

Технология интернет вещей и перспективы ее внедрения в растениеводстве

В.М. Грачев¹, Н.В. Грачева²

¹*Волгоградский государственный аграрный университет*

²*Волгоградский государственный технический университет*

Аннотация: В работе представлен анализ трех уровней структуры технологии интернета вещей (уровня устройств, уровня сети и уровня применения) с позиции компонентов и выполняемых ими функций. Рассмотрены вопросы перспективы и проблем внедрения технологии интернета вещей в растениеводство. Показано, что ограничивающим фактором развития интернета вещей в растениеводстве является необходимость установки значительного количества разнородных датчиков, отсутствие интернета и мобильной связи на отдаленных участках, а также в некоторых случаях сложность организации эффективной передачи данных от датчиков на платформы для хранения, обработки и анализа, или команд в обратном направлении на актуаторы. Эффективное внедрение технологии интернета вещей в растениеводстве возможно при использовании беспилотных летательных аппаратов в качестве IoT-устройства и технологий коммуникации.

Ключевые слова: интернет вещей, структура, информационная система управления, беспилотный летательный объект, растениеводство

Растениеводство в настоящее время сталкивается с такими проблемами, как снижение качества почвы, несвоевременное выявление сорняков, вредителей, заболеваний выращиваемых культур, нерациональное использование удобрений, пестицидов, водных ресурсов. Это обуславливает повышение затрат производства из-за перерасхода ресурсов (удобрений, пестицидов, воды) и недополучение урожая из-за принятия неэффективных решений в условиях ограниченной информации. Сложившаяся ситуация вызывает необходимость внедрения инновационных интеллектуальных решений при выращивании сельскохозяйственных культур.

Технологии интернета вещей (IoT) имеют большой потенциал для решения вышеуказанных проблем [1 – 3]. Они позволяют в режиме реального времени осуществлять мониторинг природно-климатических условий почвы, состояния выращиваемых культур, появления сорных растений и вредителей на полях, автоматически обрабатывать полученную

информацию и анализировать ее [1, 4, 5]. Это приводит к рациональному использованию ресурсов и своевременному принятию обоснованных решений, уменьшая неопределённости и повышая эффективность производства. Однако до настоящего времени эти технологии не получили широкого распространения даже в странах с высоким уровнем развития информационно-коммуникационных технологий [1].

Цель работы состоит в том, чтобы выявить факторы, ограничивающие развитие Интернета вещей в растениеводстве, и определить пути решения выявленных проблем.

Структуру IoT обычно описывают тремя основными уровнями: уровнем устройств (датчиков и исполнительных механизмов: актуаторов, уровнем сети и уровнем применения [1, 2].

Уровень устройств IoT включает встроенные системы, датчики и/ или исполнительные механизмы (рис. 1).

