МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ IOT-СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА, А ТАКЖЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГИСТЕРЕЗИСА И В РУЧНОМ РЕЖИМЕ

Э. М. Исмайлов[1,а], **Т. В. Гавриленко**[1,2,б], **О. Ю. Семенов**[2,в]

[1] *Сургутский филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Сургут, Российская Федерация*

[2] *Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация*

[а] *ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9913-3283,* ✍ *trol.8@inbox.ru*

[б] *ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3243-2751, taras.gavrilenko@gmail.com*

[в] *ous.tutor.phinma@mail.ru*

Аннотация: в статье приведены результаты виртуального эксперимента, выполненного с использованием программных продуктов учебной версии nanoCAD, Tinkercad. Экспериментальным методом выявлены сильные и слабые стороны актуальных систем управления электроприводом на примере системы вентиляции. Протестированы упрощенные виртуальные модели прямого пуска системы вентиляции, дистанционного пуска системы вентиляции через контроллер, а также дистанционного пуска и запуска по сигналу от датчика температуры (IoT-система). Основная задача проведенного исследования заключалась в анализе эволюции архитектур систем управления от релейно- контакторных схем прямого пуска до передовых программно-аппаратных комплексов с возможностью хранения информации в облачных хранилищах. Исследования в данном направлении актуальны, поскольку часть работы проводилась на виртуальном стенде IoT-системы. Она служит основой для создания цифрового двойника технологических объектов, выступающего фундаментом для анализирующей AIoT-системы (Artificial Internet of Things — искусственный интеллект вещей). В работе акцентируется внимание на логике взаимодействия элементной базы проекта с использованием современных средств разработки и симуляции.

Ключевые слова: виртуальный стенд, система вентиляции, цифровые предприятия, высокая автоматизация.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ по теме № FNEF-2024-0001 «Создание и реализация доверенных систем искусственного интеллекта, основанных на новых математических и алгоритмических методах, моделях быстрых вычислений, реализуемых на отечественных вычислительных системах» (1023032100070-3-1.2.1).

Для цитирования: Исмайлов Э. М., Гавриленко Т. В., Семенов О. Ю. Моделирование виртуальной IoT-системы удаленного мониторинга, а также управления двигателем на основе температурного гистерезиса и в ручном режиме. *Успехи кибернетики.* 2026;7(3):79–85.

Поступила в редакцию: 08.08.2026. *В окончательном варианте: 23.09.2026.*

SIMULATION OF A VIRTUAL IOT SYSTEM FOR REMOTE ENGINE MONITORING AND CONTROL USING TEMPERATURE HYSTERESIS AND MANUAL CONTROL

E. M. Ismailov[1,a], **T. V. Gavrilenko**[1,2,b], **O. Yu. Semenov**[2,c]

[1] *Surgut Branch of Scientific Research Institute for System Analysis of the National Research Centre "Kurchatov Institute", Surgut, Russian Federation*

[2] *Surgut State University, Surgut, Russian Federation*

[a] *ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9913-3283,* ✍ *trol.8@inbox.ru*

[b] *ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3243-2751, taras.gavrilenko@gmail.com*

[c] *ous.tutor.phinma@mail.ru*

Abstract: we conducted a virtual experiment using the educational versions of nanoCAD and Tinkercad to study electric drive control systems for a ventilation system. We developed and tested simplified virtual models of direct motor starting, remote starting through a controller, and remote

starting with automatic activation based on a temperature sensor signal as an example of an IoT-based control system. We compared these control architectures to trace the transition from relay switching, direct-start circuits to software- and hardware-based systems capable of storing data in cloud services. We focused on the interaction logic between system components and evaluated the use of modern development and simulation tools for virtual testing. The results provide a basis for developing digital twins of industrial systems and for their subsequent integration into artificial intelligence of things (AIoT) applications.

Keywords: virtual stand, ventilation system, digital factory, extensive automation.

Acknowledgements: this study is a part of the government contract No. FNEF-2024-0001 Development and Implementation of Trusted AI Systems Using New Mathematical and Algorithmic Methods; Fast Computing Models on Domestic Hardware awarded to the Kurchatov Institute (1023032100070-3-1.2.1).

Cite this article: Ismailov E. M., Gavrilenko T. V., Semenov O. Yu. Simulation of a Virtual IoT System for Remote Engine Monitoring and Control Using Temperature Hysteresis and Manual Control. *Russian Journal of Cybernetics.* 2026;7(3):79–85.

