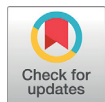


**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ /
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT**<https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.414-442>EDN: <https://elibrary.ru/sgfvlr>

УДК 004.7:551.5

*Оригинальная статья / Original article***Разработка и апробация программно-аппаратного
комплекса с веб-интерфейсом отображения
данных мониторинга локальных метеоусловий****Ю. И. Блохин¹✉, А. С. Черяев^{1,2}, С. Ю. Блохина¹**¹ *Агрофизический научно-исследовательский институт,**г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*² *Университет ИТМО,**г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*✉ blohin3k4@gmail.com*Аннотация*

Введение. Внедрение автоматических метеостанций с применением технологий Интернета вещей (IoT) является новым этапом развития интеллектуального сельхозпроизводства. Современные веб-сервисы и приложения, использующие данные с IoT автоматических метеостанций обеспечивают пользователей репрезентативной информацией о климатических условиях в режиме реального времени, что способствует более эффективному планированию полевых работ и снижению рисков, связанных с изменением погодных условий. Важным аспектом получения и анализа актуальной метеорологической информации является разработка удобных для пользователей интерфейсов.

Цель исследования. Выполнить обзор современных метеостанций и технологий разработки программного обеспечения для оперативного отображения климатических данных для сельского хозяйства; разработать и апробировать программно-аппаратный комплекс с веб-интерфейсом отображения данных мониторинга локальных метеоусловий с частотой отображения данных не менее одного раза в час.

Материалы и методы. В качестве методов и инструментов решения поставленной задачи использовался современный инструментальный веб-разработки на платформе ASP.NET Core MVC. Разработан экспериментальный образец бюджетной IoT автоматической метеостанции для получения данных о локальных метеоусловиях в течении вегетационного периода. Составлена аппаратная и программная архитектура IoT автоматической метеостанции. Микрокомпьютер Raspberry Pi Zero обеспечивает выполнение скриптов опроса многоканального совмещенного метеодатчика на языке Java для записи в локальную и удаленную систему управления базами данных PostgreSQL. Графики динамики локальных метеоусловий созданы с помощью JavaScript-библиотеки ApexCharts. Исследованы энергопотребление и динамика заряда аккумулятора IoT автоматической метеостанции от солнечной панели в полевых условиях.

Результаты исследования. Представлен обзор современных метеостанций и проведен сравнительный анализ технологий разработки программного обеспечения для оперативного отображения данных. Создан и апробирован алгоритм извлечения

© Блохин Ю. И., Черяев А. С., Блохина С. Ю., 2025

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

информации из базы данных и отображения графиков и таблиц на веб-сайте с помощью веб-приложения. Обозначены ключевые блоки кода с пояснениями, описан алгоритм развертывания веб-приложения в интернете. Разработан фронтэнд веб-приложения для наглядной визуализации данных IoT автоматической метеостанции. Представлены динамика метеоусловий, полученная IoT автоматической метеостанцией, результаты сравнения отдельных показателей с данными из открытых источников. Веб-приложение протестировано и развернуто на аппаратном сервере с доступом в интернет.

Обсуждение и заключение. Результаты полевых испытаний IoT автоматической метеостанции и веб-приложения в 2024 г. показали высокую производительность системы, минимизацию задержек при негативных условиях внешней среды (сильный дождь, ветер, низкие и высокие температуры), стабильное наполнение базы данных и отображение графиков метеоусловий на сайте. Разработанная IoT автоматическая метеостанция, построенная по модульному принципу, с совмещенным метеодатчиком является более компактной и бюджетной в сравнении с готовыми решениями, существующими на рынке. Непрерывный поток информации, открытая аппаратная архитектура обеспечивают автономность системы за счет подзарядки аккумулятора от солнечной батареи и алгоритма режима сна. В дальнейшем предполагается проведение градуировки совмещенного датчика в лабораторных условиях для повышения точности показаний или замены совмещенного датчика на классические механические датчики с незначительным изменением аппаратной и программной платформы. Для работы с динамическими моделями производственного процесса в систему планируется добавить интерфейс и полевые датчики.

Ключевые слова: веб-приложение, фронтэнд, ASP.NET Core MVC, IoT, метеостанция, мониторинг параметров окружающей среды

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Блохин Ю.И., Черяев А.С., Блохина С.Ю. Разработка и апробация программно-аппаратного комплекса с веб-интерфейсом отображения данных мониторинга локальных метеоусловий. *Инженерные технологии и системы*. 2025;35(3):414–442. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.414-442>

Developing and Testing of a Hardware and Software Complex with a Web Interface for Displaying Local Meteorological Monitoring Data

Yu. I. Blokhin^a ✉, A. S. Cheryaev^{a,b}, S. Yu. Blokhina^a

^a Agrophysical Research Institute,
St. Petersburg, Russian Federation

^b ITMO University,
St. Petersburg, Russian Federation

✉ blohin3k4@gmail.com

Abstract

Introduction. The implementation of automated weather stations facilitated by Internet of Things (IoT) technologies represents a significant advancement in smart agriculture. Modern web services and applications using the data of IoT-based automated weather stations provide users with representative meteorological data on climatic conditions in real time to enhance the field operations management and reduce risks from changing in meteorological conditions. An important aspect of collecting and analyzing up-to-date meteorological information is the development of user-friendly interfaces.

Aim of the Study. The study is aimed at developing and testing a hardware-software complex with a web interface for displaying local meteorological monitoring data with the frequency of data displaying at least once per hour.

Materials and Methods. The study employs modern web development tool – ASP.NET Core MVC platform to achieve the target tasks. There has been developed an experimental prototype of the low-cost IoT automated weather station to collect data on local weather conditions during the growing season. There has been also developed the hardware and software architecture of the IoT automated weather station. The Raspberry Pi Zero microcomputer provides execution of scripts for polling a multi-channel combined weather sensor in the Java programming language for recording in a local and remote PostgreSQL database management system. The graphs of local weather parameters dynamics have been implemented based on the ApexCharts JavaScript library. In the field conditions, there have been studied the energy consumption and battery charge dynamics of the IoT automated weather station from a solar panel.

Results. The algorithm for information retrieval from a database and displaying graphs and tables on a website using a web application has been developed and tested. The key code blocks with comments are presented, and an algorithm for deploying a web application on the Internet is described. A frontend for a web application for visualizing IoT automated weather station data has been developed. The dynamics of meteorological conditions obtained by the IoT automated weather station are presented, and the results of comparing individual indicators with data from open sources are presented. The web application has been tested and deployed on a hardware server with Internet access. This paper presents a comprehensive review of recent advancements in smart weather stations; a comparative analysis of software technologies for real-time weather monitoring data visualization is conducted.

Discussion and Conclusion. The results of field tests of the IoT automated weather station and web application in 2024 showed high system performance, minimal delays under adverse environmental conditions (heavy rain, wind, low and high temperatures), stable database filling and display of weather conditions graphs on the website. The developed IoT automated weather station, built on a modular principle, with a combined weather sensor, is more compact and cost-effective compared to ready-made solutions existing on the market. Continuous information flow and open hardware architecture ensures the autonomy of the system due to battery recharging from a solar panel and a sleep mode algorithm. In the future, it is planned to calibrate the combined sensor in laboratory conditions to improve the accuracy of readings, or replace the combined sensor with classic mechanical sensors with minor changes in the hardware and software platform. To work with dynamic models of the production process, it is planned to add an interface and field sensors to the system.

Keywords: web application, frontend, ASP.NET Core MVC, IoT, weather station, environmental monitoring

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Blokhin Yu.I., Cheryaev A.S., Blokhina S.Yu. Developing and Testing of a Hardware and Software Complex with a Web Interface for Displaying Local Meteorological Monitoring Data. *Engineering Technologies and Systems*. 2025;35(3):414–442. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.414-442>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработка и внедрение систем мониторинга на основе технологий Интернет вещей (Internet of things – IoT) является важным направлением исследований для автоматизации технологических процессов в сельскохозяйственной отрасли, все более ориентированной на данные о состоянии посевов, почвы и окружающей среды, получаемые в режиме реального времени на различных объектах [1–3]. Использование автоматических метеостанций (АМС) для сельского хозяйства связано с развитием концепции Интернета вещей [4–6]. Современные IoT АМС, размещенные непосредственно на поле, увеличивают точность сбора данных и помогают оперативно реагировать на изменения погоды,

прогнозировать риски появления вредителей и заболеваний, корректировать проведение агротехнологических операций и, как следствие, эффективно использовать ресурсы [7–9]. Таким образом, IoT АМС являются инструментом для принятия решений, помогающим планировать проведение полевых операций, которые напрямую зависят от погодных условий, а также накапливать базу данных, формируя «историю» каждого поля [10–12].

Наиболее разработанное направление применения IoT технологии – мониторинг параметров окружающей среды с использованием АМС. Современные АМС предлагают широкий спектр функций, включая сбор, хранение и передачу данных, что позволяет создавать прогнозы погоды на основе накопленных показаний датчиков.

Одной из ключевых характеристик IoT АМС является их способность интегрироваться с облачными сервисами и веб-приложениями, что значительно упрощает доступ к данным. Как правило, IoT АМС через веб-сервисы позволяют пользователям получать данные через мобильные приложения или веб-сайты, обеспечивая доступ к информации из любой точки мира при наличии интернет-соединения, что делает управление сельскохозяйственными процессами более гибким и адаптивным. В перспективе поддержка IoT обеспечит интеграцию методов искусственного интеллекта и машинного обучения [13; 14].

Однако, несмотря на преимущества, существуют определенные вызовы и нерешенные проблемы при использовании АМС. Одной из основных проблем является зависимость от стабильного мобильного интернета, предоставляемого местными операторами сотовой связи для передачи данных. В регионах с недостаточной инфраструктурой связи это может стать серьезным ограничением. В таких случаях требуется установка направленных антенн с высоким коэффициентом усиления или увеличение высоты мачты. Альтернативными вариантами могут являться станции ретрансляции данных или физический доступ к станции для считывания данных, что может быть не всегда удобно, экономически оправдано и лишает пользователя возможности оперативно получать данные.

Эффективное управление питанием АМС также имеет важное значение, особенно для систем, установленных на открытом воздухе или в удаленных местах с ограниченным доступом к источникам питания. Большой проблемой в проектировании полевого оборудования является создание защищенных от непогоды корпусов и надежной оснастки устройств, которые могут выдерживать экстремальные условия окружающей среды без потери функциональности [15].

Цель исследования – выполнить обзор современных метеостанций и технологий разработки программного обеспечения для оперативного отображения климатических данных для сельского хозяйства и разработать бюджетный программно-аппаратный комплекс с веб-интерфейсом отображения данных мониторинга локальных метеословий, обеспечивающий стабильную работу в полевых условиях.