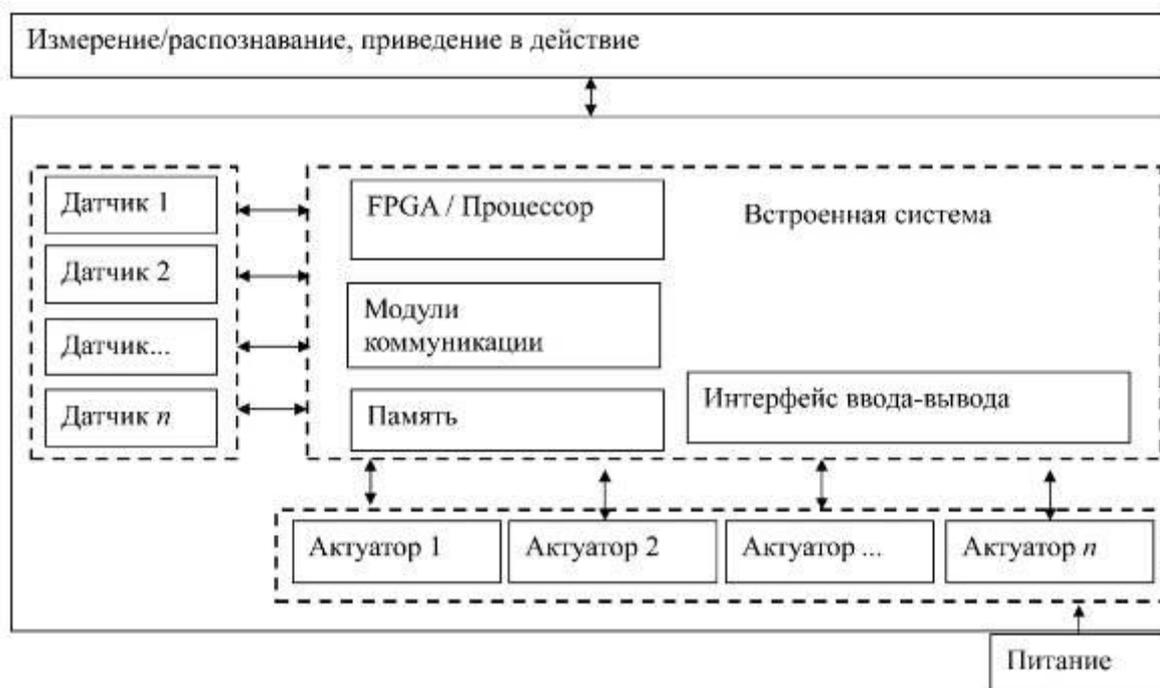


Рис. 1. – Структура IoT-устройств по [1]

Встроенная система состоит из полевых программируемых вентиляционных матриц или микропроцессора, модулей связи, памяти и интерфейсов ввода-

вывода, требующих питания [2]. Датчики используются для мониторинга и измерения различных переменных и факторов, влияющих на производство. Исполнительные устройства используются для изменения состояния управляемых объектов.

Существуют ключевые характеристики устройств Интернета вещей, которые делают их пригодными для использования: энергоэффективность, память, вычислительная эффективность, мобильность, долговечность, охват, надежность и стоимость [2]. В большинстве случаев IoT-устройства проектируют с учетом компактности конструктива, простоты монтажа устройства и обеспечения максимальной продолжительности времени автономной работы. Обеспечение максимальной продолжительности времени автономной работы является одним из факторов, определяющих эффективность работы системы IoT в целом.

Уровень сетевого взаимодействия осуществляет передачу полученных IoT-устройствами данных сначала на промежуточную платформу, а потом в Интернет (облако) (рис. 2).



Рис. 2. – Структура сетевого уровня IoT по [1]

Промежуточная платформа — это интернет-шлюз, который соединяет устройства IoT, датчики, приводы, и облако [1]. Передача на промежуточную платформу осуществляется посредством межсетевого интерфейса с использованием технологий беспроводной связи ближнего и дальнего

радиуса действия. Технологии ближнего радиуса действия охватывают расстояния в пределах 100 метров и представлены технологией ближней бесконтактной связи (NFC), беспроводными сенсорными сетями (БСС) с ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, системами пассивной и активной радиочастотной идентификации (RFID). Сети дальней связи, к которым относятся LoRa, Sigfox, NB-IoT, могут охватывать расстояния до 10 тысяч километров и описываются как «low power wide area (LPWA)» (низкая мощность широкая площадь) [2]. Беспроводные сенсорные сети формируют сенсорные узлы, включающие датчики и актуаторы, обменивающиеся данными и образующими пространственную сеть (рис. 1). При этом использование той или иной технологии беспроводной связи определяется исходя из цели БСС с учетом необходимой «архитектуры сенсорного узла, скорости передачи данных, диапазоном и стандартом» [1]. В сельском хозяйстве наиболее часто используют такие беспроводные сенсорные сети, как Bluetooth/BLE, ZigBee, LoRa, WiFi и SigFox [1, 6].

На уровне применения IoT помощью интерфейсов прикладного программирования (API) и (или) программных приложений пользовательского интерфейса обеспечивается доступ к данным, а также хранение и анализ информации (рис. 3) [1].



