

Научная статья  
УДК 681.51.015  
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-1-72-80>

## Исследование и практическая реализация модели идентификации объектов систем учета материального потока на основе стандартов CCSDS

*Николай Николаевич Майоров<sup>1</sup>, Виталий Евгеньевич Таратун<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, Россия, [sciencesuai@yandex.ru](mailto:sciencesuai@yandex.ru)

**Аннотация.** Несмотря на широкое распространение аппаратных средств и программных решений на основе радиочастотной идентификации (RFID) для систем материального потока и цепей поставок их успешное внедрение сегодня выполняется на уровне локальных процессов и систем. При решении вопроса передачи информации об оборудовании между разными системами возникают ошибки, вызванные несогласованностью форматов данных. Данная ситуация возникает при практической работе приборостроительных предприятий и предприятий космической отрасли. Наблюдается разрозненность используемых информационных сред, моделей и методов. Сегодня крайне актуальна разработка новых моделей и методов идентификации объектов материального потока, которые позволяют обеспечить доступность данных и возможность интеграции с существующими аппаратными системами RFID, считывателями и другими аппаратными системами. В качестве методического обеспечения были выбраны стандарты CCSDS, которые предлагают разработку аппаратно-программных комплексов для решения задачи идентификации объектов на основе RFID-меток. Предложен системный подход к представлению уровней идентификации объектов и доказана необходимость разработки новой системы, которая применима для идентификации в течение всего жизненного цикла объекта материального потока. Представлен анализ изменений стандартов CCSDS в сфере разработки аппаратно-программных комплексов для решения задачи идентификации объектов на основе RFID-меток, приводится разработанная новая модель представления данных для идентификации объекта, приводится практическая реализация в виде подпрограммы. Дополнительно реализована возможность добавления новой информации об объекте материального потока, в результате чего появляется возможность на практике решать задачу мониторинга его перемещения. Представленное решение отличается универсальностью и может использоваться с большим количеством известных моделей RFID-меток. На данный момент система идентификации прошла успешное тестирование, ее результаты представлены в документе «Spacecraft onboard interface services – RFID tag encoding specification» стандарта CCSDS.

**Ключевые слова:** материальный поток, идентификация, стандарт CCSDS, радиочастотная метка, кодирование, декодирование, информация

**Для цитирования:** Майоров Н. Н., Таратун В. Е. Исследование и практическая реализация модели идентификации объектов систем учета материального потока на основе стандартов CCSDS // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 1. С. 72–80. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-1-72-80>.

Original article

## Research and development of software solution for identifying objects of material flow accounting systems based on CCSDS standards

*Nikolai N. Maiorov<sup>1</sup>, Vitaly E. Taratun<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
Saint-Petersburg, Russia, [sciencesuai@yandex.ru](mailto:sciencesuai@yandex.ru)

**Abstract.** Although RFID hardware and software solutions for material flow and supply chain systems are widespread, their implementation today is realized at the local process and system level. When solving the problem of transmitting information about equipment between different systems, errors of inconsistency in data formats occur. This situation arises in the practical work of instrument making and space industry enterprises. There is a fragmentation of the used information environments, models and methods. Today the development of new models and methods of identification of objects of material flow is important; they would provide data flexibility and the ability to integrate with existing RFID hardware systems, readers and other hardware systems. As a methodological support there have

been chosen CCSDS standards, which offer solutions and development of hardware and software packages to solve the problem of identification of objects based on RFID tags. A systematic approach to representing the object identification levels has been offered and the need to develop a new system that is applicable for the identification throughout the life cycle of the object of material flow has been proved. The analysis of changing CCSDS standards in the development of hardware and software systems is presented to solve the problem of identification of objects based on RFID tags, the developed new model of data representation for the identification of the object is given, the practical implementation in the form of a subprogram is given. In addition, the possibility of adding new information about the object of the material flow is implemented, which has caused an opportunity to solve the problem of monitoring its movement in practice. The presented solution is versatile and can be used with a large number of well-known models of RFID tags. The identification system has been tested successfully so far and the results are presented in the standard CCSDS "Spacecraft onboard interface services – RFID tag encoding specification".

**Keywords:** material flow, identification, CCSDS standard, radio frequency tag, coding, decoding, information

**For citation:** Maiorov N. N., Taratun V. E. Research and development of software solution for identifying objects of material flow accounting systems based on CCSDS standards. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2022;1:72-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-72-80>.

