

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 681.518.5
DOI: 10.48612/dalrybvtuz/2025-72-09
EDN: PXATFU

Формирование системы контроля технологических процессов в термокамерах

**Дмитрий Михайлович Попов¹, Сергей Дмитриевич Руднев²,
Елена Владимировна Просвиркина³, Александра Игоревна Крикун⁴**

^{1, 2, 3} Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава России, Кемерово, Россия

⁴ Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹ pdm2005@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-4636-5166

² sdrudnev@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2506-6121

³ prosvirkina.ev@kemsma.ru, ORCID: 0009-0009-3548-0247

⁴ krikun.ai@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-9330-2555

Аннотация. Представлены результаты формирования системы контроля технологических процессов в термокамерах. Предлагаемая система контроля позволяет подключать контроллеры термокамер различных производителей оборудования и предоставляет единый пользовательский интерфейс. Данные, полученные от контроллеров термокамер, выводятся в режиме реального времени, что позволяет определить критические отклонения от установленных параметров технологического процесса. Все данные записываются в файл, представляющий собой суточный журнал термокамеры. Система предоставляет возможность просмотра суточного журнала в графическом виде в веб-браузере. Система контроля использует технологии промышленного интернета вещей.

Ключевые слова: промышленный интернет вещей, система контроля, термокамера, протокол MQTT

Для цитирования: Попов Д. М., Руднев С. Д., Просвиркина Е. В., Крикун А. И. Формирование системы контроля технологических процессов в термокамерах // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 72, № 2. С. 104–112.

FOOD SYSTEMS

Original article

Formation of a control system for technological processes in thermal chambers

Dmitry M. Popov¹, Sergey D. Rudnev², Elena V. Prosvirkina³, Aleksandra I. Krikun⁴

^{1, 2, 3} Kemerovo State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Kemerovo, Russia

⁴ Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ pdm2005@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-4636-5166

² sdrudnev@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2506-6121

³ prosvirkina.ev@kemsma.ru, ORCID: 0009-0009-3548-0247

⁴ krikun.ai@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-9330-2555

Abstract. The article considers a process control system for thermal chambers. The proposed control system allows connecting thermal chamber controllers from various equipment manufacturers and provides a single user interface. Data received from thermal chamber controllers is displayed in real time, which allows determining critical deviations from the set process parameters. All data is recorded in a file, which is a daily log of the thermal chamber. The system provides the ability to view the daily log in graphical form in a web browser. The control system uses industrial Internet of Things technologies.

Keywords. Industrial Internet of Things, control system, thermal camera, MQTT protocol

For citation: Popov D. M., Rudnev S. D., Prosvirkina E. V., Krikun A. I. Formation of a control system for technological processes in thermal chambers. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2025; 72(2): 104–112. (in Russ.).

Введение

Повышение качества продукции, снижение производственных затрат, совершенствование производства в целом – задачи, решение которых постоянно требует конкуренция при производстве пищевых продуктов. Одно из решений – это внедрение в производство систем автоматизации. Современные системы, основанные на SCADA¹, позволяют значительно снизить количество ручного труда, уменьшить стоимость и повысить качество готового продукта, исключить выпуск некондиционной продукции и т.д. SCADA предоставляет возможность контролировать все производственные процессы, а также следить за соблюдением норм и требований, которые предъявляются к технологическому процессу. SCADA использует датчики, предоставляющие данные о состоянии технологических машин и оборудования, такие как температура, влажность или вибрация. Полученные данные отображаются в пользовательском интерфейсе с помощью графических инструментов и других визуальных компонентов. С другой стороны, SCADA позволяет управлять исполнительными механизмами – клапанами, двигателями, насосами и т.п. – из того же пользовательского интерфейса без необходимости прямого вмешательства человека-оператора в работу технологических машин и оборудования.

