

ПРОТОКОЛ РЕГИСТРАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Д. С. Бояркин¹, Е. А. Асеев², Д. А. Голушко³, И. Р. Абузьяров⁴, А. В. Лысенко⁵

^{1, 2, 3, 4} Научно-производственное предприятие «Рубин», Пенза, Россия

⁵ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ boyarkyndmyrty@gmail.com, ² EgorAseev829@gmail.com, ³ dmitgoluschko@yandex.ru,

⁴ 0400@npp-rubin.ru, ⁵ luyenko_av@bk.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассмотрен способ регистрации проведения технического обслуживания и ремонта трубопроводной арматуры (ТОиР ТПА) с использованием технологии RFID (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация). Предложенный способ позволяет упростить и автоматизировать процесс сбора сведений о времени проведения и содержании работ по ТОиР ТПА и таким образом усилить контроль за его осуществлением. Тем самым повышается надежность и безопасность эксплуатации оборудования. Обоснована необходимость регулярного и качественного ТОиР ТПА. *Материалы и методы.* Описаны методы автоматизированного сбора данных о проведенных работах по ТОиР ТПА и состоянии кранового узла и их записи в RFID-метку. Проанализирован состав аппаратной части установки для автоматизированной регистрации проведения ТО ТПА. *Результаты и выводы.* Предложен протокол записи данных о ТОиР ТПА в RFID-метку с целью упростить и частично автоматизировать процесс сбора информации о ТОиР и усилить контроль за его проведением. Проведен анализ возможностей RFID-меток и организация структуры памяти RFID-метки и описан перечень сведений, фиксируемых при регистрации проведения работ, необходимых для количественной и качественной оценки проведенного ТОиР ТПА. Описан минимальный перечень оборудования, необходимого для реализации аппаратной части установки для регистрации ТО, приведено описание работы данной установки и ее структурная схема. Сделан вывод о необходимости и актуальности применения предложенного метода регистрации сведений о проведении ТОиР ТПА.

Ключевые слова: технология RFID, техническое обслуживание и ремонт, регистрация технического обслуживания, трубопроводная арматура, микроконтроллеры, протокол

Для цитирования: Бояркин Д. С., Асеев Е. А., Голушко Д. А., Абузьяров И. Р., Лысенко А. В. Протокол регистрации технического обслуживания трубопроводной арматуры // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 2. С. 95–102. doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-11

PROTOCOL OF REGISTRATION OF MAINTENANCE OF PIPELINE FITTINGS

D.S. Boyarkin¹, E.A. Aseev², D.A. Golushko³, I.R. Abuzyarov⁴, A.V. Lysenko⁵

^{1, 2, 3, 4} Scientific and production enterprise "Rubin", Penza, Russia

⁵ Penza State University, Penza, Russia

¹ boyarkyndmyrty@gmail.com, ² EgorAseev829@gmail.com, ³ dmitgoluschko@yandex.ru,

⁴ 0400@npp-rubin.ru, ⁵ luyenko_av@bk.ru

Abstract. *Background.* The method of registration of maintenance and repair of pipeline fittings using RFID technology (Radio Frequency Identification, radio frequency identification) is considered. The proposed method makes it possible to simplify and automate the process of collecting information about the time and content of work on maintenance and repair of pipeline fittings, and thus strengthen control over its implementation. This increases the reliability and safety of equipment operation. The necessity of regular and high-quality MRO of TPA is justified. *Materials and methods.* The methods of automated data collection on the performed maintenance and repair work and the condition of the crane assembly and their recording in an RFID tag are described. The composition of the hardware of the installation for automated registration of the pipeline fittings is analyzed. *Results and conclusion.* A protocol for recording data on maintenance and repair of pipeline fittings into an RFID tag is proposed in order to simplify and partially automate the process of collecting information about maintenance and repair and strengthen control over its conduct. The analysis of the capabilities of RFID tags and the organization of the RFID tag memory structure is carried out and a list of information recorded during registration of work necessary for quantitative and qualitative assessment of the conducted

maintenance and repair of pipeline fittings is described. The minimum list of equipment necessary for the implementation of the hardware of the installation for the registration of maintenance is described, a description of the operation of this installation and its block diagram is given. The conclusion is made about the necessity and relevance of the application of the proposed method of registration of information on the conduct of maintenance and repair of pipeline fittings.