### Введение

Внедрение новых цифровых сервисов и решений, разработка новых программных комплексов сегодня являются одним из основных направлений развития государственных и частных компаний для реализации ускорения как внутренних, так и внешних процессов. Кроме того, ведется активная разработка мобильных решений, клиентских приложений, что обеспечивает реализацию мобильности сотрудников и ускоряет их доступ к необходимым данным [1–3]. Новые цифровые решения внедряются в цепи поставок, системы товародвижения, различные системы учета материального потока. Для данных систем наблюдается активное внедрение решений на основе радиочастотной идентификации (RFID) [3, 4], разработка сервисов по доставке и отслеживанию объектов в цепях поставок. При этом сегодня решена группа задач по организации перевозок и управления на транспорте, круг задач учета объектов цепей поставок, которые представляют собой совокупность внедрения аппаратно-программных комплексов, не объединенных полностью в единую информационную цепь. На основе проведенного авторами анализа организации идентификации и мониторинга груза в деятельности различных компаний [5–7] установлено, что решения носят локальный характер, часто они ограничены сервисами одного подразделения. При передаче объекта (к примеру, прибора) от одной компании к другой возникает группа сложных вопросов по согласованию форматов, согласованию передаваемой информации, согласованию используемых баз данных, согласованию режимов обновления информации для последующего анализа аппаратными комплексами, например радиочастотными считывателями объектов.

Сегодня есть следующие варианты организации идентификации объектов материального потока [4, 8, 9]:

– изолированные зоны идентификации на предприятиях (в рамках отдельных процессов или участков производств);

– последовательная идентификация во время производства и дальнейшего перемещения объектов материального потока;

– идентификация в течение жизненного цикла объекта материального потока.

Если для первого и второго из представленных вариантов есть готовые решения на базе аппаратно-программных комплексов радиочастотной навигации, то для последнего варианта необходима разработка новых типов систем идентификации. Несмотря на то, что, как и десятилетия назад, самой массовой, дешевой и простой в эксплуатации технологией автоматической идентификации остается штриховое кодирование, радиочастотная идентификация очень активно развивается, сфера ее применения значительно расширяется. В то же время решение задачи идентификации требует разработки новых моделей и методов. Особенно данная задача актуальна для сферы авиационного приборостроения и космических предприятий. К примеру, применительно к международной космической станции (МКС) задача идентификации объектов материального учета должна быть решена с учетом взаимодействия различных сегментов. Процесс формирования грузопотока (материальных объектов) и его мониторинг при выполнении полета с последующей приемкой на МКС представлен в работах [10, 11]. В этой связи управление материальным потоком (грузопотоком) для обеспечения автономной жизнедеятельности орбитальных космических станций, включая в будущем и дальний космос, является актуальной задачей в части обеспечения безопасности и надежности при эксплуатации указанных объектов. Если рассматривать системно, то необходимы новые системы идентификации объектов для данной отрасли, причем они должны быть универсальными, чтобы каждый сегмент МКС мог в равной степени работать с ними. В этой связи невозможно применение существующей «наземной» системы идентификации и аппаратно-программных комплексов для решения задачи управления и мониторинга

Maiorov N. N., Taratun V. E. Research and development of software solution for identifying objects of material flow accounting systems based on CCSDS standards

материальных потоков с учетом международного взаимодействия.

Для приборостроительных предприятий необходима разработка моделей и методов идентификации, которые позволят дополнительно вносить информацию об узле прибора при передвижении его по материальному потоку. В этом аспекте использование только системы радиочастотной идентификации позволяет идентифицировать объект в отдельных процессах на основе считывателей, рамок и прочих аппаратных комплексов, которые работают с метками приборов [5]. При передаче в другую систему необходима согласованность баз данных и их обновление при получении информации об объекте. Без выполнения обновления аппаратный комплекс не сможет определить и считать метки объектов на следующем участке товародвижения.

Объектом исследования выбраны метки объектов цепей поставок для приборостроительных предприятий и предприятий космической отрасли. Информация, как объект исследования, представлена в RFID-метке. Необходима разработка новых программных систем идентификации, программ-

ных подсистем анализа меток, которые бы обеспечили кроссплатформенность решений, имели возможность интегрироваться в существующие программно-аппаратные комплексы для учета материальных потоков, имели возможность совместимости с технологией радиочастотной идентификации. Первые решения в данной области предлагаются комитетом CCSDS [6, 12, 13] (Международный консультативный комитет по космическим системам передачи данных) с 2017 г.