С течением времени SCADA постоянно совершенствовались на протяжении четырех технологических поколений: первоначальная монолитная структура, распределенная и сетевая структуры и, наконец, их эволюция до современных систем промышленного интернета вещей (Industrial Internet of Things – IIoT) [1]. IIoT – это многоуровневая система, включающая в себя датчики и контроллеры, установленные на узлах и агрегатах технологического оборудования, средства передачи собираемых данных и их визуализации, мощные аналитические инструменты интерпретации, получаемой информации и многие другие компоненты [2, 3].

Производители технологического оборудования часто дополнительно предоставляют системы на подобие SCADA, позволяющие регистрировать, сохранять и визуализировать параметры технологического процесса в режиме реального времени. Подобные системы от различных производителей, как правило, представляют собой проприетарное программное обеспечение (ПО) и не совместимы друг с другом. Кроме того, если рассматривать автоматизацию производства в целом на предприятии, то использование подобного рода ПО нельзя считать целесообразным решением. В большинстве случаев такое ПО не является актуальным для используемых современных операционных систем.

Цель работы – разработка и внедрение платформы IIoT для контроля технологических процессов на пищевом предприятии.

¹ аббр. от англ. supervisory control and data acquisition – диспетчерское управление и сбор данных.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлись технологические процессы при производстве колбасных изделий и других мясных полуфабрикатов в термокамерах.

Термокамеры имеют встроенные пульта для задания программы технологического процесса и отображения актуальной информации, также предоставляется ПО для настройки, программирования и контроля. Как правило, ПО допускает одновременный доступ к одной термокамере, для доступа к большему количеству необходимо дополнительно оплатить производителю эту возможность. ПО различных производителей уникально и не совместимо друг с другом [4, 5]. Поэтому для создания единого программного интерфейса потребовалось изучить протокол передачи данных для термокамер определенных производителей. В исследовании участвовали термокамеры с установленными контроллерами Aditec MIC 2410, Aditec TP 1000 (Aditec GmbH, Германия), MIKSTER MCC 2100 (MIKSTER, Польша). Контроллер MIKSTER MCC 2100 использует сетевой интерфейс передачи данных RS-485, контроллеры Aditec MIC 2410 и Aditec TP 1000 – RS-232. Для подключения контроллеров к компьютерной сети предприятия использовался преобразователь интерфейса RS-485/RS-232 I-7520.

Для организации сетевого взаимодействия использовался сервер межмашинного взаимодействия Mosquitto², реализующий протокол организации очередей доставки телеметрических сообщений MQTT версии 3.1.1. Программное обеспечение разрабатывалось на языке программирования Python 3.4.4.

Результаты и их обсуждение

Структура системы контроля технологических процессов в термокамерах приведена на рис. 1. Система работает по принципу «издатель–подписчик» [6, 7]. При использовании сервиса MQTT³ может быть много «издателей» и много «подписчиков». Протокол MQTT успешно отделяет «издателей» от «подписчиков». На схеме (рис. 1) компьютер для получения информации от термокамер является клиентом, который периодически публикует информацию в определенные ветви сервера MQTT. Ветвь, или по-другому топик, похожа на запись полного пути файла в файловой системе операционной системы, например, smoke/tech-pol/1/00 представляет собой ветвь текущей температуры в термокамере (поле 00) с адресом 1 и контроллером REX-POL.

Устройства, расположенные в нижнем ряду схемы (рис. 1), являются клиентами-подписчиками, на них установлено ПО, получающее информацию от сервера MQTT и отображающее текущее состояние термокамер на устройствах вывода.

Несмотря на надежность локальной сети, связь между серверами может быть утрачена. В этом случае сеанс перейдет в полуоткрытое состояние – сервер MQTT будет считать, что соединение по-прежнему надежно и ожидать данные. Сервер MQTT, используя таймеры, отправляет всем клиентам сообщение о закрытии топика. Если клиент попытается вновь открыть соединение, то сервер создаст новое подключение.

Для приведенной на рис. 1 системы разработано ПО, включающее четыре модуля языка программирования Python:

- 1) модуль информации термокамер;
- 2) веб-приложение для визуализации работы термокамер;
- 3) модуль мониторинга термокамер.