Задачи исследования: 1) разработать бюджетную IoT метеостанцию с совмещенным метеодатчиком; 2) разработать веб-приложение для извлечения информации из базы данных и отображения графиков и таблиц на веб-сайте.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Критерии выбора современных автоматических метеостанций

Выбор автоматической метеостанции должен основываться на тщательном анализе потребностей хозяйства, в котором разные виды растений по-разному реагируют на условия окружающей среды, доступной инфраструктуры связи и финансовых возможностей. Современные технологии предоставляют широкий спектр решений, которые могут быть адаптированы под конкретные условия и задачи, стоящие перед сельхозтоваропроизводителями.

Стоимость АМС остается важным фактором при выборе оборудования. Базовые модели АМС в основном доступны, однако расширенные версии с дополнительными датчиками и более высокой точностью измерений могут потребовать значительных инвестиций. Тем не менее, затраты на приобретение и обслуживание таких систем могут окупиться за счет повышения урожайности и снижения потерь от неблагоприятных погодных условий.

При выборе АМС важно учитывать не только начальную стоимость оборудования, но и затраты на его обслуживание, модернизацию, возможные обновления программного обеспечения или стоимость подписки на веб-сервисы. Важно отметить, что высокоточные датчики часто требуют регулярной калибровки для поддержания точности измерений, а солнечные панели снижают эффективность при покрытии пылью или снежным покровом и при определенных условиях нуждаются в регулярной очистке.

Кроме того, при выборе АМС необходимо учитывать специфику местности, размер сельскохозяйственного объекта и климатические условия региона для определения места размещения и количества станций. В Российской Федерации наблюдение за сельскохозяйственными территориями осуществляется, главным образом, на основе данных измерений, выполняемых метеостанциями Росгидромета, расстояние между которыми превышает 100 км, что приводит к малой репрезентативности получаемой на них метеорологической информации по отношению к отдельным сельскохозяйственным территориям (особенно в случае пересеченного рельефа местности)¹. В равнинных районах радиус охвата одной станции может достигать 25–30 км, однако в горных или лесистых зонах этот показатель может существенно снижаться. Радиус действия различных моделей метеостанций может варьироваться из-за типа датчиков, в частности для метеостанций Davis Instruments заявлен радиус охвата 300 м. Отечественная ИТ-компания ООО «Нотос», разработчик проекта «погодавполе.рф», рекомендует размещать одну АМС через каждые 5 км, при этом площадь покрытия составляет от 2 500 до 5 000 га.

Летом 2024 г. в связи с сильнейшей засухой, которая привела к гибели посевов и значительному снижению валового сбора урожая, у ростовских агропроизводителей возникла необходимость в установке 60 автоматических метеостанций

¹ Современный агрометеорологический комплекс КАМК / В. А. Корольков [и др.] // ENVIROMIS-2018 : материалы Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды (5 июня – 11 июля 2018 г., г. Томск). Томск : Томский центр научно-технической информации, 2018. С. 394–397. <https://elibrary.ru/hbqefb>

к 19 имеющимся для более детального наблюдения за погодой, а конкретно за температурой воздуха и почвы, количеством осадков². Подобные проблемы планируют решить ученые Ставропольского государственного аграрного университета совместно с индустриальным партнером – компанией «Теплоком», организовав производство отечественных почвенно-климатических станций для мониторинга состояния сельхозугодий и дистанционной передачи информации на рабочее место или смартфон агронома³.

Для больших по площади сельскохозяйственных полей, особенно при пересеченной местности и сложном рельефе, целесообразно создание единой измерительно-вычислительной системы на основе IoT-технологий, включающей бюджетные пространственно-разнесенные АМС с оптимальным набором датчиков, сервера и специального ПО для сбора информации со всех АМС, обработки и визуализации динамики метеоусловий в удобном для сельхозпроизводителей виде. АМС могут интегрироваться с IoT-системами управления сельскохозяйственными процессами, такими как системы автоматического полива и мониторинга состояния почвы.

Категории автоматических метеостанций

Для оснащения сельскохозяйственного объекта метеоборудованием руководителю хозяйства или фермеру приходится выбирать из большого количества вариантов в трех ценовых категориях, при этом сложно понять на основе каких критериев необходимо сделать выбор. Для одних пользователей однозначным выбором могут оказаться бюджетные варианты АМС, как правило производства КНР, которые можно приобрести в большом количестве, определенным образом распределив по сельскохозяйственному объекту. Вызывает сомнения надежность и ремонтпригодность таких систем, а реальный опыт пользователей можно оценить в основном из отзывов в интернет-магазине AliExpress. Для пользователей, которым необходимы высокая точность и надежность датчиков в суровых условиях внешней среды, надежное интернет-соединение, отсутствие необходимости постоянного обслуживания, однозначным выбором будут являться профессиональные метеостанции. Как правило, для таких метеостанций необходимо отводить специальное место и создавать зону безопасности с оградой и видеонаблюдением для защиты от вандализма.

Современные АМС можно разделить на три ценовые категории. Состав, технологичность и количество датчиков (каналов сбора данных), установленных на АМС, автономность, сложность аппаратной и программной архитектуры, как правило, определяют цену оборудования. Дополнительно стоимость определяется способом выгрузки данных из памяти АМС и наличием веб-сервисов и приложений для мониторинга метеоусловий, модификациями в рамках одной модели АМС и широким набором расширений. В среднем количество измеряемых параметров для АМС низкой ценовой категории составляет 2...5, средней – 5...8, высокой – от 6 до десятков каналов измерения.

² Донскому АПК не хватает 60 метеостанций для наблюдения за погодой [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://clck.ru/3NxRsS> (дата обращения: 21.10.2024).

³ Ученые СтГАУ разрабатывают почвенно-климатические станции для агрономов [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://clck.ru/3NxSPp> (дата обращения: 21.10.2024).

К первой группе (низкая ценовая категория) относятся недорогие малогабаритные метеостанции, наиболее известным производителем которых является фирма MISOL. Стоимость таких метеостанций варьируется от 7 до 15 тыс. руб. В среднем они определяют семь метеопараметров: температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, количество осадков и освещенность. Они больше подходят для оценки метеоусловий в помещениях, теплицах или на придомовых территориях (работают от аккумуляторов или от сети) и не предназначены для профессиональных задач [4]. Основным недостатком данной группы метеостанций являются ограниченные технические характеристики датчиков и высокая компактность их расположения, а также незначительный радиус передачи фиксируемой информации (не более 100 м). Метеоданные, собираемые такими станциями, могут иметь низкую точность относительно АМС более высоких категорий, а в случае расположения в полевых условиях могут предоставлять недостоверные данные во время неблагоприятных погодных условий. Альтернативным вариантом является самостоятельный подбор датчиков по выбранным характеристикам, разработка системы по принципу «сделай сам» (do it yourself – DIY). Популярным выбором DIY АМС является использование Arduino. В работе [16] проведен анализ существующих метеостанций от различных производителей, рассмотрены некоторые их недостатки, разработана компактная и бюджетная автономная метеостанция на базе Arduino, где для хранения и визуализации данных используется веб-приложение (библиотеки Arduino Ethernet). В работе [17] представлена разработка IoT АМС с использованием Arduino Uno, сопровождаемая графическим прикладным программным обеспечением.

Пользователи, которые не полагаются на бюджетные решения, но при этом не располагают средствами на приобретение профессиональных, выбирают АМС из средней ценовой категории (от 80 до 400 тыс. руб.), к которой можно отнести различные модели АМС (например, Davis MeteoBot и Сокол-М). Данные АМС оснащены более профессиональными датчиками, беспроводным модулем для отправки данных в интернет в приложение или веб-сайт соответствующей компании, более гибкими настройками для установки времени опроса и контроля технического состояния АМС. Недостатками является ограниченная автономность в связи с отсутствием энергоэффективных систем питания от солнечной энергии (малая мощность заряда в отличие от АМС высокой ценовой категории), заводская градуировка датчиков (отсутствие лабораторной калибровки/поверки) и ограниченный функционал по расширению возможностей сбора данных (ограниченный ассортимент дополнительных датчиков для подключения, дополнительные затраты).

АМС высокой ценовой категории, стоимость которых может составлять несколько миллионов рублей, применяются для задач климатологической и синоптической, авиационной метеорологии, гидрологии суши и моря, метеорологического обеспечения автомобильных дорог, в экологическом мониторинге и агрометеорологии. Отечественные предприятия, осуществляющие разработку и изготовление систем метеомониторинга: НПО «Тайфун», ИМКЭС СО РАН,

ООО «Сибаналитприбор». Популярными зарубежными профессиональными коммерческими системами являются: MAWS201 и WXT520 (Vaisala, Финляндия), CSAT3 (Campbell Scientific, Inc., США) и MaxiMet Compact Weather Station (Gill Instruments, Великобритания), Delta-T Devices GP2 (Великобритания), Cimel (Франция)⁴. Такие системы оснащены набором откалиброванных, прошедших поверку высокоточных датчиков с более рациональным (распределенным) их расположением на штанге, моноподе, а также системой сбора данных, эффективной системой подзарядки аккумулятора.

В отдельную категорию профессиональных АМС можно выделить специальные решения для особых условий функционирования, например, в отечественной АМС «АрктикМетео»⁵, разработанной в ИМКЭС СО РАН и предназначенной для работы на удаленных и труднодоступных территориях со сложными климатическими условиями. АМС обладает вандалозащищенной конфигурацией и включает в себя две метеостанции, расположенные на высоте 2 и 10 м. Таким образом обеспечивается сбор метеоданных с десятков каналов измерения. Сигналы с датчиков, измеряющих метеорологические величины, поступают в систему сбора, усвоения и передачи данных, которая пакетирует их соответствующим образом и передает на хранение на внешний сервер по кабельному каналу, каналам сотовой и спутниковой связи. Автономность работы АМС (до одного года) обеспечивается комбинированной системой электропитания, состоящей из аккумуляторов, солнечных панелей и генератора на топливных элементах (метанол).

Одной из проблем в 2024 г. стало существенное увеличение стоимости АМС в условиях санкций, например, метеостанции средней ценовой категории Davis в европейских интернет-магазинах можно приобрести менее чем за 100 тыс. руб., при этом в России средняя цена начинается от 160 тыс. руб., более оснащенные варианты стоят более 300 тыс. руб., а MeteoBot – метеостанция болгарского производства – имеет стоимость около 350 тыс. руб. АМС MeteoBot осуществляет мониторинг следующих параметров: температура и влажность воздуха, атмосферное давление, количество выпавших осадков, солнечная радиация, скорость ветра, точка росы, температура почвы. Автономность повышается за счет подзарядки аккумулятора солнечной панелью. Передача данных происходит через интернет с помощью встроенного LTE-модуля. Одной из главных трудностей является доступ к данным с серверов, расположенных за пределами Российской Федерации и потенциальным риском их отключения [18].