### Особенности процесса идентификации и разработки стандартов CCSDS

Ввиду активной разработки новых наземных складских систем и улучшения имеющихся систем управления грузопотоками, для космоса задача идентификации обладает достаточной сложностью и значительной многокритериальностью параметров. При этом необходима разработка систем, которые совмещают решения «наземных» и «космических» процессов. Представим существующие на сегодняшний день решения идентификации на основе радиочастотной идентификации (рис. 1).

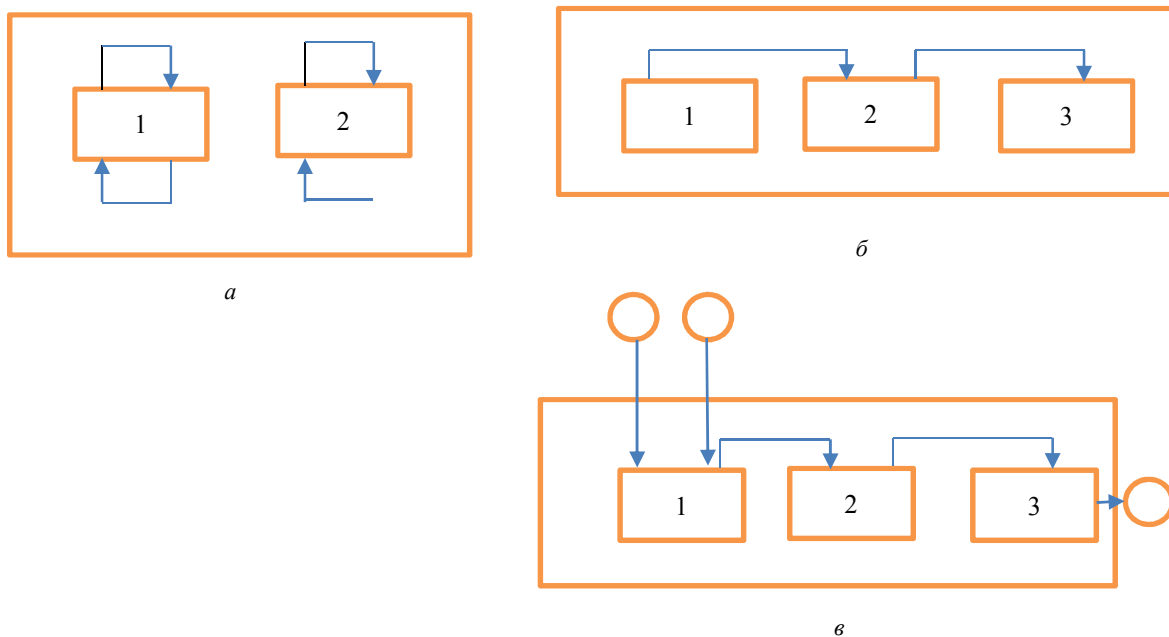


Рис. 1. Уровни идентификации объектов: а – изолированные зоны идентификации; б – последовательная идентификация во время производства и дальнейшего перемещения объектов материального потока; в – идентификация в течение жизненного цикла

Fig. 1. Object identification levels: а – isolated identification zones; б – consistent identification during production and further moving of the material flow objects; в – identification during the life cycle

Важность идентификации и последующего применения обусловлена как условиями внешней среды, так и условиями эксплуатации и вывода из эксплуатации оборудования при завершении срока его службы. Если рассматривать статистиче-

ские данные, то МКС [11] представляет собой сложную систему, требующую особых цепей поставок, эксплуатируемую в экстремальных для выживания условиях. Известно, что на данный момент МКС оперирует грузами порядка семи ты-

сяч наименований. Вся жизнедеятельность станции и экипажа напрямую зависит от своевременности обеспечения ее ресурсами, включая топливо для маневров, воду и воздух, продукты питания для космонавтов, научную аппаратуру и запасные части для ремонта техники.