Keywords: RFID technology, maintenance and repair, maintenance registration, pipeline fittings, microcontrollers, protocol

For citation: Boyarkin D.S., Aseev E.A., Golushko D.A., Abuzyarov I.R., Lysenko A.V. Protocol of registration of maintenance of pipeline fittings. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2024;(2):95–102. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-11

Введение

Проведение технического обслуживания и ремонта трубопроводной арматуры (ТОиР ТПА) является важнейшим аспектом обеспечения ее надежной и безопасной работы. Если техническое обслуживание и ремонт какого-либо оборудования проводятся регулярно, качественно и в соответствии с регламентом, то вероятность возникновения отказов и сбоев в его работе снижается. Это особенно важно для тех устройств, которые продолжительно работают в критических условиях и от которых зависит безопасность людей или функционирование важных систем. К таким устройствам относится трубопроводная арматура (ТПА) – техническое устройство, устанавливаемое на трубопроводах, оборудовании и емкостях, предназначенное для управления потоком рабочей среды (например, природного газа) путем изменения проходного сечения¹ [1].

С экономической точки зрения своевременный контроль за техническим обслуживанием ТПА снижает риск возникновения аварий на трубопроводах, что в свою очередь уменьшает затраты на потенциальный ремонт и восстановление поврежденных участков, а также предотвращает возможные потери из-за простоя системы. Кроме того, очевидно, что ТО помогает поддерживать трубопроводную арматуру в исправном техническом состоянии, что позволяет повысить эффективность ее использования и обеспечивает надежность системы в целом.

С точки зрения безопасности людей и окружающей среды регулярное техническое обслуживание и контроль за его осуществлением позволяют предупредить или своевременно обнаружить и устранить возможные утечки и другие неисправности ТПА, предотвратить возникновение чрезвычайных ситуаций и минимизировать риски для окружающей среды и здоровья людей.

Таким образом, регулярное проведение мероприятий ТОиР и контроль за ним при помощи регистрации позволяют выявить и устранить проблемы на ранних стадиях, что снижает вероятность более серьезных отказов и связанных с ними затрат.

Анализ необходимого оборудования для автоматической регистрации полного объема технического обслуживания

При проведении технического обслуживания может быть проведен сбор следующих данных о состоянии ТПА: сведения о герметичности кранового узла, давлении рабочей среды и объеме закаченной смазочной пасты (во время проведения ТО, при необходимости, может быть выполнена операция набивания смазочной пасты в узел шарового крана). Для этого в составе привода ТПА должны присутствовать следующие датчики с выводом на отдельный герметичный разъем: датчик электроакустической эмиссии, который будет улавливать переток газа при наличии утечки в крановом узле; датчик давления рабочей среды для контроля состояния привода при перестановке затвора; датчик объема закаченной смазочной пасты, в качестве которого может быть применен датчик Холла (устанавливается в смарт-фитинг, присоединяемый в разрыв соединительных элементов, через которые закачивается паста)².

Прием и обработка полученных данных от датчиков реализованы при помощи микроконтроллера семейства ESP32 с контроллером Ethernet, который при необходимости может осуществлять

¹ ГОСТ 24856-2014. Арматура трубопроводная. Термины и определения: Межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2014 г. № 1902-ст: дата введения 2015-01-04.

² СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-454-2010. Правила эксплуатации магистральных газопроводов: Стандарт организации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом ОАО «Газпром» от 24 мая 2010 г. № 130.

передачу информации о ходе ТОиР на пользовательский терминал в режиме реального времени. В качестве пользовательского терминала может быть использован ноутбук, планшетный компьютер или смартфон с установленным специальным программным обеспечением. Передача данных между терминалом и контроллером ESP32 реализуется через интерфейс Ethernet или Wi-Fi.

Регистрация собранных и обработанных данных с датчиков осуществляется путем их записи в память RFID-метки (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация), каждая из которых должна быть закреплена за конкретным оборудованием. За запись информации в память метки также отвечает микроконтроллер. На рис. 1 приведена структурная схема установки для сбора и регистрации данных о состоянии кранового узла.

