

УДК 004.451.25

## УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ В ТЕПЛИЦЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Папуловская Наталья Владимировна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем управления, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Харисов Азамат Робертович, кандидат технических наук, доцент департамента информационных технологий и автоматике, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Шаравьев Данил Олегович, магистрант, департамент информационных технологий и автоматике, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

### Аннотация

*Работа посвящена анализу аналогов системы интернета вещей, генерирующей звуковые волны с целью улучшения микроклимата в теплице. Рассматриваются преимущества использования средних и высоких частот слышимого звука диапазоном от 100 Гц до 8кГц для стимуляции физиологических процессов растений, таких как фотосинтез и клеточное деление. Описаны существующие разработки, включая устройства для преобразования биоэлектрических сигналов растений в звуковые сигналы, их текущие ограничения и перспективы. Отмечено отсутствие устройства, которое бы не только использовало электропроводимость растений для создания музыки, но и управляло их микроклиматом. Предложен новый подход, основанный на интеграции звукового воздействия на растения с системами автоматизированного управления микроклиматом теплицы.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Интернет вещей, звуковые волны, микроклимат, биоэлектрические сигналы, умная агропромышленность, автоматизация.

## MICROCLIMATE MANAGEMENT IN GREENHOUSES USING SOUND WAVES

Papulovskaya Nataliya Vladimirovna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control Systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Kharisov Azamat Robertovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technology and Automation, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Sharaviev Danil Olegovich, Master's Degree Student, Department of Information Technology and Automation, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

### Abstract

*The article focuses on the analysis of analogues of the Internet of Things system that generates sound waves to improve the microclimate in a greenhouse. Considered the advantages of using medium and high frequencies of audible sound in the range from 100 Hz to 8 kHz to stimulate plant physiological processes such as photosynthesis and cell division. Described the existing developments, including devices for converting bioelectric plant signals into sound signals, their current limitations, and prospects. Noted absence of ready-made device that would not only use the electrical conductivity of plants to create music, but also control their microclimate. Proposed a new approach based on the integration of sound effects on plants with automated greenhouse climate control systems.*

**KEYWORDS:** Internet of Things, sound waves, microclimate, bioelectric signals, smart agriculture, automation.

### 1. Введение

Первые шаги в автоматизации агропромышленности были связаны с разработкой механических устройств и внедрением систем управления водоснабжением, обусловленные Первой промышленной революцией и необходимостью повышения эффективности обработки полей [3,8]. Однако значительный прогресс в развитии информационных технологиях и цифровых платформ сделали возможным появление интегрированных решений, способных собирать, анализировать и использовать данные в реальном времени, а также сделали эту область приоритетом проектов по развитию агрокультуры в будущем [2].

Современные проблемы агропромышленности, такие как повышение производительности, устойчивость к изменению климата и минимизация использования природных ресурсов, стимулируют активное внедрение инновационных технологий в агрокультуру. Одним из наиболее значимых направлений стало применение автоматизированных систем управления, которые формируют основу так называемого «умного сельского хозяйства». Эти системы базируются на концепции Интернета вещей, позволяющей интегрировать датчики, исполнительные устройства и аналитическое программное обеспечение в единую сеть для эффективного мониторинга и управления агропромышленными процессами [7].

Процессы цифровизации охватывают не только крупные агропромышленные комплексы, но и более мелкие и специализированные объекты, такие как ботанические сады и частные хозяйства, занимающиеся культивированием растений для рекреационных целей или личного потребления. Среди таких решений можно отметить технологии с использованием компьютерного зрения для идентификации видов растений и диагностики их состояния [Осотин С., 2023г.], а также системы, предназначенные для озеленения интерьеров и улучшения качества воздуха в помещениях, такие как «живые стены» [6].

С развитием цифровых технологий, благодаря более совершенным системам логирования изменения данных, человек получил возможность более точного анализа процессов, проходящих внутри теплицы, отражающим не только особенности окружающей среды, но и внутренние биологические процессы растений в заданных условиях. Данный подход к сбору данных открывает путь для дальнейшего выявления скрытых возможностей повышения эффективности выращивания растений, которые раньше были недоступны без доказательной базы исследований или подтвержденных данных.