Модели и методы идентификации грузопотоков начали обсуждаться в рамках созданного в 1982 г. CCSDS. Организация представляет собой площадку для обсуждения общих проблем в области разработки и эксплуатации систем космических данных. В настоящее время в его состав входят 11 агентств-членов, 28 агентств-наблюдателей и более 140 промышленных партнеров. Комитету CCSDS было поручено изучить проблемы взаимной поддержки и, благодаря коллективным усилиям международных экспертов, разработать передовые стандартизированные решения этих проблем обмена данными космических миссий. Рекомендации CCSDS были созданы, рассмотрены участвующими агентствами CCSDS и впоследствии были приняты участвующими агентствами CCSDS в качестве окончательных. Действия CCSDS значительно улучшают планирование и выполнение

совместных космических миссий участвующими учреждениями. Основные направления ведутся в следующих областях [6]:

- телеметрия, отслеживание и командование;
- процессы обмена информацией;
- операции перекрестной поддержки;
- радиометрические и орбитальные данные.

Согласно проведенному анализу, решения в области передачи информации создали основу для проведения разработок на основе систем радиочастотной идентификации. Комитет CCSDS разработал стандарты для обмена информацией, радиометрической идентификации. Классическая модель учета товародвижения и использование штрихкодов не имеют развития для космических систем, их применение крайне ограничено. С 2017 г. проводятся исследования, в основе которых создание системы идентификации и алгоритмов кодирования и декодирования. На рис. 2 представлен график изменения стандартов CCSDS в сфере разработки аппаратно-программных комплексов для решения задачи идентификации объектов на основе RFID-меток.

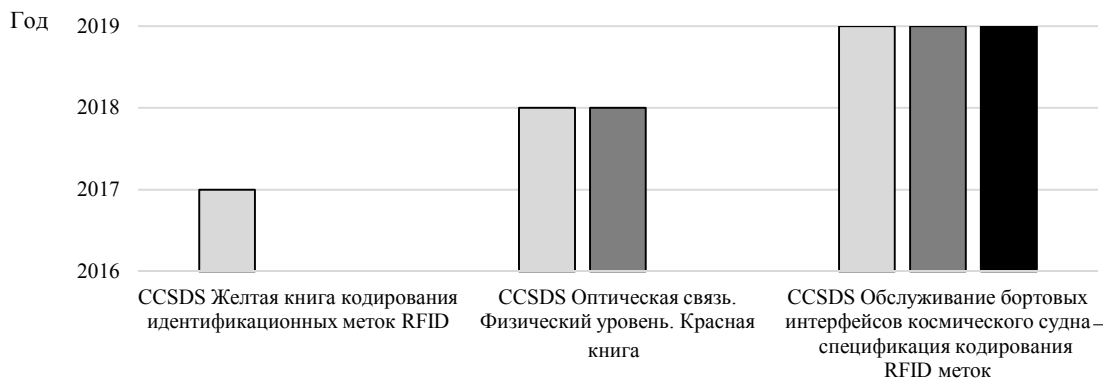


Рис. 2. Развитие стандартов CCSDS в сфере разработки аппаратно-программных комплексов для решения задачи идентификации объектов на основе RFID-меток

Fig. 2. Development of CCSDS standards in the field of development of hardware and software for solving the problem of object identification based on RFID tags

Для фиксации различных версий стандартов введена цветовая система идентификации.

Результаты проведенных авторами исследований представлены в таких стандартах, как “CCSDS Rfid tag-encoding yellow book” 2017 г., “Optical Communications Physical Layer Red Book”, “Spacecraft onboard interface services – Rfid tag encoding specification” [13]. Рекомендуемые стандарты позволяют организациям выбирать лучший вариант для совместимого кодирования тегов на основе RFID в поддержку приложения для управления запасами. Спецификация рекомендуемого стандарта облегчает взаимодействие и создает основу для перекрестной поддержки информацион-

ной системы между отдельными участниками, членами космических агентств и сегментами МКС. Представленные стандарты определяют параметры кодирования тегов, которые дополняют, но остаются совместимыми со старой схемой кодирования тегов системы управления запасами, созданной на базе наземных систем. Последний стандарт позволяет более эффективно, гибко использовать технологию RFID для таких приложений, как автономная логистика. Схема кодирования тегов позволит реализовать систему управления запасами и активами, соединяя систему датчиков, аппаратных считывателей и навигационной помощи на борту, к примеру, для МКС и других систем. В том числе

Majorov N. N., Taratun V. E. Research and development of software solution for identifying objects of material flow accounting systems based on CCSDS standards

на основе данной реализации открывается возможность более быстрого проведения инвентаризационного учета оборудования и возможность интеграции в наземные процессы.