Original article submitted: 08.08.2026. *Revision submitted: 23.09.2026.*

Введение

С каждым годом умные системы все больше входят в нашу жизнь, меняя все принципы управления технологическими процессами и бизнесом. Сегодня системы IoT (Internet of Things — интернет вещей) активно используются как в повседневной жизни (например, в фитнес-браслетах или в системах умных светофоров), так и в промышленном секторе (например, контроль биения вала электродвигателя). Фактически IoT — это устройства, которые взаимодействуют друг с другом через облачные хранилища данных или серверы. В качестве чувствительных элементов выступают различные датчики температуры и давления, которые фиксируют изменение физических параметров контролируемой среды, передавая в режиме реального времени выходные сигналы на сервер или на облачные хранилища. После обработки полученных данных система предпринимает какие-либо действия сама или отправляет необходимую информацию оператору. Таким образом, IoT-система помогает в режиме реального времени получить информацию о контролируемых процессах. Это выгодно тем, что помогает удаленно отслеживать интересующие параметры, а также предугадывать и пресекать неблагоприятные исходы как для здоровья человека (например, чрезмерную нагрузку на организм), так и для технологического процесса (преждевременный износ подшипников и разрушение электрической машины) [1, 2].

Архитектура IoT-системы состоит из четырех тесно взаимосвязанных компонентов (рисунок 1):

1. Измерительные устройства (датчики).
2. Системы передачи данных (сетевые шлюзы и каналы связи).
3. Системы обработки информации (серверы или облачные хранилища).
4. Панели контроля и управления.

Несмотря на обилие решений в данной области, исследования в этом направлении не теряют своей актуальности. IoT-технология является основой для внедрения ИИ, поскольку именно она дает возможность создавать цифровые двойники предприятий для отслеживания в режиме реального времени всех параметров действующего оборудования, осуществления его контроля и управления им [3].

Структура моделируемого стенда

Для построения стенда была выбрана трехуровневая структура IoT-системы: исполнительные и измерительные устройства (нижний уровень), программно-логический контроллер (средний уровень), а также сервер обработки данных и устройства управления (верхний уровень) [3, 4].

Аппаратная часть

В нижний уровень (исполнительное и измерительное устройство) стенда входят датчик температуры (TMP36) и двигатель постоянного тока. В данном исполнении потенциометр имитирует изменения температуры, регистрируемые датчиком. Светодиод выступает в качестве ви-