В частности, акустическое восприятие и коммуникация в некотором смысле представляют собой последний рубеж исследований. То, как растения распознают звук, не было подробно изучено из-за отсутствия у растений органа, предназначенного для

распознавания колебаний воздуха, [Junj J. et al, 2018г.] такого как барабанные перепонки у человека [15]. Недавние исследования [Gagliano M., 2012г.] были направлены на изучение реакции растений на звуковые волны [12]. Это направление может привести к созданию инновационных решений для повышения урожайности, устойчивости к стрессам и улучшения качества сельскохозяйственной продукции.

Целью работы является обзор существующих автоматизированных систем для поддержания благоприятной среды выращивания растений и анализ возможности разработки системы управления микроклиматом растений в теплице, основанной на использовании звуковых волн.

## 2. Исследования влияния звуковых волн на рост растений

Стремление к более эффективному выращиванию привело к множеству исследований, связанных с факторами влияющих на «качество жизни» растения. Одним из таких факторов является использование звуковых волн, в том числе гармонических, для повышения эффективности роста и развития растений.

Эффект влияния музыки на растения исследуется уже несколько десятилетий. Согласно ряду научных работ, звуковые волны определенных частот могут влиять на процессы фотосинтеза, поглощение питательных веществ и рост растительных тканей. Например, исследования [Xiujuan W. et al, 2003г.] по влиянию звуковой волны на синтез нуклеиновых кислот и белков в хризантеме, проведенные университетом Чунцина (Китай) и университетом Гумма (Япония) показали, что низкочастотные звуки (100–500 Гц) способны стимулировать деление клеток и активировать ферментативную активность, тогда как высокочастотные звуки (>1000 Гц) могут снижать стресс растений, вызванный внешними факторами [20]. Однако в исследовании Китайского сельскохозяйственного университета [Hassanien R. H. E. et al, 2014г.] присутствовала и обратная сторона данного явления, при которой, при превышении порога в 4кГц или 111 дБ, рост посаженных семян риса был заторможен [13].

Изучалось влияние гармонических колебаний на цветочные растения. В исследовании Эмам Хассаниена [Hassanien R. H. E., LI B. M., 2020г.] описано, что воздействие музыки заметно ускорило цветение растения *Fragaria ananassa* (земляники) [14]. Результаты этого исследования показали также, что растения по-разному реагируют на звуковые волны на разных стадиях роста. Частота звука может ускорить темпы цветения в короткие сроки. И напротив, воздействие звука на растения более 3 часов в день в течение длительного времени, более 40 дней, может замедлить рост.

В исследовании Фери Арлиуса [Arlius F. et al., 2021г.] применял аудио систему Sonic bloom с переменной частотой и временем и обнаружил, что высокочастотные звуковые волны, наряду с питанием, стимулируют открытие устьиц у растений *Brassica juncea* L. (горчица сарептская) [9]. Однако через 3 часа воздействия наблюдалось заметное снижение роста растений, особенно заметное при обработке с максимальной частотой 5000 Гц. Звуковые колебания способны расширять отверстие устьиц, способствуя большему поглощению воды и CO<sub>2</sub>, тем самым оптимизируя процесс фотосинтеза. Следовательно, такая оптимизация может способствовать росту растений.

Флавоноиды и изофлавоноиды считаются вторичными метаболитами, обладающими антиоксидантными, иммуномодулирующими, противовирусными, противоопухолевыми и омолаживающими свойствами. Благодаря содержанию этих флавоноидов улучшается качество овощей и зелени. В ходе исследования, опубликованном в журнале «Journal of the Science of Food and Agriculture» [Kim J. Y. et al., 2020г.], было обнаружено, что воздействие различных частот звука увеличивает содержание флавоноидов в *Medicago sativa* (Люцерна посевная), *Brassica oleracea* (Капуста огородная) и *Raphanus sativus* (редис) [16]. Суспензионные культуры клеток *Genista tinctoria* (дрок красильный) значительно увеличивали содержание генистина после воздействия ультразвуком (35 кГц) согласно исследованию [Tůmová L., 2014г.] [19]. А также, недавно исследователи в Иране провели исследование [Azgomi S. et al., 2023г.], изучающее влияние музыки и шума на вкус растений [10]. Они обнаружили, что все виды акустической обработки способствуют прорастанию, росту и накоплению биомассы. Кроме того, эти обработки повышали активность фермента фенилаланин-аммиаклиазы (PAL) и повышали общую концентрацию фенолов, отвечающих за запах растения.