**Модель представления данных для идентификации объекта на основе стандарта CCSDS**

Для повышения эффективности управления потоками существует несколько методов и инструментов реализации поставленной задачи. Одним из методов является использование систем автоматической идентификации объектов. В качестве аппаратной платформы выступает технология радиочастотной идентификации (RFID). В данном случае RFID – это инструмент для организации управления цепочками поставок на всех уровнях для осуществления идентификации, мониторинга, учета и планирования потока объектов.

Использование систем радиочастотной идентификации применительно к объекту исследования

регулируется стандартом CCSDS 881.0-M-1 “Spacecraft Onboard Interface Services--RFID-Based Inventory Management Systems. Magenta Book” [13]. Данный документ содержит инструкции по разработке систем этого класса. Рекомендуется использовать радиочастотные, сверхвысокочастотные метки с рабочей частотой 860 960 МГц (стандарт ISO/IEC 18000-6). Этот стандарт регламентирует однократный ввод RFID-меток и их многократное считывание. В свою очередь, стандарт CCSDS 881.1-B-1 “Spacecraft Onboard Interface Services-RFID tag encoding specification. Blue book”, является стандартом, используемым для кодирования RFID-меток. Этот стандарт содержит как структуру представления кодируемой метки, так и таблицу символов, используемых для кодирования.

Согласно стандарту CCSDS RFID-метка хранит информацию о пяти полях данных в двоичной системе, на реализацию которой отводится 96 бит (рис. 3).



Рис. 3. Структура полей данных радиочастотной метки объекта идентификации

Fig. 3. Structure of the data fields of the RFID tag of the identification object

В базе данных информация об объекте хранится в шестнадцатеричной системе с использованием 24 символов.

На рис. 3  $c10$  – символ  $char$ ,  $i10$  – целое число от 0 до 65 535, а последнее поле представляет со-

бой все предыдущие в шестнадцатеричной системе счисления, т. е. 24 символа  $char$ .

Структура данных идентификационной метки представлена на рис. 4.

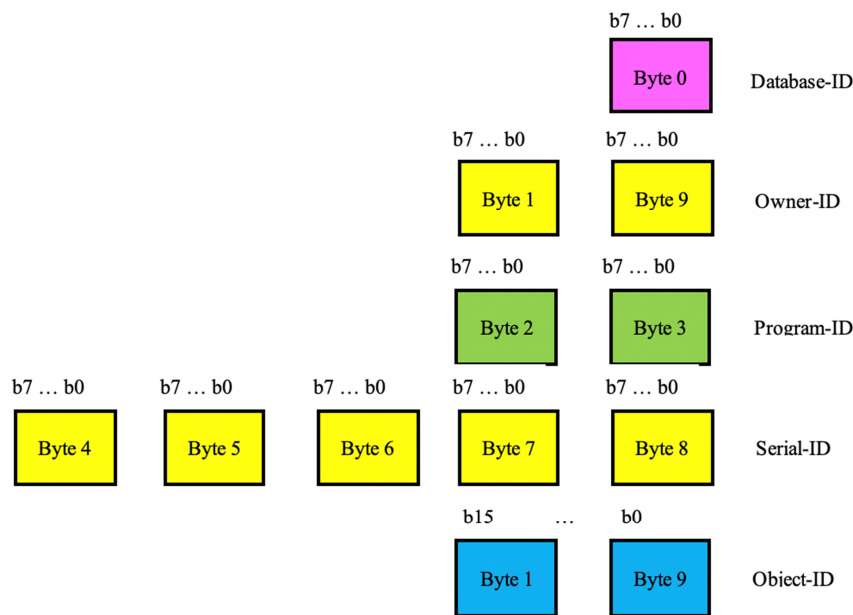


Рис. 4. Структура данных идентификационной метки RFID по стандарту CCSDS

Fig. 4. RFID tag data structure according to CCSDS standard

Согласно рис. 4 данные метки делятся на нескольких основных блоков. Блоки связаны с хранением данных на радиочастотной метке и содержат представление объекта идентификации в двоичной системе. Необходимо отметить, что блок *Serial-ID* представлен с использованием шестнадцатеричной системы счисления и является идентификатором радиочастотной метки, который хранится в базе данных идентификаторов объектов. При генерации данных для кодирования радиочастотной метки, согласно CCSDS 881.1-B-1 [7], идентификатор метки будет содержать кортеж из полей данных объекта:

{*Database-ID*, *Owner-ID*, *Program-ID*,  
*Object-ID*, *Serial-ID*},

где *Database-ID* представляет организацию, ответственную за определение и администрирование пространства имен; *Owner-ID* представляет организацию, которой принадлежит физический актив, к которому прикрепена метка; *Program-ID* представляет подорганизацию организации-владельца; *Object-ID* представляет классы объектов (например, оборудование, аппаратные комплексы, инструменты и т. д.), к которым будут прикреплены метки RFID; *Serial-ID* представляет уникальные объекты, к которым будут прикреплены метки RFID.