Отображение данных метеонаблюдений

Важным аспектом использования АМС в современных системах дистанционного сбора данных являются различные методы преобразования и отображения получаемых данных. Например, в работе ученых Научно-исследовательского

⁴ Современный агрометеорологический комплекс КАМК / В. А. Корольков [и др.]; Тихомиров А. А. Разработка и создание измерительно-вычислительной системы для реализации технологии мезомасштабного мониторинга и прогнозирования состояния атмосферного пограничного слоя. Госконтракт № 14.607.21.0030. Министерство науки и высшего образования РФ. 2014–2016. <https://elibrary.ru/gblqou>

⁵ Тихомиров А. А. Разработка и создание измерительно-вычислительной системы для реализации технологии мезомасштабного мониторинга и прогнозирования состояния атмосферного пограничного слоя. Госконтракт № 14.607.21.0030.

института сельского хозяйства Крыма приводится описание системы мониторинга и дистанционного управления теплицей, для чего было разработано веб-приложение, которое позволило визуализировать собранные данные (температуру окружающей среды, влажность почвы, относительную влажность и освещение), получить доступ к настройке и управлению климатическими условиями⁶. Что касается программной части систем сбора данных, то используются различные подходы к отображению данных [18–20]. IoT-система мониторинга условий окружающей среды на сельскохозяйственных полях на основе Raspberry Pi [21] использовалась для обнаружения признаков дыма или пламени в режиме реального времени, данные транслировались в веб-приложение на сервер и отображались на интернет-сайте, веб-интерфейс которого разработан с использованием Flask, HTML и CSS для безопасной визуализации данных обнаружения в режиме реального времени.

В современных технологиях отображения данных метеонаблюдений часто используются веб-приложения, которые могут работать на любом устройстве, где установлен веб-браузер, и обработка выполняется с использованием аппарата математической статистики или машинного обучения [1; 15; 20]. Пользователю необходимо предоставить эргономичный интерфейс для отображения собранных данных и статистики. Традиционно для такой задачи используют 2D графики. Как правило, для каждого канала измерения АМС должен выводиться свой график, где на оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат – мгновенные или усредненные показания датчика за отведенный период (15 мин, 1 ч и т. д.). Обработанные данные могут отображаться на сайте в табличном виде с возможностью скачать набор данных, например, в формате Microsoft Excel.

Для АМС из низкой ценовой категории не предусмотрена отправка данных на определенные веб-сервисы самостоятельно и требуется подключение к дополнительным аппаратным средствам (ПК или логгерам), для обработки и анализа информации используются сторонние программы (Excel, R и др.).

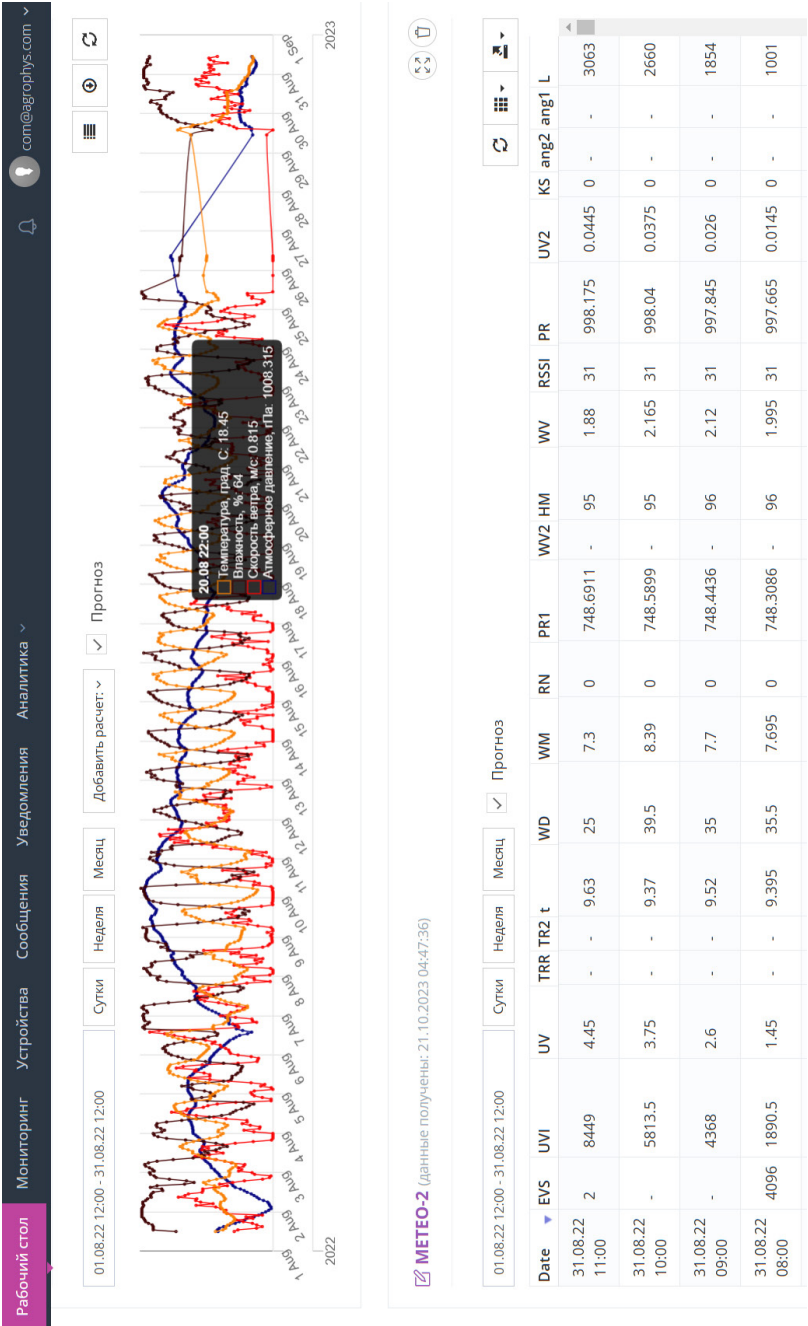
АМС из средней и высокой ценовой категорий обычно предоставляют доступ к данным через веб-сервисы, например, отечественный веб-сервис⁷ и зарубежное приложение⁸ [22], позволяющие видеть и загружать данные о динамике метеословий за выбранный период. Для примера презентационного отображения данных на рисунке 1 представлен дашборд сайта АМС «Сокол-М»⁹, которая использовалась на Меньковской опытной станции в 2022–2023 гг. (доступ к личному кабинету на сайте предоставляется при покупке хотя бы одного комплекта АМС). Сайт предоставлял данные в графическом (верхняя половина скриншота) и табличном виде (нижняя половина скриншота) за указанный период, предоставлялась возможность выбора конкретных метеопараметров на графиках (в данном случае температура и влажность воздуха, скорость ветра, давление).

⁶ Волков А. С., Фролов Ф. В., Дунаева Е. А. Рынок метеостанций: особенности, достоинства и недостатки существующих моделей // Неделя науки ИСИ : сб. материалов Всеросс. конф. (1–4 апреля 2024 г., г. Санкт-Петербург). СПб. : Издательство Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2024. С. 333–336. <https://elibrary.ru/tntvvp>

⁷ Sokol Meteo : веб-сервис. URL: <https://sokolmeteo.com/login> (дата обращения: 21.10.2024).

⁸ Meteobot : веб-сервис. URL: <https://meteobot.com/ru/> (дата обращения: 21.10.2024).

⁹ Sokol Meteo : веб-сервис.



Р и с. 1. Интерфейс веб-сайта метеостанции «Сокол-М» на Меньковской опытной станции

Fig. 1. Web-site of the Sokol-M weather station at the Menkovo experimental station

Источник: снимок сделан в личном кабинете на сайте метеостанции «Сокол-М» (<https://sokolmeteo.com>).
Source: the photo was taken in the personal account on the Sokol-M weather station website (<https://sokolmeteo.com>).

Сельхозпроизводителями применяются комплексные решения не только по визуализации, но и с использованием моделей прогнозирования. Исследователями и программистами из Греции разработано веб-приложение, поддерживающее инновационные методы управления орошением в масштабах хозяйства на средиземноморском острове Крит¹⁰. Фронтэнд (frontend – презентационная часть информационной или программной системы, ее пользовательский интерфейс) веб-приложения представляет собой интегрированную в HTML-страницу GIS, где пользователь может выбрать сельскохозяйственный объект на карте, после чего предоставляется функционал проведения расчетов с помощью модели продуктивности AquaCrop для предсказания урожайности и получения информации по управлению агротехнологиями на вегетационный период. Веб-приложение, представленное в данной статье, в дальнейшем планируется интегрировать в веб-платформу, которая позволит осуществить прогнозирование урожайности с помощью системы имитационного моделирования продукционного процесса сельскохозяйственных культур AGROTOOL [23; 24].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

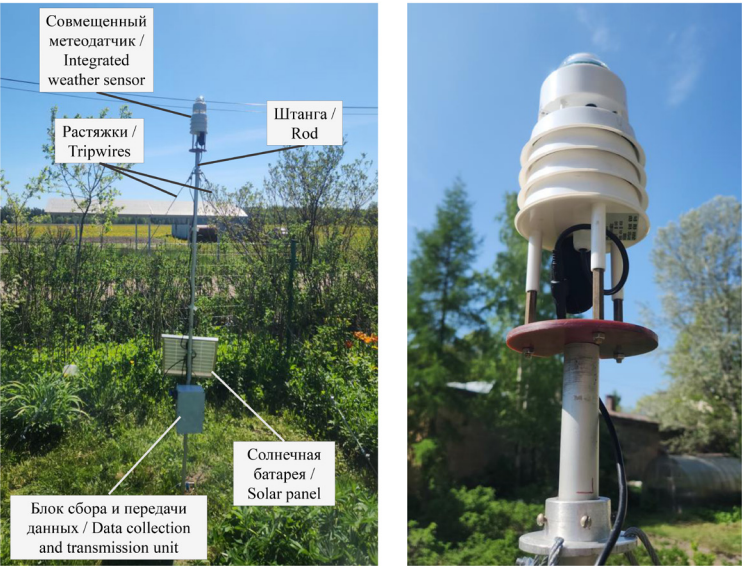
Оборудование, методы и процедура исследований

С учетом результатов полевых испытаний беспроводной сенсорной сети¹¹ [25], являющейся основным компонентом IoT-системы, была разработана новая конфигурация экспериментальной бюджетной АМС, представленной на рисунке 2, входящей в состав IoT-системы. Система построена по модульному принципу. Все элементы АМС были установлены на штанге, которая фиксировалась растяжками с анкерами для повышения ветроустойчивости конструкции. Нижний конец штанги заглублялся в почву на глубину 50 см. На верхнем конце штанги на высоте 2 м располагался совмещенный метеодатчик CWT-UWD (Small Ultrasonic Integrated Weather Station) производителя ComWinTop (Китай). На расстоянии около 50 см от земли на штанге размещается блок питания, обработки и передачи данных, имеющий следующие составляющие: микрокомпьютер Raspberry Pi Zero, преобразователь интерфейса USB-RS-485, 4G модем, модуль тока и напряжения INA219; контроллер Pi Pico с RTC модулем и реле; аккумулятор, контроллер заряда. С обратной стороны на штанге располагалась солнечная панель, ориентированная на юг.