Таким образом, из представленных исследований можно сделать вывод, что звуковые волны, включая музыкальные гармонические колебания, оказывают значительное влияние на рост и развитие растений. Низкочастотные звуки (100–500 Гц) стимулируют деление клеток, фотосинтез и ферментативную активность, тогда как высокочастотные звуки (>1000 Гц) снижают стресс растений, вызванный внешними факторами. Однако чрезмерное воздействие звуков (свыше 4 кГц или более 3 часов в день) может замедлять рост. Музыкальные и акустические колебания ускоряют цветение, увеличивают содержание флавоноидов и других полезных веществ, что улучшает вкусовые и питательные свойства растений. Эти эффекты зависят от длительности воздействия и стадии роста, что открывает перспективы для оптимизации условий выращивания с использованием звуков.

### 3. Измеряемые характеристики, влияющие на биологические процессы

Растения способны реагировать, изменяя свои физические характеристики, на внешние стимулы, такие как вибрации, электрические сигналы. Эти изменения могут быть зарегистрированы с использованием специализированных записывающих устройств, что открывает возможности для мониторинга их состояния и взаимодействия с окружающей средой.

Авторы статьи исследований биоэлектрических сигналов в растениях [Барышева Н. Н., 2018г.] утверждают, что главным свойством, отвечающим за жизнедеятельность растения, которое мы можем измерить, является генерация им биоэлектрических импульсов, которые происходят не только при его повреждении, но и слабых изменениях в окружающей среде, которые могут наблюдаться в естественных природных условиях [1]. Генерация импульсов от растений была подтверждена экспериментальными исследованиями [Медведев С. С., 1998г.], [Оприлов П. и др., 1991г.] [4-5]. Также в одном из исследований университета Тель-Авива [Khait I. et al., 2023г.] было выявлено, что корни растений могут передавать «кликающий» звук, передающийся по воздуху, которые можно зарегистрировать даже в условиях неизолированной теплицы [17].

Система управления микроклиматом в теплице может учитывать данные, состоящие из измеримых характеристик микроклимата, не только используя сложные алгоритмы и технологии, но и регистрируя базовые параметры окружающей среды, которые напрямую влияют на рост и развитие растений, и соответственно управлять ими. К таким параметрам относятся:

1. Параметры почвы: влажность, уровень содержания питательных веществ, кислотность, плотность и структура. Эти показатели критически важны для обеспечения оптимального водного и питательного баланса растений.

2. Параметры воздуха: влажность, температура, концентрация углекислого газа и кислорода, скорость циркуляции воздуха. Эти факторы определяют эффективность фотосинтеза, транспирации и общего состояния растений.

Регулярный мониторинг параметров, влияющих на жизнедеятельность растения позволит точно определить текущие потребности растения и адаптировать условия его выращивания. Использование автоматизированных систем, оснащенных датчиками и аналитическими инструментами, будет способствовать созданию оптимальной среды, что повысит эффективность роста и развития растений на каждом этапе их жизненного цикла.

#### **4. Аналоги систем, генерирующих звуковые волны на основе жизнедеятельности растений**

На данный момент аналоги системы управления микроклиматом теплицы и генерирования звуковых волн можно рассматривать как две независимые подсистемы, так как на рынке нет готовой системы, выполняющей обе цели: подсистема управления окружающей средой имеет функционал, который отвечает за поддержание жизнедеятельности организма растения (полив, внесение удобрений, проветривание, освещение и т. п.) и подсистема генерации гармонических колебаний на основании показателей жизнедеятельности организма.