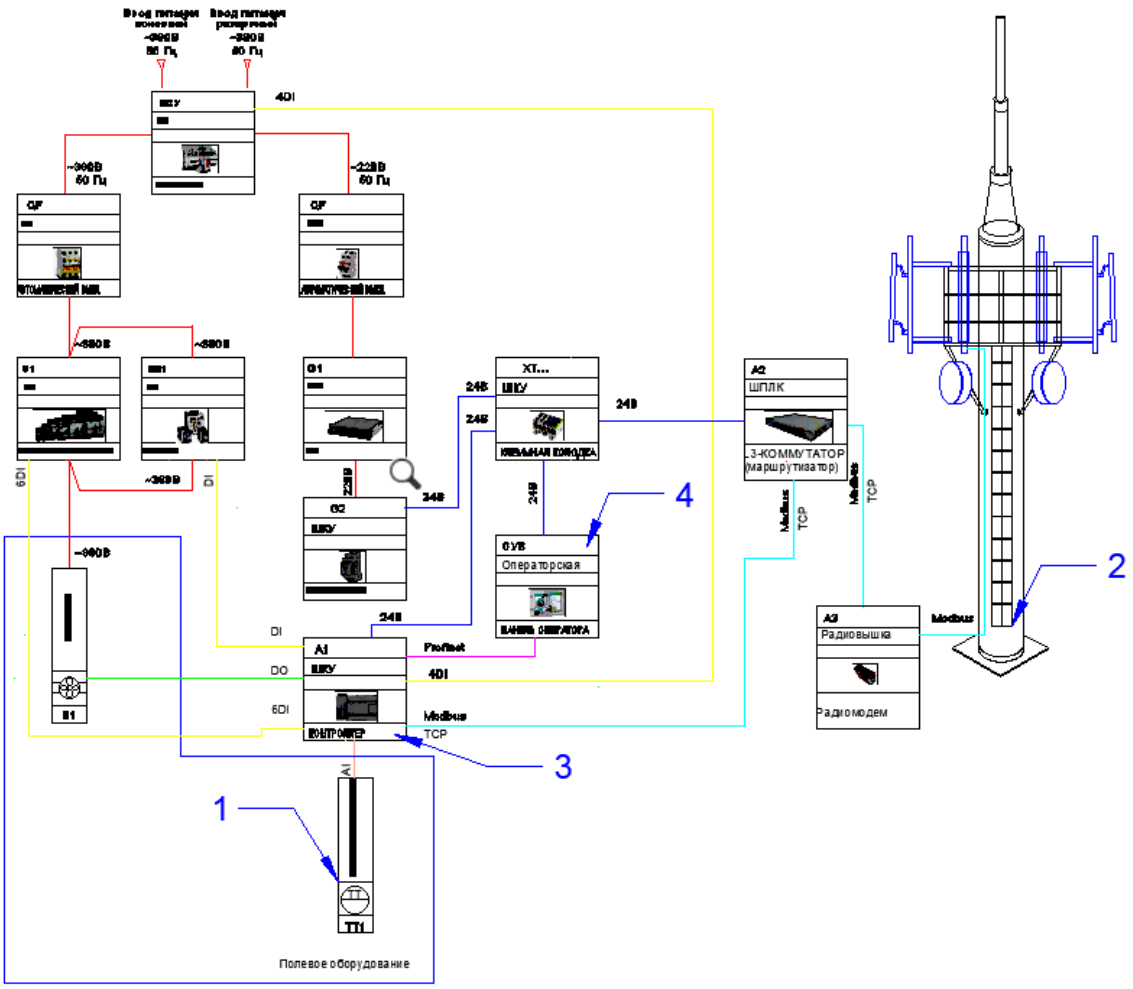

Рис. 1. *Схема IoT-системы*

зуального индикатора, сигнализирующего о подаче напряжения на двигатель. Последовательно подключенный к светодиоду резистор необходим для ограничения тока.

Средний уровень (ПЛК) стенда состоит из платы микроконтроллера Arduino Uno R3. Данный уровень осуществляет автоматическое управление процессом включения и отключения электропривода на основе данных от датчика температуры (TMP36). Применяемый транзистор выполняет функцию электрически переключающегося ключа.

Верхний уровень (устройства управления) позволяет осуществлять визуальный контроль работы электродвигателя, менять уставки параметров, подключать или отключать местное управление двигателем. Пост 1 является кнопкой на панели (мнемосхема) оператора, которая при ее нажатии может добавлять или исключать управление двигателем по месту (пост 2).

Цель исследования

Цель экспериментального исследования заключалась в определении наиболее эффективной и гибкой схемы управления двигателем постоянного тока на примере системы вентиляции. Были смоделированы и протестированы упрощенные схемы: прямого пуска двигателя, дистанционного пуска двигателя через контроллер, а также дистанционного пуска двигателя по сигналу от датчика температуры с сохранением возможности по команде с верхнего уровня добавлять в систему местное управление.

Описание виртуального стенда

Для проведения эксперимента были собраны три упрощенные схемы, сохраняющие принцип работы физического оборудования системы вентиляции:

1. Схема прямого пуска является классическим вариантом запуска двигателя постоянного тока. Она реализована без систем измерения и контроля. Включение и отключение привода производятся с помощью ручного нажатия на кнопку поста управления, исключая возможность плавного регулирования скорости вращения якоря и дистанционного управления состоянием электропривода (рисунок 2).