Затраты на приобретение комплектующих для экспериментального образца IoT АМС подтверждают, что данное решение является бюджетным. В таблице приведены цены основных элементов системы (актуально на начало 2025 г.).

¹⁰ Meteobot : мобильное приложение [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://meteobot.com/ru/softuer/mobilnoe-prilozhenie/> (дата обращения: 21.10.2024).

¹¹ Блохин Ю. И., Белов А. В., Блохина С. Ю. Беспроводная гибридная сеть с поддержкой интернета вещей (IoT) для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур // Биологизация землепользования: почва, технологии, продукция : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (28–31 августа 2023 г., г. Москва). М : Постер-М, 2023. С. 328–333. <https://elibrary.ru/coqiyg>



Р и с. 2. Внешний вид экспериментального образца
IoT автоматической метеостанции на опытном поле

F i g. 2. External view of the IoT automated weather station engineering prototype
on the experimental field

Источник: фотографии сделаны Ю. И. Блохиным при полевых испытаниях рядом с Меньковской опытной станцией (20.05.2024 г.).

Source: the photos were taken during the field test by Yu. I. Blokhin near in Menkovo station 20.05.2024.

Т а б л и ц а
T a b l e

Стоимость основных компонентов IoT автоматической метеостанции
Cost of the main components of the IoT automated weather station

Компонент / Component	Цена, руб. / Price, RUB
Совмещенный метеодатчик CWT-UWD / Combined weather sensor	24 617
Raspberry Pi Zero W	1 764
Pi Pico Board RP2040	282
Преобразователь интерфейса USB-RS-485 / Interface converter USB-RS-485	232
Модуль часов RTC DS3231 / Clock module RTC DS3231	153
Модуль тока и напряжения INA219 / Current and voltage module INA219	89
Релейный модуль / Relay module	100
Импульсный стабилизатор напряжения SCV0026-5V-2A / Pulse voltage stabilizer SCV0026-5V-2A	790
4G модем Huawei E3372h / 4G modem Huawei E3372h	3 932
Аккумулятор Delta Battery DT 1207 / Battery Delta Battery DT 1207	1 861
Контроллер заряда Delta PWM 2410 / Charge controller Delta PWM 2410	1 260
Солнечная батарея Delta SM 15-12 P / Solar battery Delta SM 15-12 P	2 060
Корпус для РЭА G3008 240×160×90 мм / Frame for REA G3008 240×160×90 mm	1 930
Труба алюминиевая длина 2 500 мм / Aluminum pipe length 2 500 mm	1 500
Кабели, кнопки, разъемы, такелаж, анкера и другие расходные материалы / Cables, buttons, connectors, rigging, anchors and other consumables	3 000
Итого / Total	33 820

Совмещенный метеодатчик имеет ряд преимуществ относительно стандартных датчиков и традиционного метода размещения датчиков на метеостанциях¹² [18]. Необходимо отметить, что отдельные датчики нуждаются в разнесенной установке и, как правило, отдаляются от геометрического центра метеостанции на определенное расстояние, чтобы не перекрывать друг друга для воздушного потока (учет скорости и направления ветра). При этом преимуществом разнесенной установки является возможность демонтировать отдельные датчики для настройки, калибровки или замены, что трудно выполнимо для совмещенного датчика, так как замена отдельных элементов таких систем, как правило, не предусмотрена.

Расположение элементов в совмещенном датчике выполнено таким образом, чтобы каждый отдельный датчик не оказывал воздействия на другие датчики. Совмещенный датчик значительно упрощает подключение к системе сбора данных АМС, уменьшает общую ветровую нагрузку на конструкцию АМС за счет меньшего профиля, а отсутствие выносных элементов и механических датчиков значительно упрощает хранение системы и размещение в полевых условиях, повышается удобство работы с данными, получаемыми в едином формате, что упрощает их преобразование. Используется единая цепь питания, в которой отсутствуют отдельные DC-DC преобразователи и стабилизаторы напряжения на каждый датчик. Для учета направления и скорости ветра используется ультразвуковой модуль, в конструкции которого отсутствуют механические вращающиеся элементы, что должно обеспечивать работу системы при обледенении. Вместо традиционного механического осадкомера с ведром и воронкой для учета осадков используется оптический дождемер. Разработки оптических дождемеров были начаты в нашей стране в 1990-х гг.¹³, но долгое время на рынке отсутствовали доступные бюджетные решения. Диапазон и точность измерения CWT-UWD, заявленные изготовителем: температура $-40...+80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $0...99\text{ \%} \pm 3\text{ \%}$, атмосферное давление $0...130\text{ кПа} \pm 0,15\text{ кПа}$, скорость ветра $0...40\text{ м/с} \pm 0,5 \pm 2\text{ \%}$, направление ветра $0...359^{\circ} \pm 3^{\circ}$, освещенность $0...200\text{ 000 Люкс} \pm 7\text{ \%}$, осадки $0...24\text{ мм/мин} \pm 5\text{ \%}$.

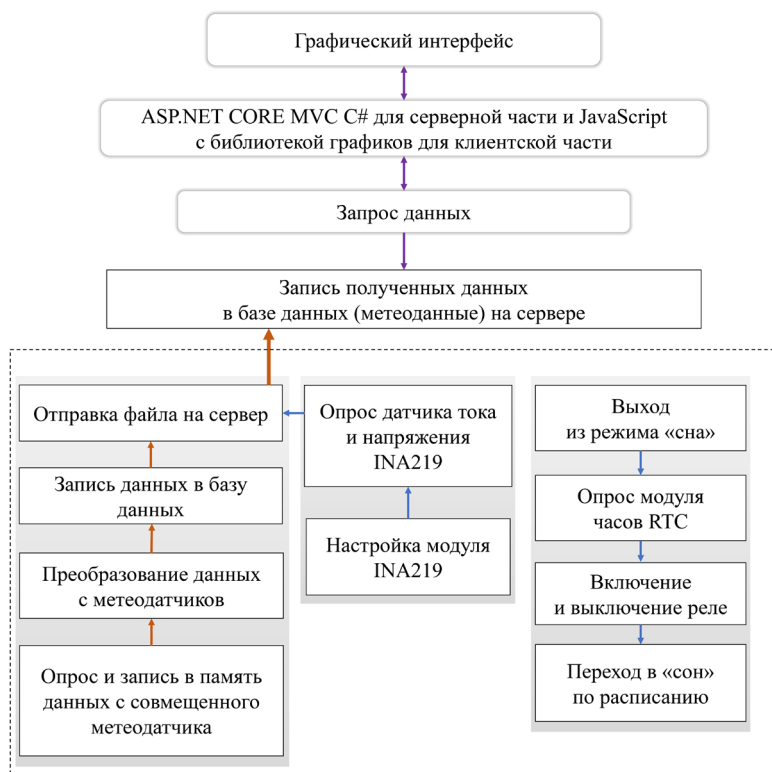
Для разработки набора приложений, анализа кода, рефакторинга на Java и microPython использовались IDE (интегрированная среда разработки) – IntelliJ IDEA 2022 и PyCharm 2022 соответственно, сборка Java-проекта для АМС осуществлялась с использованием фреймворка Apache Maven. Программное обеспечение на Java для Pi Zero обеспечивает опрос совмещенного метеодатчика, подключение и запись показаний записи в локальную и удаленную систему управления базами данных PostgreSQL через интернет. Дублирование данных в локальную базу данных производится для сохранения данных на случай неудачного интернет соединения с сервером в связи с негативными погодными условиями. Программное обеспечение на microPython для контроллера Pi Pico обеспечивает периодический переход в режим сна всех компонентов АМС, кроме совмещенного датчика. Алгоритм работы АМС (рис. 3) реализует выход системы

¹² Тихомиров А. А. Разработка и создание измерительно-вычислительной системы для реализации технологии мезомасштабного мониторинга и прогнозирования состояния атмосферного пограничного слоя. Госконтракт № 14.607.21.0030.

¹³ Современный агрометеорологический комплекс КАМК / В. А. Корольков [и др.].

из режима сна по расписанию: включение реле, две минуты ожидания для загрузки операционной системы, создание стабильного интернет-канала передачи данных, опрос всех каналов совмещенного методатчика, опрос датчика тока и напряжения, преобразование данных, подключение к удаленной базе данных на сервере, завершение работы операционной системы, выключение реле после трех минут работы и уход в режим сна на 27 минут.

Для записи данных АМС использовалась база данных IoT-системы [26], в структуру которой была интегрирована таблица *meteo1*. В таблицу *meteo1* поступали данные с совмещенного методатчика АМС и модуля INA219. Структура таблицы *agro_log*: *id* – автоматически присваиваемый порядковый номер в базе данных; *reg_date* – время и дата записи; *wind_speed* – скорость ветра, м/с; *wind_direction* – направление ветра (0–360°); *humidity* – относительная влажность воздуха, %; *temperature* – температура воздуха, С°; *atmospheric_pressure* – атмосферное давление, Па; *the_lux_value* – освещенность, Люкс; *optical_rainfall* – осадки, мм; *voltage* – напряжение аккумулятора, В; *current* – сила тока на выходе аккумулятора, А. Метод подключений к базе данных будет описан далее в рамках описания кода веб-приложения.



Р и с. 3. Архитектура программно-аппаратного комплекса с веб-интерфейсом отображения данных мониторинга локальных метеоусловий

Источник: рисунок составлен авторами статьи.

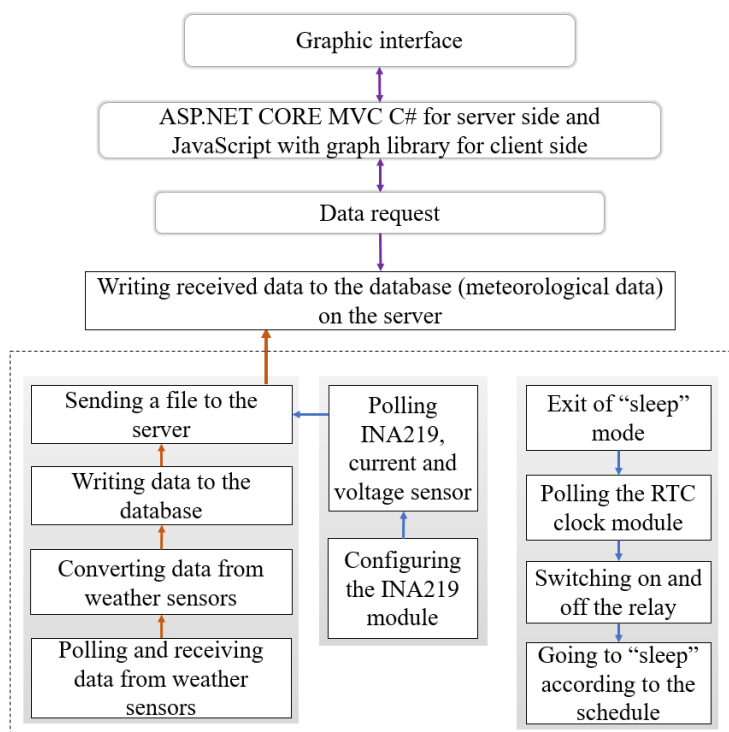


Fig. 3. Architecture of hardware-software complex with web interface for local meteorological conditions monitoring data

Source: the diagram is compiled by the authors of the article.