Рис. 3. – Структура уровня применения IoT по [1]

Информация в базах данных в зависимости от приложения и архитектуры может храниться, как на локальном уровне, так и в облаке. Анализ данных может выполняться с использованием облачных или распределенных

граничных и туманных вычислений. Облачные вычисления включают в себя управление пользовательским интерфейсом, сервисами, организацию и координацию сетевых узлов, вычисление и обработку данных [2].

Для обеспечения связи разнородных систем и устройств через Интернет разрабатывается промежуточное программное обеспечение IoT и протоколы подключения. Примерами промежуточного программного обеспечения IoT является сервис ориентированная архитектура (SOA), облачное промежуточное программное обеспечение IoT и др. [2]. При пограничных или туманных вычислениях устройства IoT и шлюзы выполняют вычисления и анализ с целью уменьшения задержек для критически важных приложений, снижения затрат и повышения качества обслуживания [2].

Уровень применения IoT также может включать участвующие в обработке облачных данных промежуточные платформы. Примерами промежуточных платформ являются «HYDRA, UBIWARE, UBIROAD, UBIDOTS, SMEPP, SIXTH, ThinkSpeak, SensorCloud, Amazon IoT и IBM IoT с акцентом на контекстно-зависимую функциональность; Aneka, WSO₂, PubNub, SmartFarmNet и FIWARE» [1].

Сложные связи между разнородными устройствами, коммуникациями и сетями IoT упрощают с помощью API-интерфейсов. API-интерфейсы обеспечивают совместимость платформ и IoT устройств, а также передачу информации между ними. Через API «данные становятся доступными для таких приложений IoT сельского хозяйства, как мониторинг, управление событиями, прогнозирование или оптимизация деятельности» [1]. В настоящее время уже используются некоторые информационные системы управления сельским хозяйством (таблица 1) [2].

Эти платформы обеспечивают хранение данных, управление данными и аналитику данных. Однако, до настоящего времени технологии IoT

используются в сельском хозяйстве ограниченно даже в странах с высоким уровнем внедрения информационно-коммуникационных технологий. Например, в Дании в 2016 г. только 2-5 % фермеров работали с использованием технологий IoT [1]. Это обусловлено рядом объективных факторов, усложняющих процесс внедрения IoT в растениеводство.

Таблица № 1

Информационные системы управления сельским хозяйством [2]

IoT решения	Услуги
OnFarm	Отображает и анализирует данные из множества различных источников
Phytech	Предоставляет платформу Plant IoT для прямого зондирования, анализа данных, состояния растений и выработке рекомендаций
Semios	Основное внимание уделяется сетевому покрытию, вредителям, заморозкам, болезням и орошению садов.
EZfarm	Проект IBM фокусируется на управлении водными ресурсами, мониторинге почвы и здоровья растений.
КАА	Обеспечивает удаленный мониторинг урожая, картографирование ресурсов, прогнозную аналитику урожая статистику по продукции, интеллектуальную логистику и складирование
MbeguChoice	Помогает фермерам получить доступ к лучшим семенам от различных поставщиков
Farmlogs	Обеспечивает автоматическую регистрацию активности и получение изображений состояния урожая
Сторх	Предоставляет программные услуги адаптивного орошения, которые обеспечивают повышение урожайности сельскохозяйственных культур, экономию воды и энергии.

Во-первых, поля характеризуются значительной внутриполевой изменчивостью, как в пространстве, так и во времени. Это определяет необходимость установки в достаточном количестве IoT-устройств на полях. Кроме того, зависимость технологического процесса производства сельскохозяйственных культур от большого количества факторов обуславливает необходимость установки большого количества разнородных датчиков. Все они требуют своевременного обслуживания и обеспечения

бесперебойного питания, что в отдельные периоды в связи с погодными условиями организовать достаточно сложно.

Во-вторых, поля обычно располагаются на значительном удалении от развитой инфраструктуры (отсутствует интернет, мобильная связь), что вызывает определенные трудности, а, в некоторых случаях, невозможность организации эффективной передачи данных от датчиков на платформы для хранения, обработки и анализа, или команд в обратном направлении на актуаторы. Это ставит под угрозу функционирования IoT в принципе.