Блок памяти будет сформирован с помощью 96 бит, предоставляющих информацию об объекте, к которому относится данная метка (рис. 5).

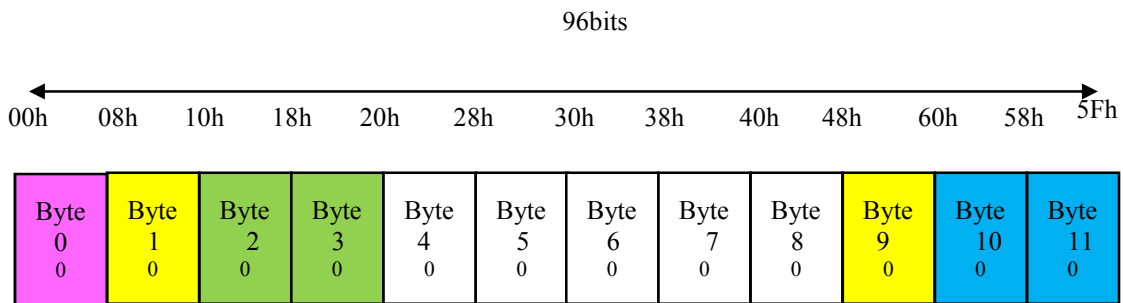


Рис. 5. Представление информации об объекте, к которому относится данная метка

Fig. 5. Information about the labelled object

Для формирования этих полей используется определенный алфавит разрешенных символов (ЕСМА-113). Этот алфавит содержит информацию как о разрешенных символах и наборах для каждого из них битовых комбинаций, так и о значении символа, используемого в шестнадцатеричной нотации. При генерации данных для кодирования RFID-метки поле *Object-ID* представляется в десятичной системе счисления и имеет диапазон представления от 0 до 65 535.

#### Практическая реализация процесса идентификации метки

Основой кодирования является документ под названием CCSDS 881.1-B-1 “Spacecraft Onboard Interface Services- RFID tag encoding specification. Blue book” [6], который является стандартом кодирования RFID-меток. Существует как структура представления закодированной метки, так и таблица символов, которые используются. Каждый символ имеет соответствие восьми битам и представление в восьмеричной системе счисления.

Использование данного стандарта технологии RFID определяет необходимость разработки двух модулей для идентификации (внесения) и тестирования. Первый модуль предназначен для кодирования данных на основе стандартно заданного алфавита символов для четко сформированной структуры полей данных, записанных в метке EPC/TAG ID в блоке памяти RFID. Второй модуль предназначен для выполнения декодирования информации и определения соответствия полученных данных от RFID-метки с базой данных идентификаторов существующих меток.

Для практической реализации и написания программного комплекса использовался язык программирования Java [14]. Выбор данного средства определяется возможностью более оперативной интеграции программного комплекса в существующие аппаратные комплексы на базе RFID. Пример исходных данных для анализа идентификаторов объектов производственных процессов приведен на рис. 6.



Рис. 6. Пример исходных данных для анализа идентификаторов объектов производственных процессов

Fig. 6. A case of initial data for analyzing identifiers of objects of production processes

На рис. 6 приведена оконная форма разработанной подпрограммы [15] для идентификации материальных объектов на основе CCSDS. Следующим шагом является моделирование процесса распознавания потоков идентификаторов материальных объектов при обмене информацией между сегментами, между различными системами.

### Заключение

Представленный стандарт рассматривает как аппаратную, так и программные части системы идентификации объектов. При этом необходимо построение комплексной информационной системы, которая для успешного решения задачи управления материальным потоком требует построения, согласования и адаптации по событиям многоуровневых и взаимосвязанных планов организации материальных потоков различных подразделений, поддерживающих жизненный цикл грузов, объектов. С другой стороны, система идентификации должна обладать достаточным быстродействием и пронизывать все процессы, связанные с товародвижением. Ввиду изменения параметров под влиянием внешней среды представленная система имеет возможность добавления оборудования и обновления информации о существующем и должна использоваться на всем жизненном цикле материального объекта.