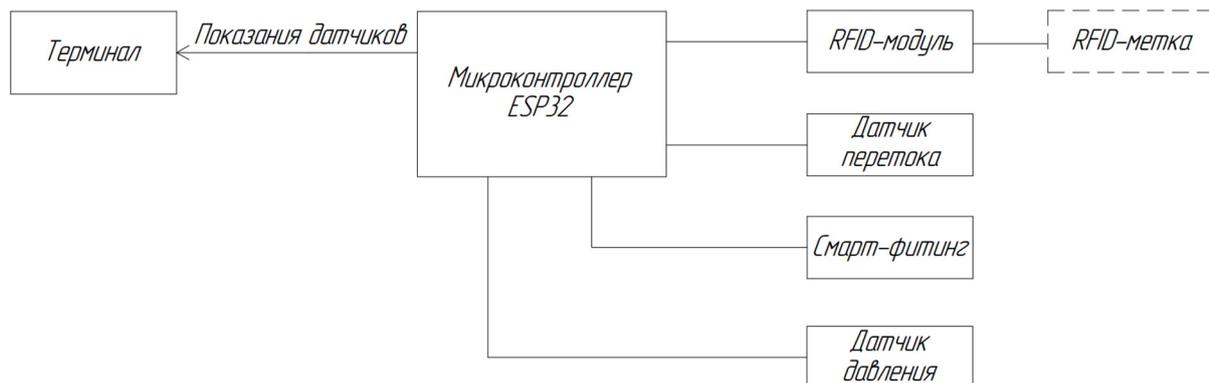


Рис. 1. Структурная схема установки

Согласно структурной схеме установка для сбора и регистрации данных о состоянии кранового узла включает в себя печатную плату с микроконтроллером, к которой по интерфейсу SPI подключается RFID-модуль с антенной для считывания и записи информации в RFID-метки. Сами RFID-метки несъемным способом фиксируются на оборудовании, за которым они закреплены, и пломбируются для того, чтобы исключить возможность ее несанкционированного снятия или подмены. К выводам GPIO-контроллера с помощью разъема на приводе ТПА подключаются датчик электроакустической эмиссии для регистрации наличия перетока, смарт-фитинг с установленным внутри него счетчиком объема закаченной смазочной пасты и датчик давления из состава привода ТПА (для определения открытия и закрытия кранового узла). На плате контроллера присутствует разъем RJ45, к которому при необходимости кабелем может подключаться пользовательский терминал для отображения показаний датчиков.

Анализ возможностей RFID-меток

Различные разновидности и типы RFID-меток в зависимости от выполняемых ими задач могут хранить разное количество информации: от одного серийного номера до нескольких страниц данных [2, 3]. Длительность эксплуатации меток также может быть разной и зависит от ее типа и производителя. Некоторые типы меток имеют ресурс более 10 лет. RFID-метки способны сохранять работоспособность при различных условиях, но все-же их долговечность зависит от факторов окружающей среды, таких как температура, влажность, атмосферное давление, электромагнитные и магнитные помехи и близость металлических объектов.

Метки высокочастотного диапазона (известные как HF-метки, работающие в диапазоне 13,5 МГц) обычно работают при температурах от -20 до $+85$ °C и относительной влажности воздуха до 95 %.

Метка, устанавливаемая на оборудование и предназначенная для хранения данных о ТОиР ТПА, выполнена в защищенном от внешних воздействий металлическом корпусе.

Организация памяти RFID-меток

Структура памяти RFID-меток рассмотрена на примере меток типа MIFARE Classic 1K, являющихся наиболее распространенной и часто применяемой разновидностью [4]. Объем памяти таких меток составляет 1 Кбайт. Структура памяти этих меток представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура памяти метки MIFARE Classic 1K

Сектор	Блок	Содержимое
15	63	Блок безопасности
	62	16 байт данных
	61	16 байт данных
	60	16 байт данных
...
01	07	Блок безопасности
	06	16 байт данных
	05	16 байт данных
	04	16 байт данных
00	03	Блок безопасности
	02	16 байт данных
	01	16 байт данных
	00	Информация изготовителя

Память метки условно разделена на 16 секторов. Каждый сектор включает в себя по четыре строки, называемых блоками. Один блок (строка) вмещает 16 байт данных. Таким образом, 64 блока по 16 байт позволяют записать 1 Кбайт информации. Адресация в памяти производится по номерам блоков, от 0 до 63.

Все секторы, за исключением нулевого, имеют три блока данных и один блок безопасности (sector trailer), отвечающий за защиту данных от несанкционированного чтения и записи. Каждый из этих блоков может быть прочитан и перезаписан (при соблюдении определенных условий), нельзя перезаписать только нулевой блок.

Нулевой блок содержит в себе уникальный идентификатор метки – UID, тип метки и другую информацию, записанную производителем. UID как правило состоит из 4 байт, свободно считываемых из метки. Нулевой сектор не может быть каким-либо образом изменен пользователем, если речь идет о «классических» метках.