Анализ инноваций в области растениеводства показал, что беспилотные летательные аппараты (БПЛА) могут стать хорошей альтернативой стационарным IoT-устройствам [7 – 9]. Достоинством БПЛА является оперативность и качество получаемых данных при относительно низких затратах [10, 11]. Это обусловлено высокой разрешающей способностью используемой на БПЛА съемочной аппаратуры и возможностью съемки объектов на небольших высотах. БПЛА работает полностью в автоматическом режиме, производит съемку на запрограммированных точках по GPS координатам, приземляется в точку взлета.

Использование БПЛА позволяет решать в растениеводстве задачи, связанные с сопровождением технологических процессов в точном земледелии:

- определение потребности выращиваемых культур в воде и минеральных элементах,
 - проведение контролируемого орошения и внесения удобрений,
 - обнаружение очагов заражения болезнями и вредителями и выявление гибели растений,
 - определение объема необходимых средств защиты растений, осуществление контроля и оценки эффективности их внесения.
-

Кроме того, с помощью БПЛА возможно составления контура посевных площадей, осуществление мониторинга мелиоративных систем, всхожести посевов, проведение обработки посевов инсектицидами/ гербицидами и др. [10].

БПЛА способны выполнять следующие операции:

- детальную аэрофотосъемку;
- видеосъемку высокого качества;
- мульти- и гиперспектральную съемку для расчета вегетационных индексов с целью построения карт, с помощью которых оценивают такие показатели развития растений, как объем и прирост биомассы, содержание хлорофилла в листьях растений и др. [7];
- тепловизионную съемку ближнего, среднего и дальнего диапазона спектра инфракрасного излучения для оценки сроков дифференцирования точек роста – показателя, определяющего продуктивность культур [7];
- лазерное сканирование для построения карт с детальным отображением рельефа даже в условиях сильной загущенности насаждений [7].

Для работы БПЛА в сельском хозяйстве могут быть использованы различные приложения в зависимости от целей и специфики условий. Наибольшее распространение получили такие приложения Pix4Dcapture, DroneDeploy, Atlas Flight, GeoScan Planner и др. [7, 10, 12].

Мобильное приложение Pix4Dcapture предназначено оптимизации плана полета с привязкой к определенной области и позволяет выбрать тип полета в зависимости от поставленных целей [10, 12].

Программное обеспечение DroneDeploy автоматизирует полет беспилотника и обеспечивает аэрофотосъемку в нужных точках и под нужным ракурсом. К достоинствам данного программного обеспечения можно отнести возможность построения фотопланов и 3D-моделей, их просмотр через мобильное приложение или браузер, работа в облаке [10, 12].

Программное обеспечение Atlas Flight автоматизирует полет беспилотника и позволяет планировать полет, задавая координаты (x, y, z) для точек съемки. Достоинством программы является загрузка в режиме реального времени во время полета дрона аэрофотоснимков на веб-сервис MicaSense Atlas, на котором создается ортофотоплан [10, 12].

Программное обеспечение GeoScan Planner компании «Геоскан» позволяет строить полетные задания в автоматическом режиме, для чего достаточно выделить область съемки на карте или загрузить из файла. Программа контролирует качество полета БПЛА, обеспечивает управление без пульта и навыков пилотирования [10]. GeoScan Planner позволяет загружать kml- и kmz-файлы, использовать различные картографические подложки.

Для настройки и управления дронами компании «DJI» используются программы DJI GO 4 и DJI Pilot. С их помощью можно не только управлять дроном, но и изменять настройки камеры, сенсоров, отслеживать статус всех систем устройства, редактировать отснятый материал и др. [10, 12].

БПЛА уже успешно используются в сельском хозяйстве стран Европы (Италия), Америки (США, Бразилия), Восточной Азии (Япония, Китай). В нашей стране также наблюдается тенденция к росту беспилотников в сельском хозяйстве, в том числе российских производителей: «Беспилотные технологии» (г. Новосибирск); «Геоскан» (г. Санкт-Петербург), «Автономные аэрокосмические системы – «ГеоСервис»» (г. Красноярск), ZALA AERO (г. Ижевск) [12].