Рассматривая подсистему управления окружающей средой в теплице, можно отметить отсутствие на рынке универсального готового продукта, предназначенного для массового использования. Большинство участников рынка представлены либо поставщиками модульных решений («конструкторов»), позволяющих создавать индивидуализированные системы, либо интеграторами, занимающимися проектированием и внедрением подобных решений. Причина отсутствия простого решения в сложности разработки универсального продукта, работающего «из коробки». Индивидуальные системы отличаются не только методами сбора данных, но и спецификой использования технологий, таких как машинное зрение, для анализа и принятия решений. Поэтому, создание продукта, способного легко адаптироваться под широкий спектр требований и условий, представляется затруднительным и малопривлекательным для поставщиков.

Что касается подсистемы генерации музыкального сопровождения – уже существуют системы и продукты доступные для приобретения. Из них можно выделить:

– PlantWave от компании Data Garden – устройство, базированное на мини-компьютере raspberry pi, обнаруживает незначительные электрические колебания в растении с помощью двух TENS электродов, размещенных на листьях. Эти колебания отображаются в виде волн, которые преобразуются в звуковые сигналы, воспроизводимые на музыкальных инструментах. Это устройство измеряет изменения электропроводимости между двумя точками на растении, которое меняется по мере того, как растения осуществляют фотосинтез и перемещают хлоропласты. Эти изменения визуализируются на графике в течение некоторого времени. Затем эти значения преобразуются в высоту звука, создавая звуковую волну. Данные о частоте передаются на модульный синтезатор, согласно технологическому обзору [Espana Keller J., 2024г.] [11]. Каждая услышанная нота отражает изменения, происходящие в растении в данный момент времени;

– Модуль SCION от Instruo – устройство, направленное уже на более профессиональную аудиторию музыкантов, является модулем системы Eurorack для «генерирования четырехфазного случайного напряжения», которое пользователь может вывести на цифровую звуковую рабочую станцию (DAW) [11]. Основанный на исходном коде MIDISprout от Cusumano, Scion предоставляет функции, которые упрощают его использование в существующем модульном синтезаторе (Eurorack), включая четыре выхода CV (управляющего напряжения), аттенюаторы, вентильные выходы, регуляторы скольжения, встроенный квантователь и регулятор чувствительности. Сбор данных происходит по аналогии с PlantWave с помощью TENS электродов;

– Bamboo M от Music of the Plants – устройство представляет собой легкую бамбуковую коробку размером со смартфон. Сбор данных происходит с помощью электрода, он состоит из небольшого зажима и большого штыря заземления, которые подключаются к устройству. Один датчик прикрепляется к листу растения, а другой размещается в почве рядом с корнями. Как и PlantWave, эти датчики улавливают изменения электропроводимости между двумя точками, но в этом случае пытаются «использовать» все растение. Согласно технологическому обзору [Miller P. V., 2024г.], он включает в себя встроенный синтезатор и собственный внутренний динамик [18]. В дополнение к созданию электронной музыки из растений прямо из коробки, устройство может отправлять MIDI-данные на цифровую звуковую рабочую станцию (DAW) для дальнейшей обработки.

Все широко используемые активные методы сбора электрических сигналов от растений с помощью TENS электродов имеют одну общую черту: они измеряют электрическое сопротивление. Важно понимать, что эти данные не обязательно представляют собой электрические сигналы, генерируемые самим растением, а скорее отражают более или менее точное измерение содержания воды в листьях в определенный момент их ежедневного «дыхательного» цикла. Естественные биоэлектрические сигналы, которые изучает большинство биологов, могут влиять на частоту дыхания, но электроды TENS не могут измерять их напрямую.

## **5. Автоматизация микроклиматических условий теплицы**

Реализация системы управления микроклиматом теплицы с использованием звуковых волн требует интеграции технологий мониторинга и управления, а также учета особенностей воздействия акустических частот на растения. Основой такой системы может стать сочетание датчиков для измерения параметров окружающей среды и устройств для генерации звука.