Модуль информации термокамер представляет собой модуль языка программирования Python и предназначен для получения данных от датчиков термокамер и публикации этих данных. Модуль информации термокамер позволяет подключать модули контроллеров термокамер различных производителей оборудования. Модуль информации термокамер должен

² Eclipse Mosquitto™. MQTT – брокер с открытым исходным кодом. URL: <https://mosquitto.org/>.

³ ГОСТ Р 58603-2019 (ИСО/МЭК 20922:2016) Протокол организации очередей доставки телеметрических сообщений MQTT. Версия 3.1.1.

иметь единообразный интерфейс с различными модулями контроллеров термокамер. Поэтому модули контроллеров термокамер наследуют один класс и расширяют его возможности для организации взаимодействия с интерфейсами RS-485, RS-232, Ethernet и для использования различных протоколов (Modbus и др.).

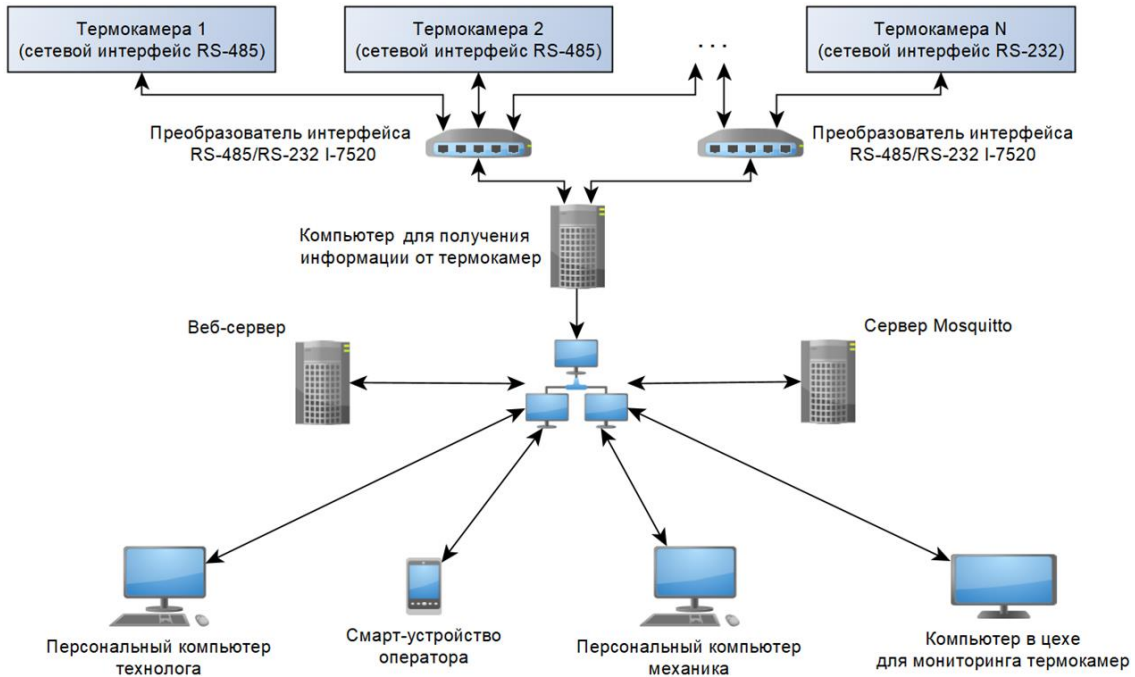


Рис. 1. Структура системы контроля технологических процессов в термокамерах. Составлено авторами
 Fig. 1. Structure of the control system for technological processes in thermal chambers. Compiled by the authors

Блок-схема модуля информации термокамер представлена на рис. 2.

