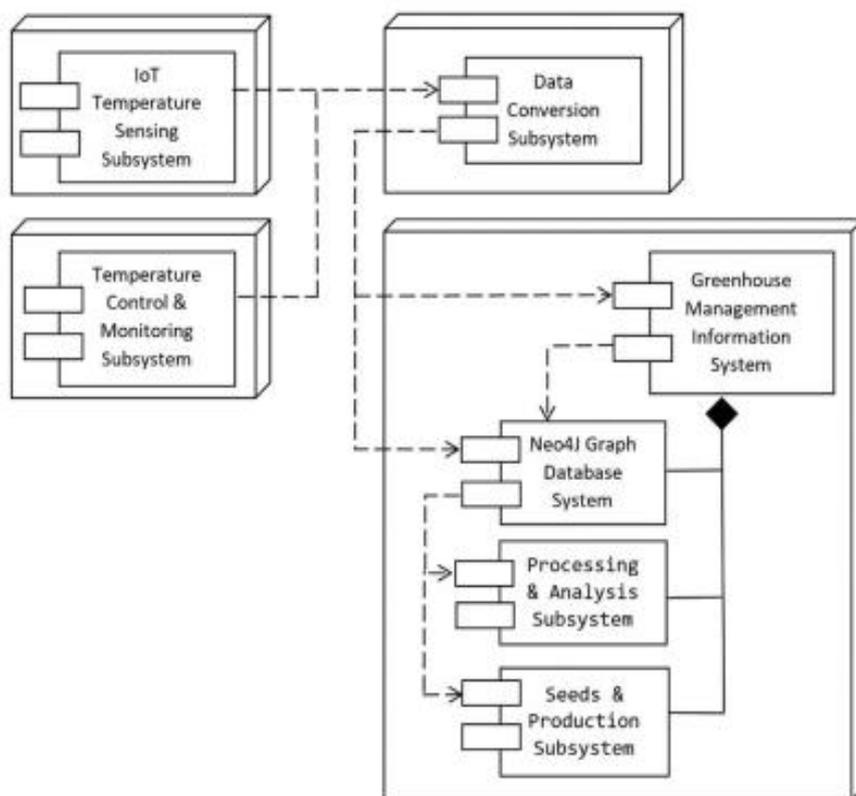


Рисунок 3. Интеллектуальная система на базе информационных технологий для контроля температуры в теплице от ученых из Саудовской Аравии.

**Технический облик системы управления сити-фермой.** Таким образом, в результате изучения материалов из открытых источников и анализа современных систем контроля, основанных на принципах *DevOps*, было решено разработать систему, в основе которой будет лежать технология *ML-Ops*. Данный шаг, позволит не только выполнять исследования в режиме реального времени для подбора моделей машинного обучения в соответствии с получаемыми данными и культурами, находящимися в городской ферме, но и выполнять интеграцию новых моделей и развертывание старых моделей в различных сценариях.

Аппаратная реализация такой системы подразумевает принятие ряда решений:

- Использование сенсоров и датчиков, работающих по протоколу *I2C* или *1-Wire*;
- Плата для обработки и отправки информации на сервер (*NodeMCU* или аналоги), способная передавать данные по *Bluetooth*, *Wi-Fi* или кабелю;
- Протокол для передачи данных от узлов к серверу (*MQTT*);
- Реализация уровней обработки и мониторинга в форме облачного приложения для быстрого масштабирования с дублированием серверной части.