Дополнительным преимуществом использования Raspberry Pi Zero и операционной системы Raspberry Pi OS¹⁴ являются широкие возможности логгирования процессов, выполняемых в операционной системе, что важно для выявления причин ошибок на этапе прототипирования аппаратных и программных компонентов АМС.

Представленная конфигурация обеспечивает стабильную работу системы в полевых условиях, высокую стабильность сбора и передачи данных на удаленный сервер, поддержание достаточного для функционирования системы уровня заряда аккумулятора.

Разработка веб-интерфейса

Веб-интерфейс должен обеспечивать пользователю доступ к просмотру и использованию данных АМС, записанных в базу данных. Для этого необходимо создать клиент-серверную архитектуру, где на стороне сервера будут обрабатываться и храниться данные, а на стороне клиента данные будут представляться.

¹⁴ Raspberry Pi Operating System [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://www.raspberrypi.com/software/> (дата обращения: 21.10.2024).

Приложения для доступа, просмотра и использования данных АМС, записанных в базу данных, можно разрабатывать с помощью архитектурного паттерна MVC (model – view – controller) или же с помощью технологии REST (Representational State Transfer). Веб-приложения, запрограммированные при помощи архитектурного стиля REST API, представляют собой следующую структуру: запрограммированный веб-сервер предоставляет прикладной пользовательский интерфейс (API), через который клиентская часть посредством HTTP-запросов (GET, POST) обращается к веб-серверу. Таким образом в веб-сервисе абстрагировано друг от друга создаются серверная и клиентская части, связь между которыми происходит через REST API. С другой стороны, существует иной подход к созданию веб-приложений – MVC, где модель, представление и контроллер располагаются в едином контуре веб-сервера.

Выбор графики ApexCharts

Разработку системы было решено реализовывать с помощью паттерна MVC. Мотивация выбора платформы ASP.NET Core MVC обусловлена сравнением с аналогичными технологиями, предоставляющими инструменты для разработки веб-сервиса. Самыми распространенными на сегодняшний день технологиями для программирования веб-серверов являются PHP и Node.js. Для взаимосвязи кода и базы данных выбрана технология Entity Framework Core.

Отображение графиков функций было решено реализовывать с помощью сторонних JavaScript-библиотек, так как такие библиотеки предоставляют «из коробки» возможности интерактивного взаимодействия с ними (увеличение размера, анимационные переходы при перерисовке графика, генерация системы координат на графике). Выбор разработчика остановился на библиотеке под названием ApexCharts¹⁵. Отличительной особенностью данной библиотеки стала более подробная и наглядная документация, по сравнению с конкурентами, а также наличие поддержки от разработчиков ASP.NET Core MVC.

Код работы веб-приложения

Исходный код приложения находится в открытом доступе¹⁶. При разработке архитектуры приложения использовался паттерн проектирования внедрения зависимостей, суть которого заключается во внедрении интерфейса между взаимодействием класса модели и контроллера обработки данных. Например, чтобы реализовать отображение данных метеостанции в графическом интерфейсе сначала необходимо создать объект «репозиторий» и строку подключения к базе данных, чтобы передавать из базы в репозиторий сами данные.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Графический интерфейс веб-приложения

При разработке графического пользовательского интерфейса веб-сервиса была использована технология адаптивной верстки. Адаптивная верстка – это создание страниц сайта, которые автоматически подстраиваются под разрешение

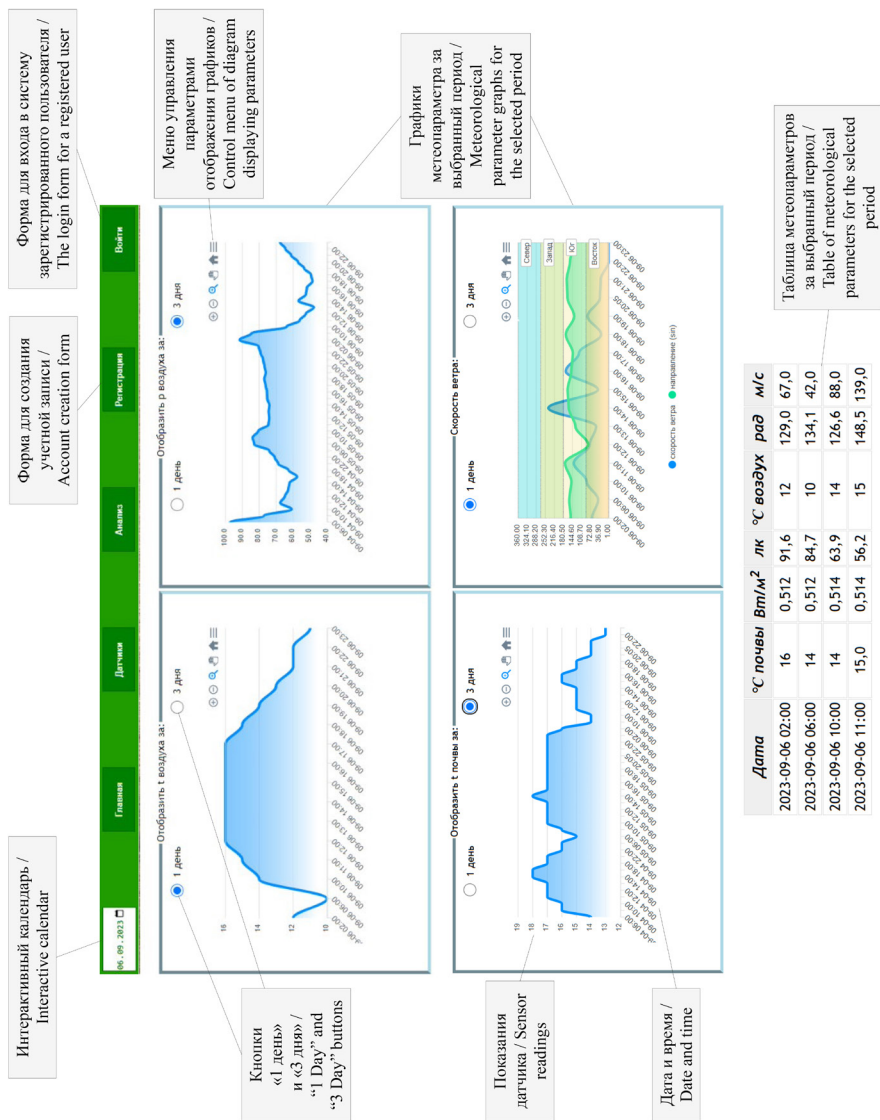
¹⁵ APEXCHARTS.JS Modern & Interactive Open-source Charts [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://apexcharts.com/> (дата обращения: 21.10.2024).

¹⁶ Ari-Metiostation. Visualisation Soil and Weather Information from Menkovo Field, St. Petersburg Region [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://github.com/kradunches/ari-metiostation> (дата обращения: 21.10.2024).

экрана устройства. Веб-интерфейс (рис. 4) разрабатывался для трех разрешений: компьютерной (ширина страницы 1 200 пикселей), планшетной (ширина страницы 768 пикселей) и мобильной (ширина страницы 320 пикселей). Благодаря такому подходу, пользователь сможет зайти на портал с любого устройства, на котором установлен веб-браузер и присутствует доступ в интернет.

Данный функционал реализован с помощью чистого JavaScript. Если на компьютере пользователя не поддерживается JavaScript, кнопка открытия меню не будет отображаться, так как переключение между состояниями не работает. В этом случае меню находится в потоке документа (открытое меню не будет накладываться поверх остальных элементов), а все элементы сайта будут видны, как и пункты меню.

Графический пользовательский интерфейс веб-приложения взаимодействует с содержимым с помощью JavaScript. Вверху страницы находится шапка сайта, где располагаются вкладки «Главная», «Датчики», «Анализ», «Регистрация», «Войти» и календарь. В нижней части главной страницы сайта находится «подвал», где содержится информация о контактах с разработчиками. В левом верхнем углу, в «шапке», находится интерактивный HTML-элемент типа календарь. Пользователь может выбрать дату в календаре, за которую необходимо отобразить динамику метаданных на веб-сайте (по умолчанию выбран текущий день). На вкладке «Главная» отображается информация о влажности и температуре воздуха, освещенности, атмосферном давлении, количестве осадков, скорости и направлении ветра. Данные параметров представлены в графическом и табличном виде. На графиках реализованы две кнопки, осуществляющие масштабирование данных по времени. При нажатии на кнопку «1 день» информация о выбранном параметре будет отображаться за выбранный на календаре день, при нажатии на кнопку «3 дня» информация о выбранном параметре будет отображаться за два предыдущих и за текущий день. На вкладке «Датчики» реализовано представление данных, получаемых IoT-системой [14] в графическом и табличном виде. На вкладке «Анализ» пользователю предоставлена возможность провести однофакторный дисперсионный анализ данных. В текстовую форму необходимо загрузить данные в формате CSV, с разделителем запятая, и при нажатии на кнопку «Анализ» программа предоставит результат проведения однофакторного дисперсионного анализа в виде числовых метрик, где наиболее интересными для пользователя являются фактическое значение Фишера и p -уровень значимости. На вкладке «Регистрация» присутствует форма для создания учетной записи в информационной системе. Имя пользователя и пароль хранятся в базе данных, при этом пароль зашифрован. На вкладке «Войти» зарегистрированный пользователь может авторизоваться в системе. Для зарегистрированных и утвержденных пользователей появляется возможность скачать накопленные данные в формате Excel-таблицы. В дальнейшем планируется добавить возможность верификации новых пользователей с помощью электронной почты.



Р и с. 4. Главная страница веб-приложения F i g. 4. Home page of the web application

Источник: снимок сделан в веб-приложении AFIPole.

Source: snapshot is taken in web application AFIPole.