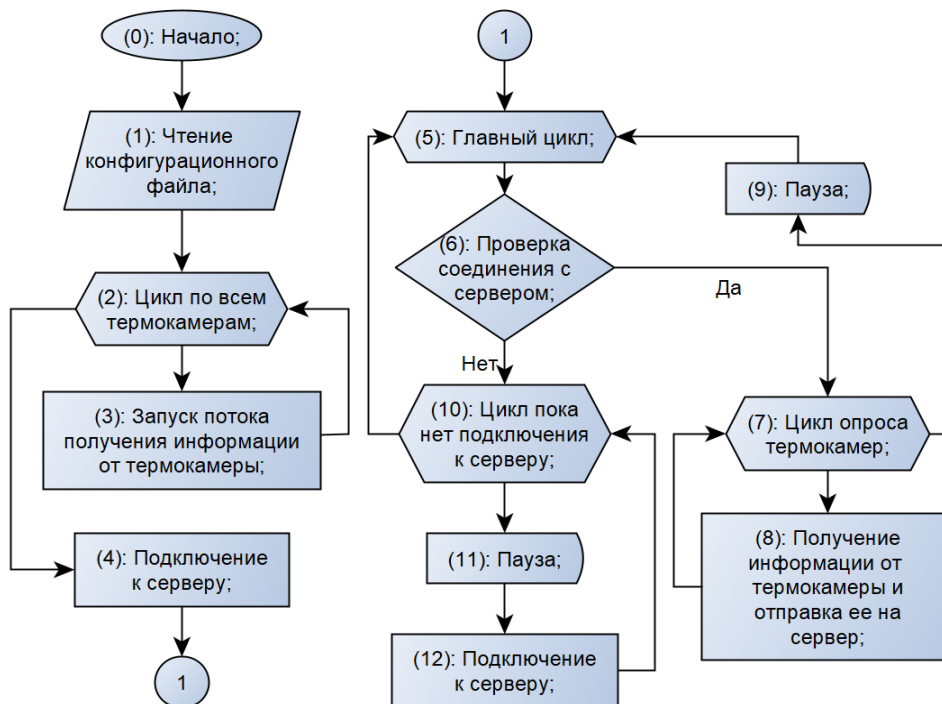


Рис. 2. Блок-схема модуля информации термокамер. Составлено авторами
 Fig. 2. Block diagram of the thermal chamber information module. Compiled by the authors

Блок (0) соответствует запуску программы на выполнение. В блоке (1) осуществляется чтение конфигурационного файла, формируются списки термокамер различных производителей с параметрами подключения.

Модуль информации термокамер работает в многопоточном режиме [8, 9]. В блоке (2) запускается цикл обхода сформированного списка. В цикле для каждой термокамеры выделяется поток операционной системы, в котором происходит соединение с контроллером термокамеры по определенному протоколу, далее в выделенном потоке запускается цикл опроса датчиков термокамеры. Полученные данные датчиков ставятся в очередь и ожидают запроса модуля информации термокамер. По окончании создания потоков термокамер происходит выход из цикла и переход в блок (4), где осуществляется подключение к серверу и создание клиента MQTT. В блоке (5) запускается главный цикл, где происходит проверка соединения с сервером, в случае разрыва соединения происходит переход в блок (10), где в цикле выполняется пауза – блок (11) и подключение к серверу – блок (12). При наличии соединения в блоке (7) запускается цикл по всем термокамерам, в блоке (8) происходит обращение к модулю термокамеры и получение из очереди данных от датчиков термокамеры. Далее данные сохраняются в CSV-файл⁴, и клиент MQTT публикует новые данные. После завершения цикла в блоке (9) выполняется пауза, и процесс повторяется с блока (5).

Модуль информации термокамер каждые сутки отправляет сформированные CSV-файлы на веб-сервер. Веб-приложение для визуализации работы термокамер позволяет отображать информацию по термокамерам в графическом виде. На веб-странице приложения предоставляется возможность выбора цеха и календарь для выбора даты. Далее для определенного цеха и даты по адресу выбирается термокамера и выводится суточный масштабируемый график с шагом от 5 секунд. На графике приводятся наименование программы технологического процесса; шаг программы; показания температуры и влажности в камере; температуры в продукте. На рис. 3 показан пример вывода на веб-странице приложения.



Рис. 3. Веб-страница с информацией о работе термокамеры. Составлено авторами
Fig. 3. Web page with information about the operation of the thermal chamber. Compiled by the authors

⁴ CSV (от англ. Comma-Separated Values – значения, разделённые запятыми) – текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных.