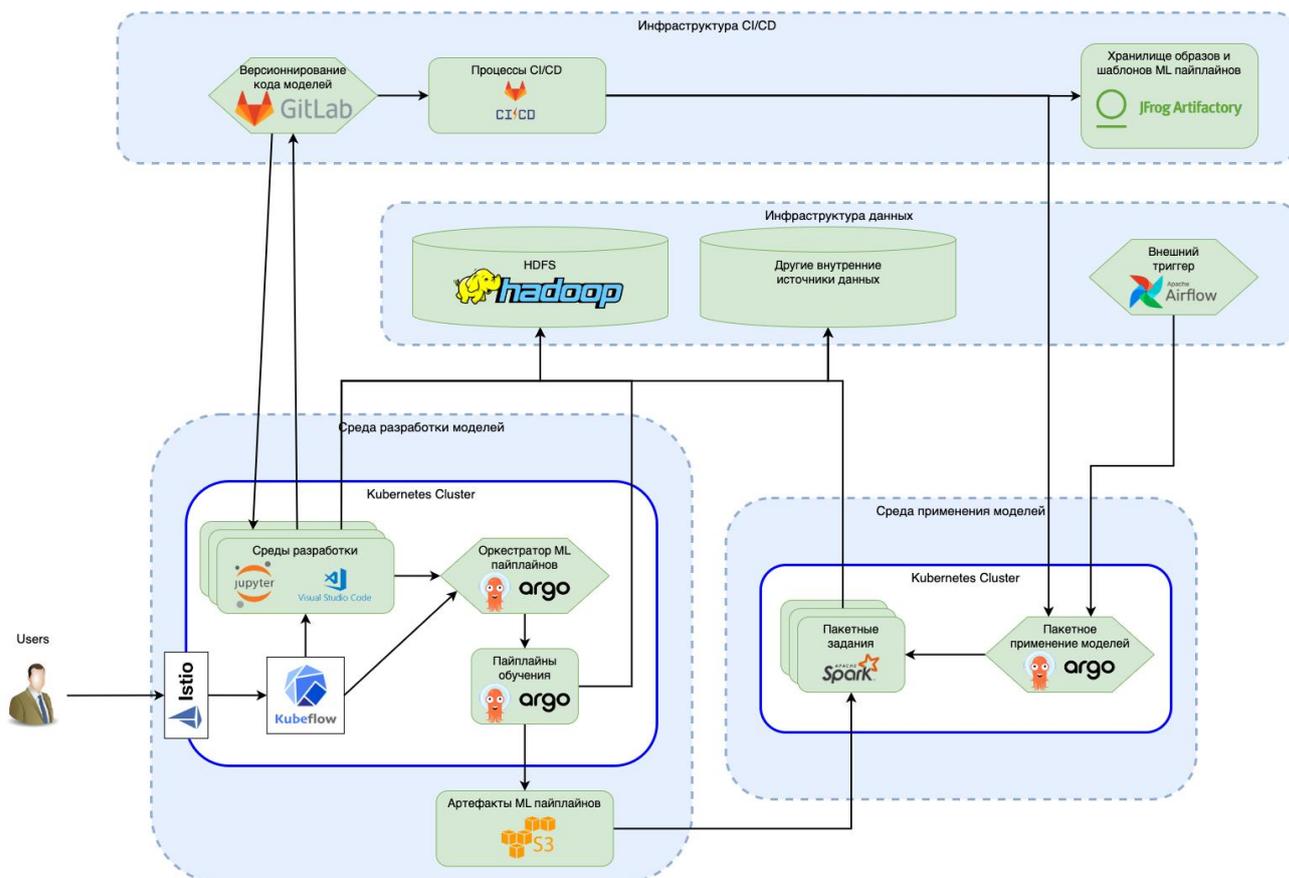


Рисунок 4. Технический облик системы управления смарт-теплицами.

**Заключение.** В ходе исследования была разработана концепция системы контроля городских ферм, которая позволяет избежать необходимости самостоятельной разработки инфраструктуры системы управления и сконцентрироваться на уровнях сенсоров и обработки данных с сенсоров.

В результате реализации данной концепции, как показано на рис. 4, ожидается получение следующих преимуществ: автоматизация сохранения данных, управление версиями моделей, агрегирование наборов данных, тестирование новых моделей с помощью экспериментов и новых данных, визуализация данных.