Систему также можно интегрировать с другими механизмами контроля микроклимата, включая регулирование температуры, освещения и полива, для создания комплексного подхода к улучшению условий выращивания. В качестве обратной связи возможно использовать данные о росте биомассы, дневном сжатии, ночном росте, скорости сокотечения, температуры растения, содержании в нем углекислого газа и т. п., что позволит оценивать эффективность звукового воздействия и корректировать параметры системы в режиме реального времени.

Система должна быть оборудована датчиками, измеряющими ключевые параметры микроклимата, такие как температура, влажность, уровень освещенности, концентрация углекислого газа и параметры состояния самих растений, включая скорость их роста, фотосинтетическую активность и состояние устьиц. Эти данные помогут отслеживать состояние микроклимата и динамику изменений в ответ на звуковое воздействие, а также для фактического подтверждения изменений растения с контрольным примером, на которое звуковыми волнами воздействовать не будут.

Генерация звуковых волн будет осуществляться с помощью направленных акустических излучателей, позволяющих управлять частотой, интенсивностью и длительностью воздействия. Звуковые волны низкой частоты, например в диапазоне 100–500 Гц, можно применять для стимуляции роста и ферментативной активности растений. Высокочастотные колебания свыше 1000 Гц используются для снижения стресса, вызванного неблагоприятными внешними условиями. Генераторы звука можно адаптировать к различным фазам роста растения, обеспечивая индивидуальный подход к их потребностям.

Одной из **ключевых задач** является **создание алгоритмов управления**, которые на основе данных датчиков определяют оптимальные параметры звукового воздействия. Например, при снижении скорости фотосинтеза система может автоматически увеличивать интенсивность звуковых волн, стимулирующих этот процесс. Для долгосрочной работы системы **важно учитывать влияние длительности звукового воздействия** и избегать превышения допустимых порогов частот и громкости, чтобы избежать угнетения роста растений.

## 6. Заключение

Автоматизация и цифровизация агропромышленности открывают новые возможности для повышения эффективности и устойчивости выращивания растений. Применение Интернета вещей в этой области позволяет объединять данные о микроклимате, почве, воздухе и физиологическом состоянии растений для создания оптимальных условий их роста. Одной

из уникальных реализаций этой концепции может стать система, которая использует музыкальную стимуляцию растений в дополнение к традиционным методам управления микроклиматом. Исследования подтверждают, что звуковые волны способны положительно влиять на физиологические процессы растений, такие как фотосинтез, клеточное деление и устойчивость к стрессовым факторам.

Анализ существующих решений, показывает, что рынок подобных технологий пока находится на стадии формирования. Большинство систем представляют собой кастомные продукты или устройства, ориентированные на узкую аудиторию. Однако высокая заинтересованность в таких разработках, подкреплённая ростом рынка Интернета вещей в агрокультуре, свидетельствует о перспективах масштабирования подобных систем и их внедрения в широкую практику. Согласно проведенному исследованию [MarketsAndMarkets, 2021г.] рынок агрокультурного Интернета вещей должен вырасти на 9,8% в период с 2021 до 2026 годов [21].

Направление, сочетающее автоматизацию, биологическую науку и творческое взаимодействие человека с природой имеет значительный потенциал для дальнейшего развития как в научной, так и в коммерческой сфере.

### Литература

1. Барышева Н. Н., Пронин С. П. Обзор результатов исследования биоэлектрических сигналов в растениях // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-rezultatov-issledovaniya-bioelektricheskikh-signalov-v-rastenyah> (дата обращения: 09.12.2024).
2. Варич, М. И., Давлетшин, Р. Р. Цифровизация сельского хозяйства в рамках проекта развития сельского хозяйства в Российской Федерации до 2025 года // Молодой ученый. – 2020. – № 2 (292). – С. 354-357. – URL: <https://moluch.ru/archive/292/66225/> (дата обращения: 07.12.2024).
3. Красюк, Д. А. Автоматизация сельского хозяйства: технические и экономические аспекты совершенствования эффективности отрасли // Молодой ученый. – 2021. – № 31 (373). – С. 38-40. – URL: <https://moluch.ru/archive/373/83430/> (дата обращения: 07.12.2024).
4. Медведев С. С. Электрофизиология растений. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. (дата обращения: 09.12.2024).
5. Оприлов П. и др. Биоэлектrogenез у высших растений. – Наука, 1991. (дата обращения: 09.12.2024).