Для отображения контроля параметров технологических процессов в термокамерах разработан модуль мониторинга термокамер, выполнение программы приведено на рис. 4. Для каждой термокамеры создается свое окно (1, рис. 4) с контролируемыми параметрами. Приложение является «подписчиком» MQTT-сервера. При разрыве соединения с сервером программа периодически запрашивает соединение, также имеется индикатор соединения с сервером (4, рис. 4).

В заголовке окна мониторинга термокамеры отображается адрес. В самом окне выводится наименование выполняемой программы; текущий шаг программы. Для отображения информации от датчиков термокамеры используются индикаторы выполнения. При создании конфигурационного файла можно настроить отображение на индикаторе метки, заданного по программе значения параметра. Как показано на рис. 4, индикатор температуры в камере отображает метку требуемой температуры в камеры. Окно мониторинга термокамеры может находиться в пяти состояниях:

- 1) белый цвет – контроллер термокамеры выключен;
- 2) серый цвет – контроллер термокамеры включен, программа не выполняется;
- 3) зеленый цвет – контроллер выполняет программу, фактическая температура в термокамере соответствует заданной;
- 4) желтый цвет – контроллер выполняет программу, произошел переход на новый шаг программы, время ожидания стабилизации фактической и заданной температуры не вышло;
- 5) красный цвет – контроллер выполняет программу, фактическая температура в термокамере не соответствует заданной.

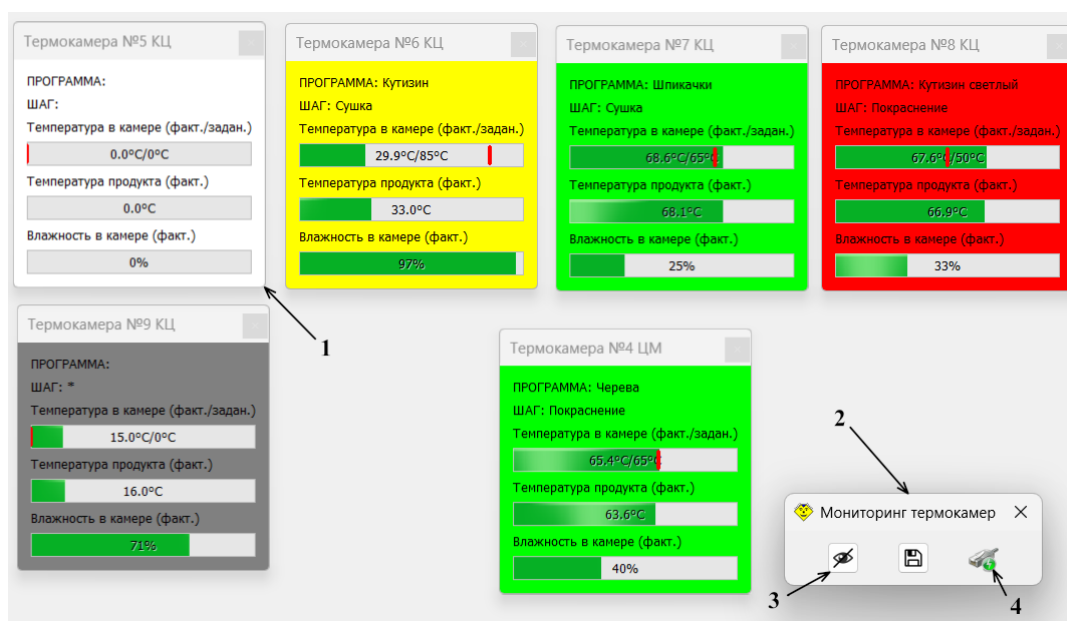


Рис. 4. Модуль мониторинга термокамер: 1 – окно мониторинга термокамеры; 2 – главное окно модуля; 3 – кнопка переключения показа окон мониторинга камер;

4 – индикатор соединения с сервером. Составлено авторами

Fig. 4. Thermal camera monitoring module: 1 – thermal camera monitoring window; 2 – main module window; 3 – button for switching between camera monitoring windows;