Таким образом, использование БПЛА позволяет с высокой эффективностью получать необходимые данные и передавать их для обработки, а также выступать в роли актуатора – исполнителя принятых решений, обеспечивая проведение рациональной обработки почвы удобрениями, сорняков и вредителей пестицидами.

Необходимо отметить, что полностью отказаться от использования стационарных устройств IoT-устройств не получится, так как они являются наиболее эффективными при мониторинге изменений погодных условий, которые также оказывают значительное влияние на эффективность производства. Однако их необходимое количество может быть кратно снижено при использовании БПЛА.

Другим направлением использования БПЛА в системе IoT является их применение в качестве беспроводных летающих сенсорных сетей, позволяющих осуществлять автоматизированный сбор данных с удаленных сенсорных узлов, которые накапливают информацию за время автономной работы [13 – 15]. С помощью данных сетей можно отслеживать и собирать информацию с установленных датчиков и моментально передавать ее в Интернет. Способность обеспечивать связь в реальном времени и отсутствие потребности в какой-либо инфраструктуре являются преимуществами летающих сенсорных сетей для растениеводства [14, 15].

Таким образом, технологии IoT имеют высокий потенциал для повышения эффективности производства сельскохозяйственных культур. Относительно медленное внедрение данных технологий в растениеводство обусловлено спецификой этой отрасли, определяющей необходимость установки большого количества разнообразных датчиков, сложность их обслуживания и обеспечения непрерывного питания, низкую эффективность функционирования сетевого взаимодействия IoT. В качестве решения указанных проблем предложено использование в технологиях IoT БПЛА в качестве IoT-устройства и технологий коммуникации.

Литература

1. Блохина С.Ю., Блохин Ю.И. Интеллектуальное земледелие на основе интернета вещей // Земледелие. 2020. №7. С. 7-13.

2. Elijah O., Rahman T. A., Orikumhi I., Leow C. Y. and Hindia M. N. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges // IEEE Internet of Things Journal. No. 5. PP. 3758-3773, URL: 10.1109/IJOT.2018.2844296.

3. Якушев В.П., Якушев В.В., Матвеев Д.А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии // Земледелие. 2020. № 1. С. 33–37.

4. Hernandez-Rojas D., Mazon-Olivo B., Novillo-Vicuña J., Escudero-Cascon C., Pan-Bermudez A., Belduma-Vacacela G. IoT Android Gateway for Monitoring and Control a WSN // International Conference on Technology Trends. CITT 2017: Technology trends. Cham: Springer, 2018. Vol. 798. pp. 18–32.

5. Villa-Henriksen A., Edwards G.T.C., Pesonen L., Green O., Sørensen C. A. G. Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential // Biosystems Engineering. 2020. Vol.191. pp. 60–84.

6. Лященко А.М., Пачев А.Н., Манучарян Л.Х. Реализация приложений интернета вещей агентной моделью Акка // Инженерный Вестник Дона, 2019, №5 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/6004.

7. Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Чашин А.Н., Заболотнова М.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. №2. С. 48-51.

8. Хорт Д.О., Личман Г.И., Филиппов Р.А., Беленков А.И. Применение беспилотных летательных аппаратов (дронов) в точном земледелии // Фермер. Поволжье. 2016. № 7. С. 34-37.

9. Трубицын Н.В., Таркинский В.Е., Белик М.А. Мониторинг сельскохозяйственных посевов с помощью беспилотных летательных аппаратов // Евразийский Союз Ученых. 2018. №11-2. С. 26-31.

10. Гольтыпин В.Я., Мишуков Н.П., Федоренко В.Ф., Голубев И.Г.,

Балабанов В.И., Петухов Д.А. Цифровые технологии для обследования состояния земель сельскохозяйственного назначения беспилотными летательными аппаратами: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 88 с.

11. Полещенко Д.А., Петров В.А., Михайлов И.С., Шулик М.С. Разработка системы детектирования участков с дефектами развития посевов кукурузы по фотографии с БПЛА // Инженерный Вестник Дона, 2023, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8821.