Безопасность и защита RFID-меток

Для защиты от несанкционированного чтения и записи данных в метку, в структуре ее памяти предусмотрены блоки безопасности [4]. Блоком безопасности является каждый 4-й блок сектора. Каждый блок безопасности отвечает за свой сектор – он хранит 2 ключа доступа по 6 байт, называемые ключами *A* и *B*, а также специальные биты доступа, которые содержат настройки доступа. Ключи *A* и *B* используются для аутентификации и последующего доступа к блокам данных в пределах сектора, т.е. ключи, которые записаны в блоки безопасности метки, сверяются с ключами, которые предоставляет устройство-считыватель. Таким образом, для того, чтобы получить доступ к любому из блоков внутри сектора, необходимо «разблокировать» этот сектор, с помощью одного из ключей. Поэтому, если завод-изготовитель изменил ключи доступа по умолчанию в своих RFID-метках, скопировать или редактировать содержимое, не зная новые ключи, уже нельзя. Записать в метку новые ключи доступа возможно, лишь зная действующие на данный момент ключи.

Таким образом, сведения об операциях по обслуживанию кранового узла и показания датчиков в каждую метку будут записываться лишь во время проведения работ по ТО в автоматическом режиме. Записать или считать информацию для того, чтобы ее сфальсифицировать, незарегистрированным устройством, без знания ключей безопасности невозможно.

Протокол записи данных в RFID-метку

В информации о проведенном ТОиР должны содержаться показания с датчика перетока, датчика количества закаченной пасты, количество проведенных перестановок затвора кранового узла, а также дата и время проведения работ по ТОиР ТПА [5].

Обозначенные сведения, получаемые контроллером при каждом ТО, будут являться пакетом полезных данных. Запись о ТОиР осуществляется в соответствии со структурой протокола побайтно,

т.е. для каждого показания в памяти метки будет использоваться 1 байт. Первый блок нулевого сектора содержит информацию о количестве записей о ТО, произведенных в метку, а также сведения об обслуживаемом оборудовании. Запись даты и времени проведения работ по ТОиР разделена на несколько байт: первый байт строки – часы в двоично-десятичном формате, второй байт – минуты в двоично-десятичном формате, третий – число месяца, четвертый – сам месяц, и пятый байт – текущий год без первых двух цифр (0...99). В еще три байта памяти будут записываться показания с двух датчиков и значение счетчика перестановки затвора (количество открытий-закрытий крана). Таким образом, каждый пакет полезных данных будет занимать 8 байт. Это значит, что в каждом блоке (одной строке) памяти может уместиться два пакета полезных данных, так как объем одного блока памяти составляет 16 байт. Всего в метке, без учета блоков безопасности, таких строк 46, следовательно, на одну метку с объемом памяти 1 Кбайт таким способом можно произвести 92 записи об обслуживании кранового узла. Учитывая это, проводя работы по ТОиР ТПА 1 раз в 6 месяцев с регистрацией сведений о ТО в метку, срок эксплуатации одной метки составит 46 лет. Структура каждого сектора памяти метки с разделением блоков на пакеты полезных данных и примером заполнения блоков с тремя записями (из 92 возможных) о проведенном ТОиР представлена в табл. 2. Символы FF (обозначение числа 255 в шестнадцатеричной системе), записываются в каждый байт по умолчанию и означают, что ранее в эти байты ничего не записывалось и работы по ТОиР не проводились.

Таблица 2

Структура памяти RFID-метки с разделением блоков

Сектор 0		
Первая запись о проведении ТОиР	Вторая запись о проведении ТОиР	Номер и содержание блока
0С 87 89 03 01 08 24 00	62 63 64 65 66 67 68 69	Блок 0. (ID метки и пр. служебная информация)
03 FF FF FF FF FF FF FF	FF FF FF FF FF FF FF FF	Блок 1 (Данные о количестве и типе записей в метку, пока используется один нулевой байт)
08 34 24 10 22 1В 09 02	14 09 21 06 23 10 00 04	Блок 2 (Две записи о ТОиР)
* * * * * *	* * * * * *	Блок 3. (Пароль сектора метки и пр. служебная информация)
Сектор 1		
14 27 21 06 23 0E 10 04	FF FF FF FF FF FF FF FF	Блок 4 (Две записи о ТОиР)
FF FF FF FF FF FF FF FF	FF FF FF FF FF FF FF FF	Блок 5 (Две записи о ТОиР)
FF FF FF FF FF FF FF FF	FF FF FF FF FF FF FF FF	Блок 6 (Две записи о ТОиР)
* * * * * *	* * * * * *	Блок 7. (Пароль сектора метки и пр. служебная информация)
Сектор 2 – Сектор 15		
FF FF FF FF FF FF FF FF	FF FF FF FF FF FF FF FF	Блок 8 (Две записи о ТОиР)
FF FF FF FF FF FF FF FF	FF FF FF FF FF FF FF FF	Блок 9 (Две записи о ТОиР)
FF FF FF FF FF FF FF FF	FF FF FF FF FF FF FF FF	Блок 10 (Две записи о ТОиР)
* * * * * *	* * * * * *	Блок 11. (Пароль сектора метки и пр. служебная информация)