Полевые испытания автоматической метеостанции

Для проведения натурных испытаний IoT АМС была размещена 23 мая в Меньковском филиале АФИ вблизи экспериментального поля № 24 (59.419743, 30.031941), на этом же полигоне располагалась беспроводная сенсорная сеть, входящая в состав IoT-системы¹⁷ [14]. При проведении испытаний IoT АМС датчики каждые 30 мин измеряли фактические значения метеовеличин, которые поступали в базу данных сервера. IoT АМС и веб-приложение в 2024 г. обеспечили высокую производительность, минимизацию задержек при негативных условиях внешней среды (сильный дождь, ветер, низкие и высокие температуры), стабильное наполнение базы данных и отображение графиков метеоусловий на сайте. Всего за вегетационный период с 23 мая за 138 дней работы получено 5 111 строк записи (кортежей) в удаленную базу данных и 5 484 в локальную, что говорит о потере около 7 % данных при передаче. В среднем за один день работы IoT АМС поступало около 40 записей – достаточное количество для работы веб-приложения. С 13 по 24 июля АМС не функционировала по причине выхода из строя модуля преобразователя интерфейса, после выявления проблемы и замены модуля АМС продолжила работать в штатном режиме.

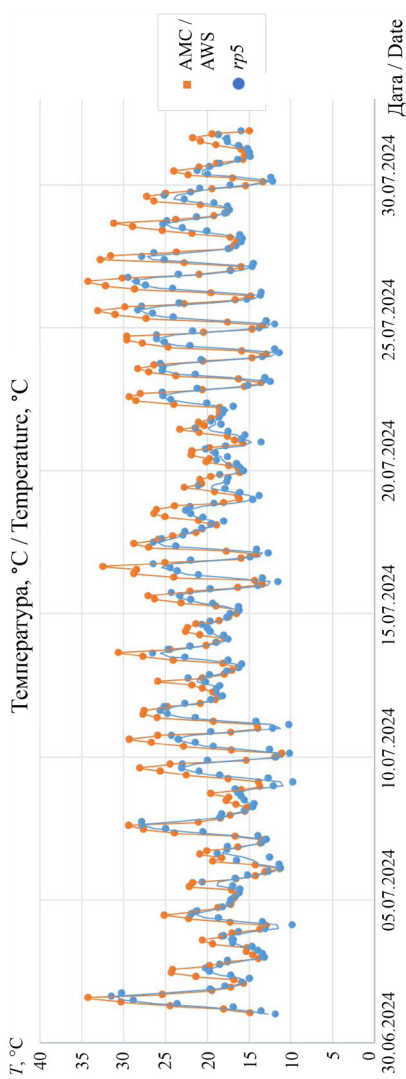
Для оценки достоверности полученных данных информация о состоянии окружающей среды, собранная IoT АМС, сравнивалась с данными метеостанции ОГМС Белогорка (Гатчинский р-н, Ленинградская обл.), данные с которой находятся в открытом доступе¹⁸. Метеостанция в Белогорке расположена на расстоянии 10 км от Меньково. При сравнении наборов данных температуры окружающей среды установлено, что нагрев корпуса влияет на показания датчика IoT АМС, разница в показаниях составляла в среднем 1–4 °С, что явно превышает погрешность, заявленную производителями датчика (рис. 5).

При сопоставлении данных о количестве осадков за июль можно предположить, что показания IoT АМС являются достоверными, так как осадки фиксировались двумя системами в одни и те же или смежные дни. Наблюдаемые различия по количеству осадков можно объяснить территориальным расположением метеостанций, однако отмечался пробел в показаниях IoT АМС с 19 по 21 июля (рис. 6), что позволяет сделать вывод о невысокой надежности оптических датчиков данного ценового сегмента. Неизвестно, как производителем датчиков учтены погрешности, связанные с малым диаметром чувствительного элемента, с ветровым недоучетом и разбрызгиванием капель о края корпуса прибора, которые критически влияют на точность измерения интегральных характеристик осадков.

При сравнении наборов данных скорости ветра нужно учесть, что датчик АМС находился на высоте 2 м от поверхности земли, а датчик метеостанции в Белогорке на высоте 10–12 м над поверхностью земли, а данные собирались за десятиминутный период раз в 3 ч. Наблюдалась схожая динамика показаний (постепенное нарастание скорости ветра) 1 и 7 июля, когда в Гатчинском районе был зафиксирован сильный ветер, поваливший часть деревьев и вызвавший обрыв линий электропередачи (рис. 7).

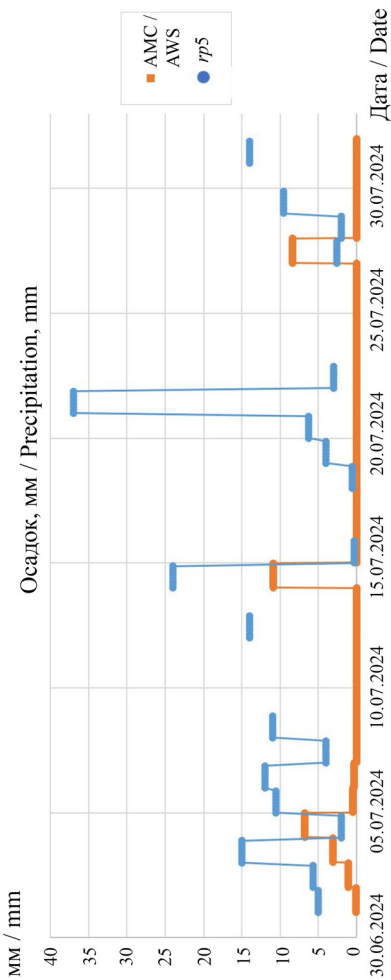
¹⁷ Блохин Ю. И., Белов А. В., Блохина С. Ю. Беспроводная гибридная сеть с поддержкой интернета вещей (IoT) для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур.

¹⁸ Архив погоды в Белогорке [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://clck.ru/3NxvQ6> (дата обращения: 21.10.2024).



Р и с. 5. Динамика температуры воздуха по данным автоматической метеостанции и открытого источника
F i g. 5. Air temperature dynamics from automated weather station and open source data

Источник: графики для рисунков 5–8 составлены авторами статьи.
Source: the diagrams for figures 5–8 are compiled by the authors of the article.



Р и с. 6. Динамика выпадения осадков по данным автоматической метеостанции и открытого источника
F i g. 6. Precipitation dynamics according to automated weather station and open source data

На рисунке 8 представлен график изменения напряжения аккумулятора IoT АМС. Отмечаются три случая просадки напряжения аккумулятора 23.08.2024, 3.09.2024 и 25.09.2024 в связи с негативным влиянием факторов окружающей среды, вызвавшим падение напряжения до установленной минимальной отметки 11 В из-за сильной облачности и проливных дождей, что видно по показаниям датчика освещенности. При этом напряжение аккумулятора за счет подзарядки от солнечной панели возвращалось к нормальному (более 12 В) уже на следующий день.

В целом, по результатам полевых испытаний в 2024 г. можно сделать вывод о высокой надежности аппаратных и программных решений, использованных в экспериментальном образце IoT АМС, но при этом о низкой точности показаний некоторых датчиков, что вызывает необходимость градуировки совмещенного датчика в лабораторных условиях, или замены совмещенного датчика на классические механические датчики с разнесенной установкой.

Для представления преимуществ предлагаемого прототипа относительно аналогов проведен SWOT-анализ.

Сильные стороны: 1) программно-аппаратный комплекс обладает инструментарием, позволяющим агроному оценивать изменения климатических условий в режиме реального времени; 2) по сравнению с анализом данных, полученных вручную, трудоемкость работы сокращается на 80 %; 3) сбор данных с периодичностью в 30 мин обеспечивает непрерывный поток информации для аналитики и прогнозов, открытая аппаратная архитектура обеспечивает автономность за счет подзарядки аккумулятора от солнечной батареи и алгоритма режима сна.

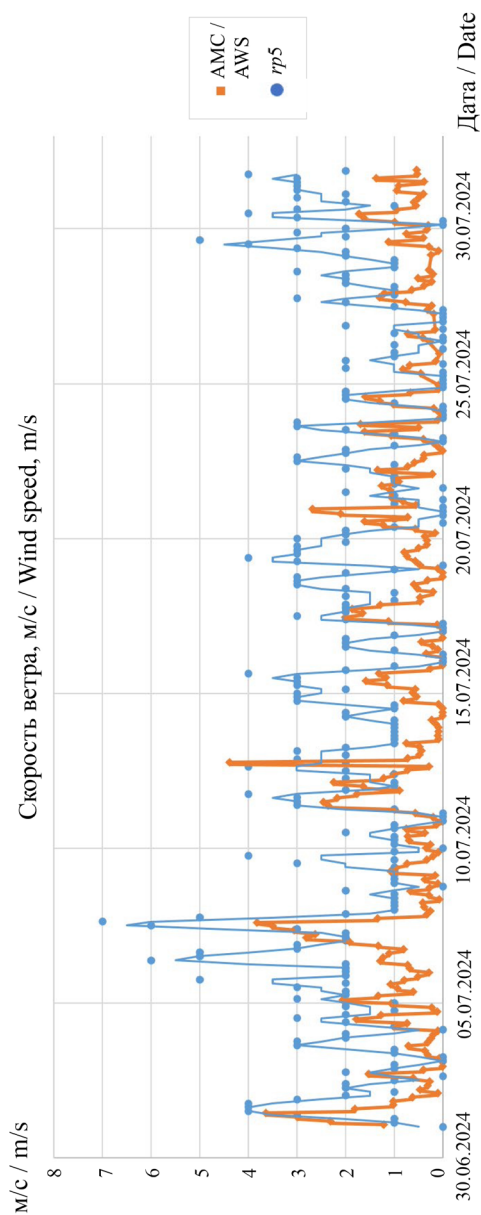
Слабые стороны: 1) относительно низкая точность показаний совмещенного датчика метеоусловий; 2) отсутствие поверки в отечественных метрологических службах; 3) отсутствие информации о дрейфе показаний датчиков со временем; 4) недостаточная морозостойкость блоков обработки и передачи данных IoT АМС; 5) необходимость программной поддержки; 6) необходимость периодического обслуживания АМС (например, в случае загрязнения солнечной батареи).

Угрозы и риски: 1) теоретические возможные проблемы с доступностью компонентов; 2) нестабильность цен в связи с курсом; 3) остановка выпуска используемого совмещенного датчика; 4) уязвимость ко взломам, так как сервис доступен в сети интернет.

Возможности: 1) калибровка показаний АМС; 2) замена совмещенного метеодатчика на аналогичный или профессиональный с незначительным изменением аппаратной и программной платформы; 3) расширение сети автономных устройств для сбора данных; 4) архитектура программного кода построена таким образом, что систему удобно масштабировать и добавлять новый функционал; 5) в систему планируется добавить интерфейс для работы с динамическими моделями производственного процесса, а также новые метеостанции и полевые датчики.