12. Гольтыпин В.Я., Голубев И.Г., Болотина В.Я. Анализ программно-аппаратного оснащения БПЛА при обследовании земель сельскохозяйственного назначения // V национальная (Всероссийская) научная конференция с международным участием «Теория и практика современной аграрной науки». Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2022. С. 531-534.

13. Манохина А.А., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. Использование беспилотных летательных аппаратов при возделывании картофеля // Международная научно-практическая онлайн конференция «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса». Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2020. С. 83-87.

14. Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В., Парамонов А.И., Прокопьев А.В., Богданов И.А., Дорт-Гольц А.А. Летающие сенсорные сети // Электросвязь. 2014. № 9. С. 2–5.

15. Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В. Летающие сенсорные сети – новое приложение Интернета Вещей // IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные



проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 17–22.

References

1. Blokhina S.YU., Blokhin YU.I. Zemledeliye. 2020. №7. pp. 7-13.
2. Elijah O., Rahman T. A., Orikumhi I., Leow C. Y. and Hindia M. N. IEEE Internet of Things Journal. No. 5. PP. 3758-3773, URL: 10.1109/IJOT.2018.2844296.
3. Yakushev V.P., Yakushev V.V., Matveyenko D.A. Zemledeliye. 2020. №1. pp. 33–37.
4. Hernandez-Rojas D., Mazon-Olivo B., Novillo-Vicuña J., Escudero-Cascon C., Pan-Bermudez A., Belduma-Vacacela G. International Conference on Technology Trends. CITT 2017: Technology trends. Cham: Springer, 2018. Vol. 798. P. 18–32.
5. Villa-Henriksen A., Edwards G.T.C., Pesonen L., Green O., Sørensen C. A. G. Biosystems Engineering. 2020. Vol.191. pp. 60–84.
6. Lyashchenko A.M., Pachev A.N., Manucharyan L.KH. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/6004.
7. Zubarev YU.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra. 2019. №2. pp. 48-51.
8. Khort D.O., Lichman G.I., Filippov R.A., Belenkov A.I. Fermer. Povolzh'ye. 2016. № 7. pp. 34-37.
9. Trubitsyn N.V., Tarkivskiy V.E., Belik M.A. Eurasian union of scientists. 2018. №11-2. pp. 26-31.
10. Gol'tyapin V.YA., Mishurov N.P., Fedorenko V.F., Golubev I.G., Balabanov V.I., Petukhov D.A. Tsifrovyye tekhnologii dlya obsledovaniya sostoyaniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya bespilotnymi letatel'nymi apparatami: analit. obzor. [Digital technologies for the examination of

the condition of agricultural lands by unmanned aerial vehicles: analyte. review]. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020. 88 p.

11. Poleshchenko D.A., Petrov V.A., Mikhaylov I.S., Shulik M.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8821.

12. Gol'tyapin V.YA. Golubev I.G., Bolotina V.YA. V natsional'naya (Vserossiyskaya) nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem «Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki» (V National (All-Russian) scientific conference with international participation "Theory and practice of modern agricultural science"). Novosibirsk: Izdatel'skiy tsentr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta «Zolotoy kolos», 2022. pp. 531-534.

13. Manokhina A.A., Starovoytov V.I., Starovoytova O.A. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya onlayn konferentsiya «Prioritetnyye napravleniya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa» (International scientific and practical online conference "Priority directions of scientific and technological development of the agro-industrial complex"). Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2020. pp. 83-87.

14. Kucheryavyu A.E., Vladyko A.G., Kirichek R.V., Paramonov A.I., Prokop'yev A.V., Bogdanov I.A., Dort-Gol'ts A.A. Elektrosvyaz'. 2014. № 9. pp. 2–5.

15. Kucheryavyu A.E., Vladyko A.G., Kirichek R.V. IV Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya «Aktual'nyye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii» (IV International Scientific-technical and scientific-methodological Conference "Actual problems of infotelecommunications in science and education"). SPb.: SPbGUT, 2015. pp. 17–22.

Дата поступления: 22.12.2023

Дата публикации: 1.02.2024