### Список литературы

- [1] Kim, W.; Soon, B.M. Advancing Agricultural Predictions: A Deep Learning Approach to Estimating Bulb Weight Using Neural Prophet Model. *Agronomy* 2023, 13, 1362. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051362>
- [2] Thimmegowda, M.N.; Manjunatha, M.H.; Huggi, L.; Shivaramu, H.S.; Soumya, D.V.; Nagesha, L.; Padmashri, H.S. Weather-Based Statistical and Neural Network Tools for Forecasting Rice Yields in Major Growing Districts of Karnataka. *Agronomy* 2023, 13, 704. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030704>.
- [3] Wang, Y.-H.; Su, W.-H. Convolutional Neural Networks in Computer Vision for Grain Crop Phenotyping: A Review. *Agronomy* 2022, 12, 2659. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112659>
- [4] Zhou, J.; Wang, B.; Fan, J.; Ma, Y.; Wang, Y.; Zhang, Z. A Systematic Study of Estimating Potato N Concentrations Using UAV-Based Hyper- and Multi-Spectral Imagery. *Agronomy* 2022, 12, 2533. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102533>
- [5] Liu, C.; Zhao, C.; Wu, H.; Han, X.; Li, S. ADDLight: An Energy-Saving Adder Neural Network for Cucumber Disease Classification. *Agriculture* 2022, 12, 452. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040452>
- [6] Pham, Q.V.; Nguyen, T.T.N.; Vo, T.T.X.; Le, P.H.; Nguyen, X.T.T.; Duong, N.V.; Le, C.T.S. Applying the SIMPLE Crop Model to Assess Soybean (*Glicine max. (L.) Merr.*) Biomass and Yield in Tropical Climate Variation. *Agronomy* 2023, 13, 1180. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041180>

- [7] Jin, X.-B.; Zheng, W.-Z.; Kong, J.-L.; Wang, X.-Y.; Zuo, M.; Zhang, Q.-C.; Lin, S. Deep-Learning Temporal Predictor via Bidirectional Self-Attentive Encoder–Decoder Framework for IOT-Based Environmental Sensing in Intelligent Greenhouse. *Agriculture* 2021, 11, 802. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080802>
- [8] Zhang C, Liu Z. Application of big data technology in agricultural Internet of Things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2019;15(10). doi:10.1177/1550147719881610
- [9] Jirapond Muangprathub, Nathaphon Boonnam, Siriwan Kajornkasirat, Narongsak Lekbangpong, Apirat Wanichsombat, Pichetwut Nillaor, IoT and agriculture data analysis for smart farm, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 156, 2019, Pages 467-474, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.011>.
- [10] Haixia Li, Yu Guo, Huajian Zhao, Yang Wang, David Chow, Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 191, 2021, 106558, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106558>.
- [11] Hemming, S.; de Zwart, F.; Elings, A.; Righini, I.; Petropoulou, A. Remote Control of Greenhouse Vegetable Production with Artificial Intelligence—Greenhouse Climate, Irrigation, and Crop Production. *Sensors* 2019, 19, 1807. <https://doi.org/10.3390/s19081807>
- [12] A. F. Subahi and K. E. Bouazza, "An Intelligent IoT-Based System Design for Controlling and Monitoring Greenhouse Temperature," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 125488-125500, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3007955.
- [13] Hemming, S.; Zwart, F.d.; Elings, A.; Petropoulou, A.; Righini, I. Cherry Tomato Production in Intelligent Greenhouses—Sensors and AI for Control of Climate, Irrigation, Crop Yield, and Quality. *Sensors* 2020, 20, 6430. <https://doi.org/10.3390/s20226430>
- [14] Maraveas, C. Incorporating Artificial Intelligence Technology in Smart Greenhouses: Current State of the Art. *Appl. Sci.* 2023, 13, 14. <https://doi.org/10.3390/app13010014>
- [15] Rokade, A.; Singh, M.; Malik, P.K.; Singh, R.; Alsuwian, T. Intelligent Data Analytics Framework for Precision Farming Using IoT and Regressor Machine Learning Algorithms. *Appl. Sci.* 2022, 12, 9992. <https://doi.org/10.3390/app12199992>

#### Авторский вклад

Куликов Андрей Кириллович – полная подготовка доклада

### QUALITY EVALUATION OF INFORMATION TRANSFER IN A DISPATCHING SYSTEM BASED ON MQTT ARCHITECTURE

*A.K. Kulikov*

*Associate Professor of the  
Department of Devices and  
Information and Measuring  
Systems of RTU MIREA, PhD of  
Technical Sciences*

**Abstract.** A review and analysis of modern scientific research and publications on the creation of automated management systems for urban farms has been carried out. The most common architectures of such systems are considered. A technical concept of an urban farm management system using machine learning and process automation (ML-Ops) methods to provide online management has been developed.

**Keywords:** ML-Ops, city forms, information and measurement control systems.