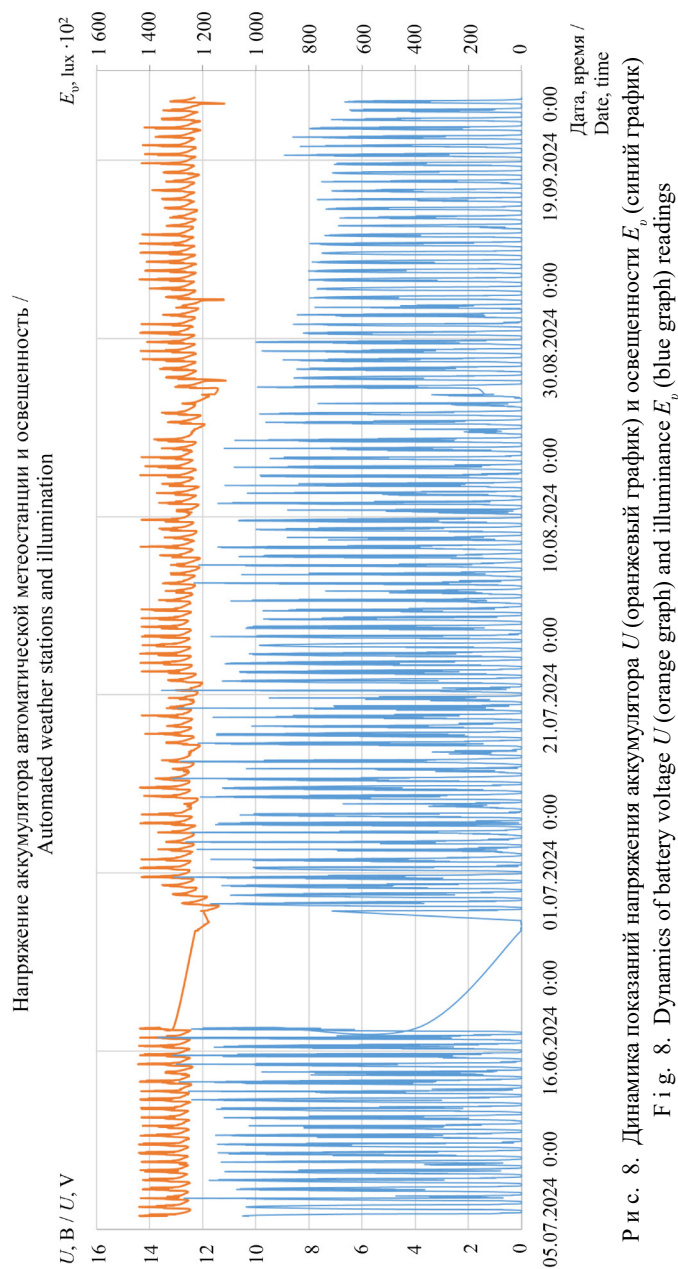
ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция веб-технологий в агропромышленный комплекс является перспективной задачей, которая предоставит исследователям и агрономам современные методы мониторинга состояния окружающей среды. Проведен обзор АМС разных ценовых категорий и рассмотрены веб-сервисы отображения данных.



Р и с. 7. Динамика скорости ветра по данным автоматической метеостанции и открытого источника

Fig. 7. Wind speed dynamics from automated weather station and open source data



Представлен экспериментальный образец бюджетной АМС (IoT АМС), разработанной для получения данных о локальных метеоусловиях в течении вегетационного периода на опытных полях Меньковского филиала АФИ.

Проведен обзор технологий, позволяющих реализовать программный веб-сервер. Разработано и развернуто веб-приложение на аппаратном сервере, представлены ключевые блоки кода с пояснениями, описан алгоритм развертывания веб-сайта в интернете. Разработан фронтэнд веб-приложения для наглядной визуализации данных IoT АМС. Веб-приложение реализовано на языке C# с использованием технологии ASP.NET CORE MVC C# для серверной части и JavaScript с библиотекой графиков для клиентской части.

В 2024 г. с 23 мая за 138 дней работы было получено 5 111 строк (кортежей) записи в удаленную базу данных и 5 484 в локальную. Результаты полевых испытаний IoT АМС и веб-приложения показали высокую производительность системы, минимизацию задержек при негативных условиях внешней среды (сильный дождь, ветер, низкие и высокие температуры), стабильное наполнение базы данных и отображение графиков метеоусловий на сайте. Разработанная IoT АМС, построенная по модульному принципу, с совмещенным метеодатчиком является более компактной и бюджетной в сравнении с готовыми решениями, существующими на рынке. Непрерывный поток информации, открытая аппаратная архитектура обеспечивает автономность системы за счет подзарядки аккумулятора от солнечной батареи и алгоритма режима сна.

Перспективы дальнейшего исследования: 1) разработать приложение для мобильных устройств; 2) дополнить веб-приложение системой уведомлений о возникновении негативных погодных эффектов (сильное повышение температуры, скорости ветра), которая позволит своевременно сообщить пользователю о сложившейся ситуации для корректировки полевых работ; 3) провести градуировку совмещенного датчика в лабораторных условиях для повышения точности показаний, или заменить совмещенный датчик на классические механические датчики с незначительным изменением аппаратной и программной платформы; 4) для работы с динамическими моделями производственного процесса в систему планируется добавить интерфейс и полевые датчики.

При положительных показателях работы в полевых условиях IoT АМС и веб-приложения с увеличением их функционала планируется сборка подобных станций для создания сети мониторинга климатических данных с возможностью их реализации для нужд сельского хозяйства, тем самым спрос на метеоданные сельхозтоваропроизводителей будет удовлетворяться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chamara N., Islam, Md D., Bai G., Shi Ye., Ge Yu. Ag-IoT for Crop and Environment Monitoring: Past, Present, and Future. *Agricultural Systems*. 2022;203:103497. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103497>
2. Adli H.K., Remli M.A., Wan Salihin Wong K.N.S., Ismail N.A., González-Briones A., Corchado J.M., Mohamad M.S. Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review. *Sensors*. 2023;23(7):3752. <https://doi.org/10.3390/s23073752>

3. Quy V.K., Hau N.V., Anh D.V., Quy N.M., Ban N.T., Lanza S., Randazzo G., Muzirafuti A. IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges. *Applied Sciences*. 2022;12(7):3396. <https://doi.org/10.3390/app12073396>
4. Placidi P., Morbidelli R., Fortunati D., Papini N., Gobbi F., Scorzoni A. Monitoring Soil and Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Original Modeling Approach Dedicated to Low-Cost Soil Water Content Sensors. *Sensors*. 2021;21(15):5110. <https://doi.org/10.3390/s21155110>
5. Narayana T.L., Venkatesh C., Kiran A., Babu J.C., Kumar A., Khan S.B., et al. Advances in Real Time Smart Monitoring of Environmental Parameters Using Iot and Sensors. *Heliyon*. 2024;10(7):e28195. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28195>
6. Shahab H., Naeem M., Iqbal M., Aqeel M., Ullah S.S. Iot-Driven Smart Agricultural Technology for Real-Time Soil and Crop Optimization. *Smart Agricultural Technology*. 2025;10:100847. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100847>
7. Chawngsangpuui R. Using IoT for Smart Weather Station. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 2019;6(1):15–19. URL: <https://www.jetir.org/papers/JETIR1901E04.pdf> (дата обращения: 21.09.2024).
8. Dayananda L.P.S.S.K., Narmilan A., Pirapuraj P. An IoT Based Low-Cost Weather Monitoring System For Smart Farming. *Agricultural Science Digest*. 2022;42(4):393–399. <https://doi.org/10.18805/ag.D-370>
9. Desai V., Shevade N., Nigal K., Narkhede M., Sonune T., Londhe T., et al. IoT-Based Smart Weather Station Using ESP32 for Real-Time Environmental Monitoring. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2025;5(1):491–501. <https://doi.org/10.48175/IJARSC-24870>
10. Ali H., Farooque A.A., Abbas F., Yaqub R., Abdalla A., Soora P. An IoT Based Weather Monitoring System for Smart Agriculture. In: IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech) (14–17 April 2024). Portland, OR, USA, 2024:378–382. <https://doi.org/10.1109/SusTech60925.2024.10553425>
11. Morais R., Mendes J., Silva R., Silva N., Sousa J., Peres E. A Versatile, Low-Power and Low-Cost IoT Device for Field Data Gathering in Precision Agriculture Practices. *Agriculture*. 2021;11(7):619. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070619>
12. Duguma A.L., Bai X. How the Internet of Things Technology Improves Agricultural Efficiency. *Artificial Intelligence Review*. 2025;58:63. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11046-0>
13. Miller T., Mikiciuk G., Durlak I., Mikiciuk M., Łobodzińska A., Śnieg M. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now – A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*. 2025;25(12):3583. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
14. Ncube M.M., Ngulube P. Enhancing Environmental Decision-Making: A Systematic Review of Data Analytics Applications in Monitoring and Management. *Discover Sustainability*. 2024;5:290. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00510-0>
15. Ganesan S., Lean C.P., Li C., Yuan K.F., Kiat N.P., Khan M.R.B. IoT-enabled Smart Weather Stations: Innovations, Challenges, and Future Directions. *Malaysian Journal of Science and Advanced Technology*. 2024;4(2):180–190. <https://doi.org/10.56532/mjsat.v4i2.293>
16. Вечерков В.В., Абдураимов С.Р., Дунаева Е.А. Разработка комплексной агрометеостанции, основанной на микроконтроллере Arduino. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2023;(33):105–114. <https://elibrary.ru/nvobpm>
17. Bella H.K.D., Naidu M.S., Digumarti J., Khan M. Developing a Sustainable IoT-Based Smart Weather Station for Real Time Weather Monitoring and Forecasting. In: 15th International Conference on Materials Processing and Characterization, E3S Web of Conferences. 2023:430. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001092>
18. Тихомиров А.А., Корольков В.А., Смирнов С.В., Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Кальчин В.В., и др. Метеорологические наблюдения и их приборное обеспечение в ИМКЭС СО РАН. *Оптика атмосферы и океана*. 2022;35(2):122–131. <https://doi.org/10.15372/AOO20220206>

19. Algarín R.C., Cabarcas C.J., Llanos P.A. Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. *Electronics*. 2017;6(4):71. <https://doi.org/10.3390/electronics6040071>
20. Kushagra S., Shivandu S.K. Integrating Artificial Intelligence and Internet of Things (IoT) for Enhanced Crop Monitoring and Management in Precision Agriculture. *Sensors International*. 2024;5:100292. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>
21. Rathor A.S., Choudhury S., Sharma A., Nautiyal P., Shah G. Empowering Vertical Farming Through IoT and AI-Driven Technologies: A Comprehensive Review. *Heliyon*. 2024;10(15):e34998. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34998>
22. Morchid A., Jebabra R., Ismail A., Khalid H.M., Alami R., Qjidaa H., et al. IoT-Enabled Fire Detection for Sustainable Agriculture: A Real-Time System Using Flask and Embedded Technologies. *Results in Engineering*. 2024;23:102705. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102705>
23. Vilas M.P., Thorburn P.J., Fielke S., Webster T., Mooij M., Biggs J.S., et al. 1622WQ: A Web-Based Application to Increase Farmer Awareness of the Impact of Agriculture on Water Quality. *Environmental Modelling & Software*. 2020;132:104816. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104816>
24. Badenko V., Topaj A., Medvedev S., Zakharova E., Dunaeva I. Estimation of Agro-Landscape Productivity in Regional Scale Using Dynamic Crop Models in a GIS-Environment. *Landscape Modelling and Decision Support*. 2020:545–565. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37421-1_28
25. Медведев С.А., Черяев А.С. Перспективы создания универсального сервиса удаленных ансамблевых расчетов динамических моделей продукционного процесса культурных растений. *Агрофизика*. 2020;(3):45–52. <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.03.07>
26. Blokhin Yu.I., Blokhina S.Yu. Wireless Hybrid Sensor Network for Agriculture Monitoring. In: IX International Scientific Conference on Agricultural Science 2024 “Current State, Problems and Prospects for the Development of Agricultural Science” (AGRICULTURAL SCIENCE 2024). 2024;141:02025. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414102025>