В соответствии с табл. 2 UID метки являются первые 4 байта нулевого блока: «0С 87 89 03». Запись «03» в первом блоке означает, что в метку было произведено три записи о ТОиР. Записи «08», «34», «24», «10», «22» в следующем блоке означают, что первая запись о ТОиР была произведена в 8 часов 34 минуты 24 октября 2022 года. «1В» в следующем байте данных означает количество закаченной во время ТО пасты в миллилитрах, умноженное на 10, т.е. было закачено $27 \cdot 10 = 270$ мм пасты. Запись «09» – показатель напряжения датчика перетока, а «02» – количество перестановок затвора кранового узла. Далее следует второй пакет данных о ТО, последовательность и содержание данных в остальных пакетах аналогичны.

Пример одной записи с описанием содержания каждого байта пакета полезных данных представлен в табл. 3.

Сведения в метку будут записываться в том же порядке, в котором они представлены в протоколе (табл. 3). В первую очередь в метке контроллером фиксируется время и дата проведения обслуживания. Они записываются в первые 5 байт пакета. После набивания смазочной пасты в крановый узел сведения об объеме закаченной пасты фиксируются смарт-фитингом. Контроллер производит

опрос смарт-фитинга и датчика перетока и записывает полученные данные в метку, в 6-й и 7-й байты пакета соответственно. При поступлении на контроллер команд на перестановку затвора кранового узла их количество также фиксируется и записывается в метку в последнюю очередь, так как перестановка затвора может осуществляться несколько раз на протяжении всего времени проведения ТО.

Таблица 3

Содержание пакетов полезных данных одного блока памяти

Номер байта	Содержание байта	
1	Первая запись о проведении ТОиР	00...24 Часы в двоично-десятичном формате
2		00...59 Минуты в двоично-десятичном формате
3		1...31 Число месяца в двоично-десятичном формате
4		1...12 Месяц в двоично-десятичном формате
5		00...99 Год в двоично-десятичном формате
6		Значение счетчика закачанной пасты
7		Напряжения датчика перетока
8		Значение счетчика перестановки затвора
9	Вторая запись о проведении ТОиР	00...24 Часы в двоично-десятичном формате
10		00...59 Минуты в двоично-десятичном формате
11		1...31 Число месяца в двоично-десятичном формате
12		1...12 Месяц в двоично-десятичном формате
13		00...99 Год в двоично-десятичном формате
14		Значение счетчика закачанной пасты
15		Напряжения датчика перетока
16		Значение счетчика перестановки затвора

Заключение

Таким образом, необходимость контроля и регистрации проведения технического обслуживания ТПА можно обосновать следующими факторами: обеспечение безопасности эксплуатации оборудования, предотвращение возможных аварий и поломок, своевременное выявление и устранение неисправностей, повышение эффективности и надежности работы ТПА, контроль затрат на техническое обслуживание и ремонт, соблюдение требований законодательства и нормативных документов в области промышленной безопасности и охраны труда, а также обеспечение экологической безопасности эксплуатации ТПА. Представленный способ регистрации сведений и протокол записи данных о ТО ТПА позволяют упростить данную операцию путем частичной автоматизации, усилить контроль за проведением ТО и в перспективе уменьшить стоимость и увеличить безопасность эксплуатации ТПА.