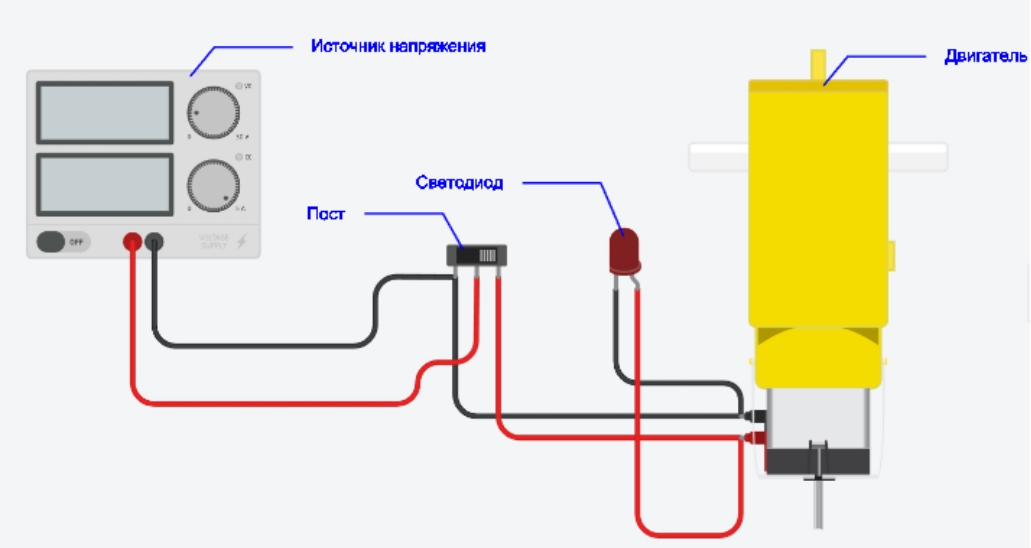

Рис. 2. *Прямой пуск двигателя*

2. Дистанционный пуск двигателя через контроллер: управление двигателем осуществляется дистанционно с панели оператора. Сигнал отправляется на вход контроллера (ПЛК), который, в свою очередь, управляет физическим оборудованием (рисунок 3).

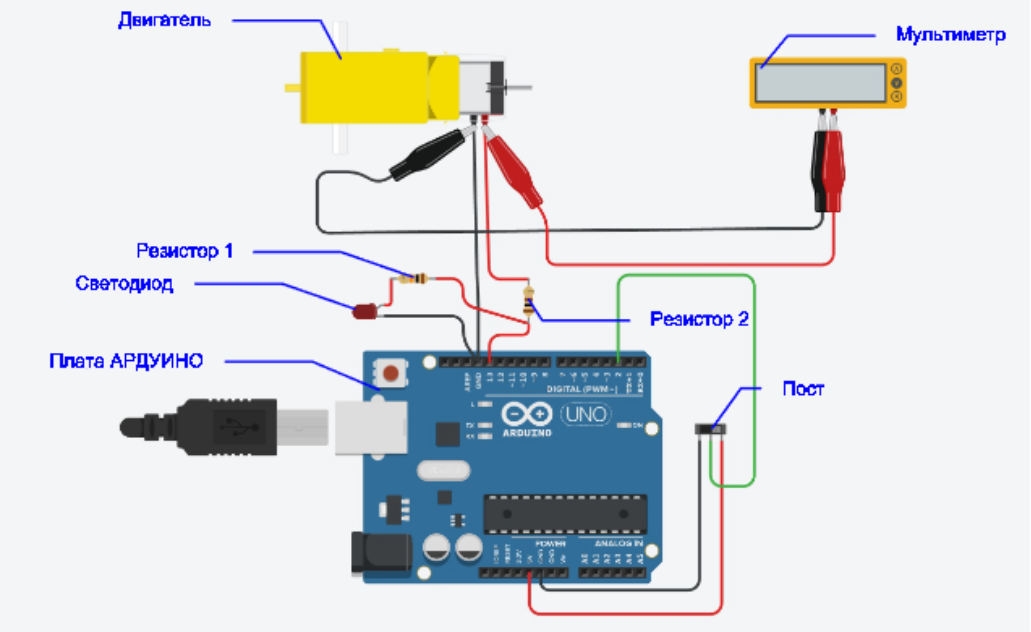

Рис. 3. *Дистанционный пуск двигателя через контроллер*

3. Дистанционный пуск двигателя и запуск по сигналу от датчика температуры: стенд включает в себя программируемый логический контроллер (ПЛК), датчик температуры, виртуальный пост (пост 1) управления, который добавляет или исключает физическое управление по месту (пост 2). Пуск двигателя осуществляется автоматически по причине достижения заданного порогового значения температуры окружающей среды, которая анализируется ПЛК, после чего выдается управляющий сигнал (пуск/стоп) на физическое оборудование (рисунок 4).