4 – server connection indicator. Compiled by the authors

На рис. 5 показан граф состояний и переходов окна мониторинга термокамеры. Время ожидания выхода фактического параметра на заданный по программе параметр при переходе на следующий шаг задается в конфигурационном файле. Допускаемые отклонения фактиче-

ского параметра от заданного также задаются при конфигурации. По истечении времени ожидания на новом шаге (X_4) и отклонении параметра больше заданного (\bar{X}_5) окно мониторинга термокамеры переходит в состояние «красный цвет» и мигает при этом.

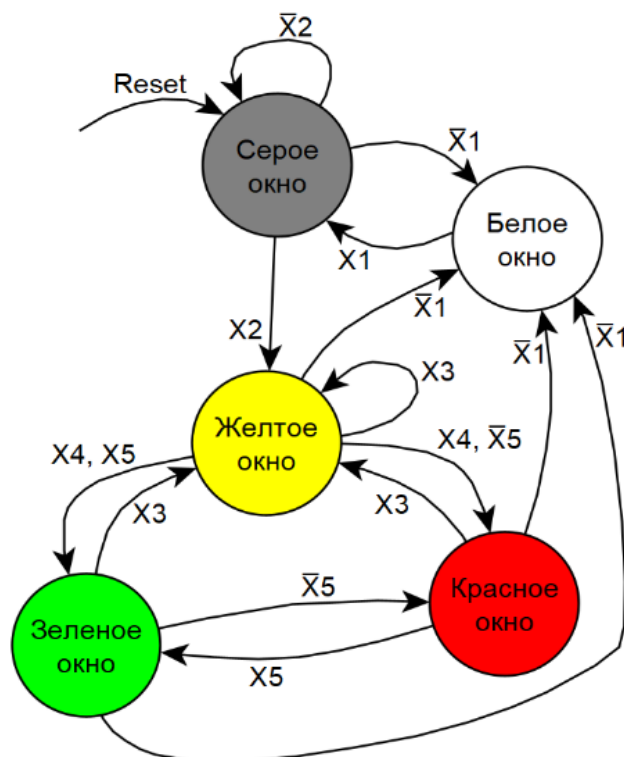


Рис. 5. Последовательность цветовых изменений дисплея термокамеры и связанные с ним:

X_1 – контроллер термокамеры включен; \bar{X}_1 – контроллер термокамеры выключен; X_2 – контроллер выполняет программу; \bar{X}_2 – контроллер простаивает; X_3 – контроллер приступил к выполнению следующего шага программы; X_4 – время ожидания установки программного параметра окончилось; X_5 – программный параметр соответствует актуальному параметру; \bar{X}_5 – программный параметр не соответствует актуальному параметру. Составлено авторами

Fig. 5. The sequence of color changes in the thermal chamber display and related to: X_1 – thermal chamber controller is on; \bar{X}_1 – thermal chamber controller is off; X_2 – controller is executing the program; \bar{X}_2 – controller is idle; X_3 – controller has started executing the next step of the program; X_4 – waiting time for setting the program parameter has expired; X_5 – program parameter corresponds to the current parameter; \bar{X}_5 – program parameter does not correspond to the current parameter. Compiled by the authors

Дисплей, отображающий окна мониторинга термокамер, был установлен в цехе и доступен оператору для наблюдения. Что позволило при работе термокамер полностью исключить порчу полуфабрикатов из-за нарушения режимов работы.

В результате была получена работоспособная система удаленного мониторинга работы термокамер мясоперерабатывающего предприятия, легко расширяемая за счет программирования на языке Python классов с унифицированными интерфейсами под конкретные типы термокамер.