На основе выполненного исследования подготовлен проект программных систем, который успешно прошел практические исследования. Представленное решение универсально и может использоваться с большим количеством известных моделей RFID-меток. На данный момент система идентификации прошла успешное тестирование, ее результаты представлены в стандарте Spacecraft onboard interface services – RFID tag encoding specification. Для проверки работы системы идентификации материального потока на кафедре системного анализа и логистики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения были разработаны специальные программные модели и системы посимвольного анализа информации, проведено экспериментирование на основе обмена информацией. Информационные данные были преобразованы с помощью систем кодирования и декодирования, что позволило ускорить информационный обмен и сделать более автоматизированным сбор информации об объектах. Результаты разработки позволили сформулировать вывод о новом качестве обработки информации о материальных объектах, об эффективности маркировки объектов на основе предлагаемой системой идентификации.

### Список источников

1. Kullberg O. Implementation of RFID in Finland. URL: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86132/RFID+in+retailing.pdf;jsessionid=0AAA47E7CBCEC08AF8E6630F1BF07A7F?sequence=1> (дата обращения: 01.12.2021).
2. Finkenzyler K. RFID Handbook. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. Wiley, 2010. 480 p.
3. Finkelzyler K. The RFID Handbook. John Wiley & Sons, 2003. 446 p.
4. Binh D. Radio frequency identification (RFID) and its impacts on logistics activities. Arcada, 2017. 70 p. URL: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149991/Doan\\_Binh.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149991/Doan_Binh.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 01.12.2021).
5. Taratun V. E., Fetisov V. A. RFID technology for automation of transport and storage operations in space // 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2018 (St. Petersburg, Russia, 26-30 November 2018). P. 8604386. DOI: 10.1109/WECONF.2018.8604386.
6. Spacecraft onboard interface services - RFID tag encoding specification Spacecraft Onboard Interface Services -RFID-Based Inventory Management Systems. Iss. 1. Recommendation for Space Data System Practices (Magenta Book), CCSDS 881.0-M-1. Washington, D.C.: CCSDS, May 2012. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.694.2847&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 01.12.2021).
7. Taratun V. E., Fetisov V. A. Development of an identifier analysis algorithms to account for the movement of material flow in space transport systems // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies (Krasnoyarsk, 04 March, 2020). V. 1515. P. 32053.
8. Lukinskiy Val., Lukinsky VI. Designing the analytical base for optimal allocation of stocks in supply chains // Transport and Telecommunication. 2018. V. 19. N. 4. P. 346–355.
9. Lukinskiy Val., Lukinsky VI., Strimovskaya A. Assessment of Inventory Indicators for Nomenclature Groups with Rare Demand // Selected Papers from the 18th International

Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'18 (Riga, Latvia, 17–20 October 2018). Switzerland: Springer, 2019. Iss. 68. P. 121–129.

10. Майоров Н. Н., Фетисов В. А., Таратун В. Е., Романек В. А. Системный анализ. СПб.: Изд-во ГУАП, 2016. 137 с.

11. Лакхин О. И. Особенности постановки задачи планирования программы полета и грузопотока Российского сегмента Международной космической станции // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки. 2015. № 3 (47). С. 32–46.

12. Spacecraft onboard interface services - RFID tag encoding specification. URL: <https://public.ccsds.org/Pubs/881x1b1.pdf> (дата обращения: 01.12.2021).

13. CCSDS RFID tag-encoding yellow book. URL: <https://public.ccsds.org/Publications/YellowBooks.aspx> (дата обращения: 01.12.2021).

Таратун В. Е. Технология разработки логистического программного обеспечения для транспортных процессов. СПб.: Изд-во ГУАП, 2018. 91 с.

15. Св-во о ГР № 2018618499 РФ. Программа анализа и передачи потока данных на основе стандартизации методов и форматов кодировок RFID-меток / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, В. Е. Таратун; правообладатель ФГАО ВО ГУАП (RU); заявл.05.06.2018; опубл. 13.07.2018, Реестр программ для ЭВМ.

## References

1. Kullberg O. *Implementation of RFID in Finland*. Available at: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86132/RFID+in+retailing.pdf;jsessionid=0AAA47E7CBCEC08AF8E6630F1BF07A7F?sequence=1> (accessed: 01.12.2021).