6. Осотин С. Как ИИ и компьютерное зрение могут следить за растениями. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://hightech.fm/2023/09/21/ai-plant-care> (дата обращения: 09.12.2024).
7. Эльдиева Т. М. Направления использования умных инноваций в сельском хозяйстве // МСХ. – 2018. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-ispolzovaniya-umnyh-innovatsiy-v-selskom-hozyaystve> (дата обращения: 07.12.2024).
8. История развития автоматизированных систем управления // Образовательный портал, справочник Studentu24.ru. – URL: <https://studentu24.ru/list/handbooks/istoriya-razvitiya-avtomatizirovannykh-sistem-upravleniya---2033> (дата обращения: 07.12.2024).
9. Arlius F. et al. Effect of acoustic waves on the growth and productivity of sawi plants (*Brassica Juncea L.*) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 757. – No. 1. – P. 012021 (дата обращения: 07.12.2024).
10. Azgomi S. et al. The importance of sound rhythm: music and noise elicit different biological responses in *Satureja hortensis L.* // Theoretical and Experimental Plant Physiology. – 2023. – Т. 35. – №. 3. – С. 215-232.
11. España Keller J. Entering Into a Sonic Intra-Active Quantum Relation with Plant Life // Open Cultural Studies. – 2024. – Vol. 8. – No. 1. – P. 20240012 (дата обращения: 10.12.2024).
12. Gagliano M., Mancuso S., Robert D. Towards understanding plant bioacoustics // Trends in Plant Science. – 2012. – Vol. 17. – No. 6. – P. 323-325 (дата обращения: 09.12.2024).
13. Hassanien R. H. E. et al. Advances in effects of sound waves on plants // Journal of Integrative Agriculture. – 2014. – Vol. 13. – No. 2. – P. 335-348. (дата обращения: 07.12.2024).
14. Hassanien R. H. E., LI B. M. Dual effect of audible sound technology on the growth and endogenous hormones of strawberry // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. – 2020. – Vol. 22. – No. 3. – P. 262-273 (дата обращения: 07.12.2024).
15. Jung J. et al. Beyond chemical triggers: evidence for sound-evoked physiological reactions in plants // Frontiers in Plant Science. – 2018. – Vol. 9. – P. 25 (дата обращения: 09.12.2024).
16. Kim J. Y. et al. Sound waves affect the total flavonoid contents in *Medicago sativa*, *Brassica oleracea* and *Raphanus sativus* sprouts // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2020. – Vol. 100. – No. 1. – P. 431-440.
17. Khait I. et al. Sounds emitted by plants under stress are airborne and informative // Cell. – 2023. – Vol. 186. – No. 7. – P. 1328-1336.e10 (дата обращения: 09.12.2024).
18. Miller P. V., Cox C. Music from Plant Biosignals: A Conceptual and Analytical Orientation // Music Theory Online. – 2024. – Vol. 30. – No. 1 (дата обращения: 10.12.2024).

19. Tůmová L., Tůma J., Hendrychová H. Effect of ultrasound on the isoflavonoid production in *Genista tinctoria* L. suspension cultures // *Pharmacognosy Magazine*. – 2014. – Vol. 10. – Suppl 2. – P. S425.
20. Xiujuan W. et al. Effect of sound wave on the synthesis of nucleic acid and protein in *chrysanthemum* // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2003. – Vol. 29. – No. 2-3. – P. 99-102 (дата обращения: 07.12.2024).
21. Agriculture IoT Market by Hardware, Application (Precision Farming, Precision Forestry, Precision Livestock, Precision Aquaculture, Smart Greenhouse), Farm Size, Production Stage, and Geography. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-in-agriculture-market-199564903.html> (дата обращения: 09.12.2024).