Заключение

Сформированная система удаленного мониторинга работы термокамер позволяет своевременно обнаружить проблемы в работе оборудования. Внедренная система предотвратила порчу полуфабрикатов при проведении технологических процессов в термокамерах. Система надежно защищена, в отличие от традиционных SCADA-систем [10]. Для коммуникации в Интернет предложенные нами приложения используют криптографический протокол Secure

Sockets Layer (SSL). Также на уровне приложений действует система парольной защиты и доступ пользователей с различным уровнем доступа. Разработанная система позволяет связать различное технологическое оборудование для представления однотипных отчетов о текущем состоянии, в то время как производители оборудования предоставляют программное обеспечение, в большинстве случаев не совместимое с машинами различных производителей.

Список источников

1. Sajid A., Abbas H., Saleem K. Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges. *IEEE Access*. 2016; 4: 1375–1384 <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2549047>.
2. Samtani S., Yu S., Zhu H., Patton M., Matherly J., Chen H. Identifying SCADA Systems and Their Vulnerabilities on the Internet of Things: A Text-Mining Approach. *IEEE Intelligent Systems*. 2018; 33(2): 63–73 <https://doi.org/10.1109/MIS.2018.111145022>.
3. Tridianto E., Pratilastiarso J., Dewi P.P., Syafii W.P.M. Testing of R-EMS 1.1 Modular Renewable Energy Management System with the Mini SCADA Concept Using IoT. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1529: 042011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/4/042011>.
4. Попов, Д. М. Разработка системы мониторинга технологического оборудования мясоперерабатывающего предприятия / Д. М. Попов, С. Н. Кравченко, О. В. Санкина // *Аграрная наука*. 2023. № 9. С. 156–160. DOI 10.32634/0869-8155-2023-374-9-156-160. EDN LWDZNC.
5. Industrial internet of things in production of cooked smoked sausages / А. М. Попов, Д. М. Попов, М. Mukhim-Zade, N. A. Wegner // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh*, 26–29 февраля 2020 года. Voronezh, 2021. P. 072003. DOI 10.1088/1755-1315/640/7/072003. EDN DLEEAB.
6. Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. М. : ДМК Пресс, 2019. 454 с. ISBN 978-5-97060-672-8.
7. Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Дрожжинов В. И., Куприяновская Ю. В., Иванов М. О. Интернет Вещей на промышленных предприятиях // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-na-promyshlennyh-predpriyatiyah> (дата обращения: 10.04.2025).
8. Ельсуков Д. А. PYTHON – ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ // *Экономика и социум*. 2021. № 11-1(90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/python-yazyk-programmirovaniya> (дата обращения: 10.04.2025).
9. Бухаров Т. А., Нафикова А. Р., Мигранова Е. А. Обзор языка программирования Python и его библиотек // *Colloquium-journal*. 2019. № 3-1(27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-yazyka-programmirovaniya-python-i-ego-bibliotek> (дата обращения: 10.04.2025).
10. Hu Fei. Security and Privacy in Internet of Things (IoTs): Models, Algorithms, and Implementations. Соединенные Штаты Америки, CRC Press, 2016.

Информация об авторах

Д. М. Попов – кандидат технических наук, доцент кафедры медицинской, биологической физики и высшей математики, SPIN-код: 9446-9432, AuthorID: 634780.

С. Д. Руднев – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры медицинской, биологической физики и высшей математики, SPIN-код: 6389-7238, AuthorID: 423406.

Е. В. Просвиркина – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой медицинской, биологической физики и высшей математики, SPIN-код: 5422-7291, AuthorID: 50412.

А. И. Крикун – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования, SPIN-код: 6217-9103, AuthorID: 946577.

Information about the authors

D. M. Popov – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Medical, Biological Physics and Higher Mathematics, SPIN-code: 9446-9432, AuthorID: 634780.

S. D. Rudnev – Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Medical, Biological Physics and Higher Mathematics, SPIN-code: 6389-7238, AuthorID: 423406.

E. V. Prosvirkina – PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Medical, Biological Physics and Higher Mathematics, SPIN-code: 5422-7291, AuthorID: 50412.

A. I. Krikun – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 6217-9103, AuthorID: 946577.

Статья поступила в редакцию 10.04.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 06.05.2025.

The article was submitted 10.04.2025; approved after reviewing 18.04.2025; accepted for publication 06.05.2025.