Об авторах:

Блохин Юрий Игоревич, научный сотрудник отдела управления агротехнологиями и агромониторингом Агрофизического научно-исследовательского института (195220, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2863-2734>, Researcher ID: C-6221-2017, Scopus ID: 57210640448, SPIN-код: 3472-9517, blohin3k4@gmail.com

Черяев Александр Сергеевич, студент 1 курса магистратуры по направлению «Веб-технологии» Университета ИТМО (197101, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49А), техник-программист отдела управления агротехнологиями и агромониторингом Агрофизического научно-исследовательского института (195220, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9892-4196>, sasha10131310@gmail.com

Блохина Светлана Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела управления агротехнологиями и агромониторингом Агрофизического научно-исследовательского института (195220, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0173-2380>, Researcher ID: C-3152-2017, Scopus ID: 7003956389, SPIN-код: 4861-6030, syublokhina@gmail.com

Вклад авторов:

Ю. И. Блохин – формулирование идеи исследования, целей и задач; осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение полевых экспериментов, сбор и анализ экспериментальных данных; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений членами исследовательской группы, в том числе на этапах до и после публикации.

А. С. Черяев – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов, сбор и анализ экспериментальных данных; создание и подготовка рукописи: написание черновика рукописи.

С. Ю. Блохина – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов, сбор и анализ экспериментальных данных; создание и подготовка рукописи: написание черновика рукописи, включая его перевод на иностранный язык.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 24.12.2024; поступила после рецензирования 04.02.2025;
принята к публикации 20.02.2025

REFERENCES

1. Chamara N., Islam, Md D., Bai G., Shi Ye., Ge Yu. Ag-IoT for Crop and Environment Monitoring: Past, Present, and Future. *Agricultural Systems*. 2022;203:103497. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103497>
2. Adli H.K., Remli M.A., Wan Salihin Wong K.N.S., Ismail N.A., González-Briones A., Corchado J.M., Mohamad M.S. Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review. *Sensors*. 2023; 23:3752. <https://doi.org/10.3390/s23073752>
3. Quy V.K., Hau N.V., Anh D.V., Quy N.M., Ban N.T., Lanza S., Randazzo G., Muzirafuti A. IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges. *Applied Sciences*. 2022;12(7):3396. <https://doi.org/10.3390/app12073396>
4. Placidi P., Morbidelli R., Fortunati D., Papini N., Gobbi F., Scorzoni A. Monitoring Soil and Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Original Modeling Approach Dedicated to Low-Cost Soil Water Content Sensors. *Sensors*. 2021;21(15):5110. <https://doi.org/10.3390/s21155110>
5. Narayana T.L., Venkatesh C., Kiran A., Babu J C., Kumar A., Khan S.B., et al. Advances in Real Time Smart Monitoring of Environmental Parameters Using Iot and Sensors. *Heliyon*. 2024;10(7):e28195. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28195>
6. Shahab H., Naeem M., Iqbal M., Aqeel M., Ullah S.S. Iot-Driven Smart Agricultural Technology for Real-Time Soil and Crop Optimization. *Smart Agricultural Technology*. 2025;10:100847. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100847>
7. Chawngsangpuii R. Using IoT for Smart Weather Station. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 2019;6(1):15–19. Available at: <https://www.jetir.org/papers/JETIR1901E04.pdf> (accessed 21.09.2024).
8. Dayananda L.P.S.S.K., Narmilan A., Pirapuraj P. An IoT Based Low-Cost Weather Monitoring System For Smart Farming. *Agricultural Science Digest*. 2022;42(4):393–399. <https://doi.org/10.18805/ag.D-370>
9. Desai V., Shevade N., Nigal K., Narkhede M., Sonune T., Londhe T., et al. IoT-Based Smart Weather Station Using ESP32 for Real-Time Environmental Monitoring. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2025;5(1):491–501. <https://doi.org/10.48175/IJARST-24870>
10. Ali H., Farooque A.A., Abbas F., Yaqub R., Abdalla A., Soora P. An IoT Based Weather Monitoring System for Smart Agriculture. In: IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech) (14–17 April 2024). Portland, OR, USA, 2024:378–382. <https://doi.org/10.1109/SusTech60925.2024.10553425>
11. Morais R., Mendes J., Silva R., Silva N., Sousa J., Peres E. A Versatile, Low-Power and Low-Cost IoT Device for Field Data Gathering in Precision Agriculture Practices. *Agriculture*. 2021;11(7):619. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070619>

12. Duguma A.L., Bai X. How the Internet of Things Technology Improves Agricultural Efficiency. *Artificial Intelligence Review*. 2025;58:63. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11046-0>
13. Miller T., Mikiciuk G., Durlík I., Mikiciuk M., Łobodzińska A., Śnieg M. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now – A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*. 2025;25(12):3583. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
14. Ncube M.M., Ngulube P. Enhancing Environmental Decision-Making: A Systematic Review of Data Analytics Applications in Monitoring and Management. *Discover Sustainability*. 2024;5:290. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00510-0>
15. Ganesan S., Lean C.P., Li C., Yuan K.F., Kiat N.P., Khan M.R.B. IoT-enabled Smart Weather Stations: Innovations, Challenges, and Future Directions. *Malaysian Journal of Science and Advanced Technology*. 2024;4(2):180–190. <https://doi.org/10.56532/mjsat.v4i2.293>
16. Veчерkov V.V., Abduraimov S.R., Dunaieva Ie.A. Development of Complex Agrometeorological Station Based on Arduino Microcontroller. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2023;(33):105–114. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/nvobpm>
17. Bella H.K.D., Naidu M.S., Digumarti J., Khan M. Developing a Sustainable IoT-Based Smart Weather Station for Real Time Weather Monitoring and Forecasting. In: 15th International Conference on Materials Processing and Characterization, E3S Web of Conferences. 2023:430. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001092>
18. Tikhomirov A.A., Korolkov V.A., Smirnov S.V., Azbukin A.A., Bogushevich A.Ya., Kalchikhin V.V., et al. Meteorological Observations and Instrumentation at IMCES SB RAS. *Optika Atmosfery i Okeana*. 2022;35(2):122–131. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15372/AOO20220206>
19. Algarín R.C., Cabarcas C.J., Llanos P.A. Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. *Electronics*. 2017;6(4):71. <https://doi.org/10.3390/electronics6040071>
20. Kushagra S., Shivandu S.K. Integrating Artificial Intelligence and Internet of Things (IoT) for Enhanced Crop Monitoring and Management in Precision Agriculture. *Sensors International*. 2024;5:100292. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>
21. Rathor A.S., Choudhury S., Sharma A., Nautiyal P., Shah G. Empowering Vertical Farming Through IoT and AI-Driven Technologies: A Comprehensive Review. *Heliyon*. 2024;10(15):e34998. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34998>
22. Morchid A., Jebabra R., Ismail A., Khalid H.M., Alami R., Qjidaa H., et al. IoT-Enabled Fire Detection for Sustainable Agriculture: A Real-Time System Using Flask and Embedded Technologies. *Results in Engineering*. 2024;23:102705. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102705>
23. Vilas M.P., Thorburn P.J., Fielke S., Webster T., Mooij M., Biggs J.S., et al. 1622WQ: A Web-Based Application to Increase Farmer Awareness of the Impact of Agriculture on Water Quality. *Environmental Modelling & Software*. 2020;132:104816. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104816>
24. Badenko V., Topaj A., Medvedev S., Zakharova E., Dunaeva I. Estimation of Agro-Landscape Productivity in Regional Scale Using Dynamic Crop Models in a GIS-Environment. *Landscape Modelling and Decision Support*. 2020:545–565. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37421-1_28
25. Medvedev S.A., Cherayev A.S. Prospects for Creating Universal Service for Remote Ensemble Calculations of Dynamic Models of Cultivated Plant Production Process. *Agrophysica*. 2020;(3):45–52. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.03.07>
26. Blokhin Yu.I., Blokhina S.Yu. Wireless Hybrid Sensor Network for Agriculture Monitoring. In: IX International Scientific Conference on Agricultural Science 2024 “Current State, Problems and Prospects for the Development of Agricultural Science” (AGRICULTURAL SCIENCE 2024). 2024;141:02025. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414102025>

About the authors:

Yuri I. Blokhin, Researcher of the Department of Agrotechnology and Agromonitoring Management, Agrophysical Research Institute (14 Grazhdansky Ave., 195220 St. Petersburg, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2863-2734>, Researcher ID: C-6221-2017, Scopus ID: 57210640448, SPIN-code: 3472-9517, blohin3k4@gmail.com

Alexander S. Cheryaev, First Course Master's Degree Student of Web-Technology Program of PECT (Program Engineering and Computer Technique) Faculty, ITMO University (49A Kronverkskiy Ave., St. Petersburg 197101, Russian Federation), Technician-Programmer of the Department of Agrotechnology and Agromonitoring Management, Agrophysical Research Institute (14 Grazhdansky Ave., 195220 St. Petersburg, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9892-4196>, sasha10131310@gmail.com

Svetlana Yu. Blokhina, Cand.Sci. (Biol.), Senior Researcher of the Department of Agrotechnology and Agromonitoring Management, Agrophysical Research Institute (14 Grazhdansky Ave., 195220 St. Petersburg, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0173-2380>, Researcher ID: C-3152-2017, Scopus ID: 7003956389, SPIN-code: 4861-6030, syublokhina@gmail.com

Authors contribution:

Yu. I. Blokhin – formulating the study idea, aims and objectives; conducting the study process, specifically performing the field experiments, collecting and analyzing experimental data; preparing the article manuscript: critical analysis of the manuscript, comments and corrections made by the members of the research group during the pre-publication and post-publication stages.

A. S. Cheryaev – conducting the study, specifically performing the field experiments, collecting and analyzing experimental data; preparing the article manuscript specifically writing the initial manuscript version.

S. Yu. Blokhina – conducting the study, specifically performing the field experiments, collecting and analyzing experimental data; preparing the manuscript, specifically writing the initial manuscript version (including its translation into the English language).

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 24.12.2024; revised 04.02.2025; accepted 20.02.2025