Список литературы

1. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Полесский С. Н. [и др.]. Функциональная модель информационной технологии обеспечения надежности сложных электронных систем с учетом внешних воздействий // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 184–187.
2. Бояркин Д. С., Ежижанский В. Д., Асеев Е. А. [и др.]. Анализ технологии RFID для систем контроля устройств повышенной надежности // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2023»): материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 2–3 ноября 2023 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. С. 227–233. EDN: EKLYWA
3. Власов А. И., Григорьев П. В., Жалнин В. П. Применение методов и средств радиочастотной идентификации в корпоративных информационных производственных системах // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2017. № 1. С. 272–277.
4. Смирнов А. С., Стариковский А. В. Программно-аппаратный комплекс RFID для автоматизации учета объектов // Наука и современность. 2010. № 3-2. С. 209–213.
5. Семенов А. Д., Волков А. В., Шумкина А. Ю. Разработка системы контроля и управления доступом на основе RFID-меток с двойной аутентификацией // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2021»): материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. с

элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 28–30 октября 2021 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 93–103. EDN: JPGVAU

References

1. Yurkov N.K., Zatylnik A.V., Poleskiy S.N. et al. A functional model of information technology for ensuring reliability of complex electronic systems taking into account external influences. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2014;1:184–187. (In Russ.)
2. Boyarkin D.S., Ezhizhanskiy V.D., Aseev E.A. et al. Analysis of RFID technology for monitoring systems of devices with increased reliability. *Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii («Shlyandinskije chteniya – 2023»): materialy XV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. s elementami nauch. shk. i konkursom nauch.-issled. rabot dlya studentov, aspirantov i molodykh uchennykh (g. Penza, 2–3 noyabrya 2023 g.) = Methods, tools and technologies for obtaining and processing measurement information ("Shlyandinsky Readings – 2023") : materials of the XV International Scientific and Technical a conference with elements of a scientific school and a scientific research competition. works for students, postgraduates and young scientists (Penza, November 2–3, 2023)*. Penza: Izd-vo PGU, 2023:227–233. (In Russ.). EDN: EKLYWA
3. Vlasov A.I., Grigor'ev P.V., Zhalnin V.P. Application of methods and means of radio frequency identification in corporate information production systems. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2017;(1):272–277. (In Russ.)
4. Smirnov A.S., Starikovskiy A.V. RFID hardware and software complex for automation of object accounting. *Nauka i sovremennost' = Science and modernity*. 2010;(3-2):209–213. (In Russ.)
5. Semenov A.D., Volkov A.V., Shumkina A.Yu. Development of an access control and management system based on RFID tags with dual authentication. *Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii («Shlyandinskije chteniya – 2021»): materialy XIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. s elementami nauch. shk. i konkursom nauch.-issled. rabot dlya studentov, aspirantov i molodykh uchennykh (g. Penza, 28–30 oktyabrya 2021 g.) = Methods, tools and technologies for obtaining and processing measurement information ("Shlyandinsky Readings – 2021") : materials of the XIII International Scientific and Technical a conference with elements of a scientific school and a scientific research competition. works for students, postgraduates and young scientists (Penza, October 28–30, 2021)*. Penza: Izd-vo PGU, 2021:93–103. (In Russ.). EDN: JPGVAU

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Сергеевич Бояркин

техник-конструктор,
Научно-производственное предприятие «Рубин»
(Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2)
E-mail: boyarkyndmytry@gmail.com

Егор Андреевич Асеев

техник-конструктор,
Научно-производственное предприятие «Рубин»
(Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2)
E-mail: EgorAseev829@gmail.com

Дмитрий Александрович Голушко

кандидат технических наук,
начальник отдела,
Научно-производственное предприятие «Рубин»
(Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2)
E-mail: dmitgolusenko@yandex.ru

Ильдар Ринатович Абузаров

начальник отделения,
Научно-производственное предприятие «Рубин»
(Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2)
E-mail: 0400@npp-rubin.ru

Dmitry S. Boyarkin

Technician-designer,
Scientific and production enterprise «Rubin»
(2 Baidukova street, Penza, Russia)

Egor A. Aseev

Technician-designer,
Scientific and production enterprise «Rubin»
(2 Baidukova street, Penza, Russia)

Dmitry A. Golushko

Candidate of technical sciences, head of department,
Scientific and production enterprise «Rubin»
(2 Baidukova street, Penza, Russia)

Ildar R. Abuzarov

Head of department,
Scientific and production enterprise «Rubin»
(2 Baidukova street, Penza, Russia)

Алексей Владимирович Лысенко

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
конструирования и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: luysenko_av@bk.ru

Aleksey V. Lysenko

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of radio equipment design and production,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 02.02.2024

Поступила после рецензирования/Revised 20.02.2024

Принята к публикации/Accepted 15.03.2024