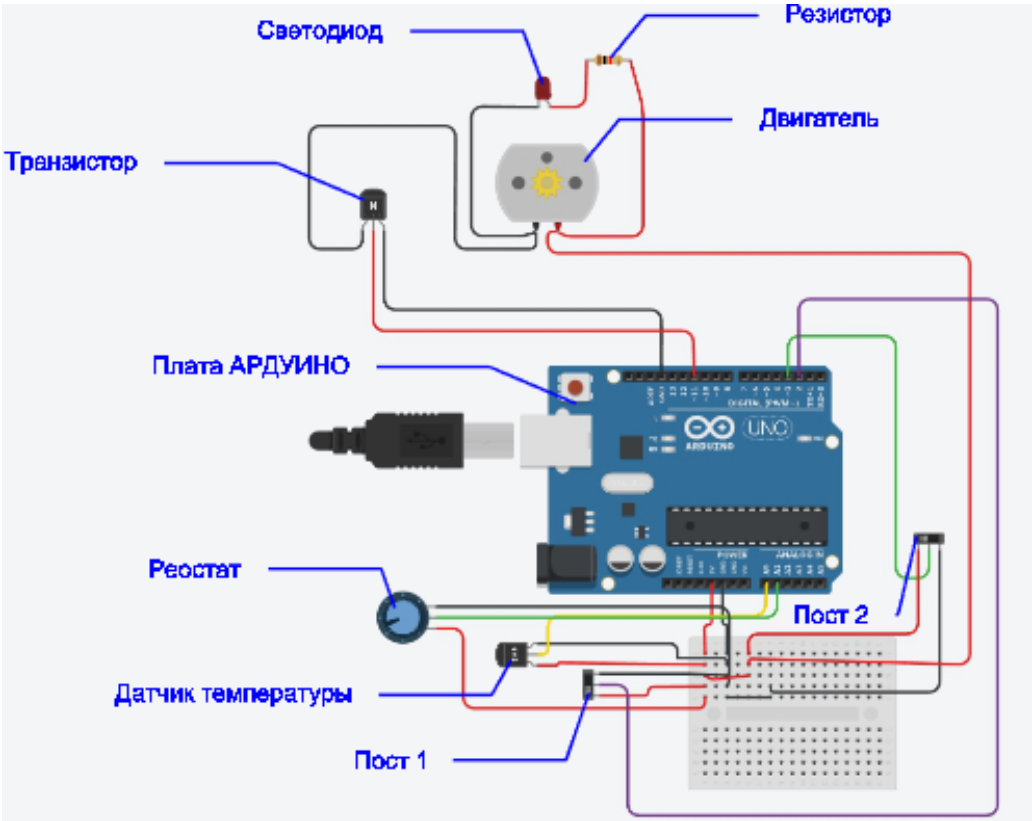

Рис. 4. *Дистанционный пуск двигателя и запуск по сигналу от датчика температуры*

Результаты эксперимента

Результаты испытаний представлены в таблице.

Анализ выходных данных

1. Схема прямого пуска показала классическую простоту и надежность релейно-контакторных элементов. Главными недостатками данной схемы являются отсутствие в ней автоматизации и невозможность дистанционного управления ею без дополнительных силовых элементов.

2. Модель дистанционного пуска электродвигателя показывает серьезные преимущества перед схемой прямого пуска благодаря наличию цепи управления на базе ПЛК. Несмотря на то, что для оперативного персонала визуальных изменений не происходит, внедрение ПЛК исключает необходимость идти к посту управления, чтобы остановить электропривод. Управление пуском и остановом электродвигателя системы вентиляции осуществляется дистанционно, непосредственно с автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора.

3. Система дистанционного пуска двигателя и запуска по сигналу с датчика температуры полностью подтвердила преимущества и работоспособность автоматизированных систем. В ходе эксперимента при повышении температуры виртуального датчика выше температурной уставки (имитация нагрева с помощью потенциометра) ПЛК точно отрабатывал алгоритмы и выдавал сигнал на включение двигателя системы вентиляции. При этом интеграция датчика через АРМ оператора в уже существующую модель дистанционного пуска электрического двигателя прошла успешно, что показывает гибкость модернизации системы без остановки работающего оборудования. Важно подчеркнуть, что в данной реализации сохранен прямой пуск двигателя, соответственно, можно говорить о преимуществах данной схемы, которая вобрала в себя сильные стороны всех остальных экспериментальных моделей.