2. Finkenzeller K. *RFID Handbook. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*. Wiley, 2010. 480 p.

3. Finkelzeller K. *The RFID Handbook*. John Wiley & Sons, 2003. 446 p.

4. Binh D. *Radio frequency identification (RFID) and its impacts on logistics activities*. Arcada, 2017. 70 p. Available at: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149991/Doan\\_Binh.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149991/Doan_Binh.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (accessed: 01.12.2021).

5. Taratun V. E., Fetisov V. A. RFID technology for automation of transport and storage operations in space. *2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2018 (St. Petersburg, Russia, 26-30 November 2018)*. Pp. 8604386. DOI: 10.1109/WECONF.2018.8604386.

6. *Spacecraft onboard interface services - RFID tag encoding specification Spacecraft Onboard Interface Services - RFID-Based Inventory Management Systems*. Iss. 1. Recommendation for Space Data System Practices (Magenta Book), CCSDS 881.0-M-1. Washington, D.C.: CCSDS, May 2012. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.694.2847&rep=rep1&type=pdf> (accessed: 01.12.2021).

7. Taratun V. E., Fetisov V. A. Development of an identifier analysis algorithms to account for the movement of material flow in space transport systems. *JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies (Krasnoyarsk, 04 March, 2020)*. V. 1515. Pp. 32053.

8. Lukinskiy Val., Lukinsky Vl. Designing the analytical base for optimal allocation of stocks in supply chains.

*Transport and Telecommunication*, 2018, vol. 19, no. 4, pp. 346-355.

9. Lukinskiy Val., Lukinsky Vl., Strimovskaya A. Assessment of Inventory Indicators for Nomenclature Groups with Rare Demand. *Selected Papers from the 18th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'18 (Riga, Latvia, 17-20 October 2018)*. Switzerland, Springer, 2019. Iss. 68. Pp. 121-129.

10. Maiorov N. N., Fetisov V. A., Taratun V. E., Romanek V. A. *Sistemnyi analiz* [System analysis]. Saint-Petersburg, Izd-vo GUAP, 2016. 137 p.

11. Lakhin O. I. Osobennosti postanovki zadachi planirovaniia programmy poleta i gruzopotoka Rossiiskogo segmenta Mezhdunarodnoi kosmicheskoi stantsii [Features of formulating problem of planning flight program and cargo traffic of the Russian segment of International Space Station]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskije nauki*, 2015, no. 3 (47), pp. 32-46.

12. *Spacecraft onboard interface services - RFID tag encoding specification*. Available at: <https://public.ccsds.org/Pubs/881x1b1.pdf> (accessed: 01.12.2021).

13. *CCSDS RFID tag-encoding yellow book*. Available at: <https://public.ccsds.org/Publications/YellowBooks.aspx> (accessed: 01.12.2021).

14. Taratun V. E. *Tekhnologija razrabotki logisticheskogo programmnogo obespecheniia dlia transportnykh protsessov* [Technology of development of logistics software for transport processes]. Saint-Petersburg, Izd-vo GUAP, 2018. 91 p.

15. Maiorov N. N., Fetisov V. A., Taratun V. E. *Programma analiza i peredachi potoka dannykh na osnove standartizatsii metodov i formatov kodirovok RFID-metok* [Program for analysis and transmission of data flow based on standardization of methods and formats of encoding RFID tags]. Svidetel'stvo o GR № 2018618499 R.; 13.07.2018.

Статья поступила в редакцию 08.12.2021; одобрена после рецензирования 28.12.2021; принята к публикации 21.01.2022  
The article is submitted 08.12.2021; approved after reviewing 28.12.2021; accepted for publication 21.01.2022



**Информация об авторах / Information about the authors**

**Николай Николаевич Майоров** – доктор технических наук, доцент; профессор кафедры системного анализа и логистики; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А; sciencesuai@yandex.ru

**Nikolai N. Maiorov** – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Systems Analysis and Logistics; Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya street, 67, letter A; sciencesuai@yandex.ru

**Виталий Евгеньевич Таратун** – старший преподаватель кафедры системного анализа и логистики; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А; taratun.vitaliy@gmail.com

**Vitaliy E. Taratun** – Senior Lecturer of the Department of Systems Analysis and Logistics; Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya street, 67, letter A; taratun.vitaliy@gmail.com