Выводы по эксперименту

В ходе проведенного эксперимента были успешно протестированы три схемы управления электрическим двигателем системы вентиляции.

Таблица

Результаты экспериментального исследования

Параметр	Схема 1 (прямой пуск двигателя)	Схема 2 (дистанционный пуск двигателя через контроллер)	Схема 3 (дистанционный пуск двигателя и запуск по сигналу от датчика температуры)
Модуляция пуска	С кнопки на посту	Ручной с удаленной панели оператора	Автоматически от датчика температуры и с удаленной панели оператора
Наличие контроллера	Нет (напрямую через релейно-контакторные элементы схемы)	Да (ПЛК фиксирует нажатие кнопки и выдает управляющий сигнал на релейно-контакторные элементы схемы)	Да (ПЛК обрабатывает изменение сигнала от датчика или фиксирует нажатие кнопки, после выдает управляющий сигнал на релейно-контакторные элементы схемы)
Присутствие обратной связи	Нет (возможен только визуальный контроль)	Есть (сигнал от кнопки на панели оператора о запуске двигателя)	Есть (сигнал от кнопки или от датчика температуры на панели оператора о запуске двигателя)
Время выполнения команды	Мгновенное замыкание релейно-контакторных элементов схемы	Существует небольшая задержка времени между обработкой команды контроллером и замыканием релейно-контакторных элементов схемы	При дистанционном пуске существует небольшая задержка между обработкой команды контроллером и замыканием релейно-контакторных элементов схемы. При запуске по причине преодоления порогового значения температуры должно выполняться условие (температура > порогового значения)
Гибкость системы	Отсутствует (для изменения логики работы нужно перебирать электрическую схему)	Есть (логику можно изменять с помощью программного кода в ПЛК, например, увеличивать время запуска двигателя)	Есть (логику можно изменять с помощью программного кода в ПЛК или с панели оператора изменить пороговые значения датчика)
Интеграция новых элементов	Отсутствует (для подключения новых элементов нужно пересобирать схему)	Сигнал может быть добавлен дистанционно	Сигнал или оборудование могут быть интегрированы дистанционно или через панель оператора

Целесообразность прямого пуска остается актуальной для простых систем, в которых не требуется автоматизация.

Внедрение ПЛК дает возможность для осуществления дистанционного управления и создает основу для расширения функциональных возможностей электрической машины и ее защиты.

Добавление датчика температуры сразу же перевело установку в разряд автоматических систем, открыв возможность работать без участия человека (рисунок 4), но при этом сохраняя

возможность в нештатной ситуации осуществить управление по месту (пуск/останов).

Возможность дистанционного добавления в систему устройств контроля и управления (датчики, панели управления) в виртуальном исполнении подтверждает высокую управляемость и контроль состояния всего оборудования. Это открывает широкие возможности для IoT-систем, которые являются основой для последующего внедрения ИИ.

На сегодняшний день научно-технический сектор полностью сформировал базу для перехода из автоматизации в высокую автоматизацию, где участие человека в технологических процессах сводится к минимуму. Для осуществления перехода промышленный и энергетический сектор находятся на необходимом техническом уровне, а внедрение IoT-систем поможет подойти вплотную к развертыванию программы цифровых предприятий с нейронным управлением (AIoT-системы), где будет задействовано минимальное количество оперативного персонала, что напрямую ведет к повышению уровня безопасности и эффективности предприятия и, соответственно, к экономическому росту.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Промышленный интернет вещей.* М.: АПР; 2020. 72 с. Режим доступа: https://investmoscow.ru/media/3340535/03-промышленный-интернет-вещей.pdf.
2. Маторин С. И., Гуль С. В. Информационно-аналитическая технология будущего — интернет вещей (IoT). *Научный результат. Информационные технологии.* 2023;8(4):70–77. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-7.
3. Утегенов Н. Б. Интернет вещей (IoT) и информационные системы. *Universum: технические науки.* 2023;7–1(112):30–34. DOI: 10.32743/UniTech.2023.112.7-1.30-34.
4. Касатиков Н. Н., Фадеев А. Д., Умаров Ш. М., Брехов О. М. Тенденции развития программных систем для обработки и анализа больших данных устройств интернета вещей (IoT). *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки.* 2022;16(2):41–49. DOI: 10.31161/1995-0675-2022-16-2-41-49.