

Научная статья  
УДК 681.3.06,621.396  
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-2-52-65>

## **Исследование информационного взаимодействия между различными подсистемами на основе стандартов CCSDS при идентификации материальных объектов**

**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*

**Аннотация.** Ввиду усложнения информационных процессов возникает потребность в разработке моделей и методов взаимодействия различных подсистем, сегментов и, применительно к ним, в разработке методов идентификации объектов. Объектом исследования выбран процесс учета перемещения материальных объектов между различными сегментами сложных систем, к примеру, между различными сегментами международной космической станции, между различными участками системы перемещения материальных потоков или иными сегментами системы «Земля – космос». В качестве материальных объектов были выбраны приборы и приборные комплексы. На основании выполненного исследования уровней сложности структур данных обоснована необходимость разработки систем идентификации для различных участков системы перемещения материальных потоков. Предложен новый метод и рассмотрены результаты практических экспериментов по проведению идентификации материальных объектов на основе CCSDS стандарта (CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book). Аппаратной платформой для учета материальных объектов и сбора информации были выбраны радиочастотные считыватели и бортовые вычислительные сети, представленные в стандарте CCSDS 881.1-B-1 (Spacecraft onboard interface services – RFID tag encoding specification). Для идентификации материальных объектов используются радиочастотные метки. Для решения вопроса передачи информации о материальных объектах представлены разработанная модель информационного обмена и метод проведения идентификации материальных объектов, представлены необходимые поля и структура банка памяти метки. В процессе описания идентификации материальных объектов предлагается использовать специальный алфавит ECMA-113 для представления данных в идентификаторах, помещаемых в RFID-метки. В рамках исследования проводилось моделирование информационного обмена между различными подсистемами при передаче информации о материальных объектах. Представлены результаты проведенных экспериментов, подтверждающие, что универсальность данного алфавита заключается в возможности одновременного использования латинской и кириллической кодировки. Для оценки эффективности предлагаемых моделей и моделирования ситуации обмена информацией о материальных объектах в беспроводных бортовых сетях были разработаны отдельные независимые подпрограммы кодирования, декодирования идентификаторов материальных объектов и проведено практическое моделирование передачи большого объема информации между двумя различными агентствами (сегментами). Разработка программ велась участниками независимо друг от друга. На основе выполненного моделирования информационного взаимодействия и передачи информации о материальных объектах установлено, что ошибка распознавания данных не превышает 6–7 %, причем при увеличении количества объектов это значение не увеличивается. Результаты разработки позволили сформулировать вывод об успешности эксперимента по применению идентификаторов объектов на основе CCSDS для бортовых беспроводных сетей, для использования систем радиочастотной идентификации.

**Ключевые слова:** материальный поток, идентификация, стандарт CCSDS, радиочастотная метка, кодирование, декодирование, моделирование информационного потока, бортовые сети

**Для цитирования:** Майоров Н. Н., Таратун В. Е. Исследование информационного взаимодействия между различными подсистемами на основе стандартов CCSDS при идентификации материальных объектов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 2. С. 52–65. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-2-52-65>.

Original article

## **Research of information interaction between different subsystems based on CCSDS standards in object identification**

**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*

**Abstract.** Due to the increasing complexity of information processes, there is a need to develop models and methods of interaction between various subsystems, segments and, in relation to them, to develop methods for identifying objects. The object of research is the process of accounting for the movement of material objects between different segments of complex systems, for example, between different segments of the international space station, between different segments of the material flow system or other segments of the Earth-Space system. Instruments and instrument complexes were chosen as material objects. Based on the performed study of data structure complexity levels, the necessity of development of identification systems for different segments of the material flow transportation system was substantiated. A new method is proposed and the results of practical experiments on the identification of material objects on the basis of CCSDS standard (CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book) are considered. The hardware platform for accounting of tangible objects and information collection was selected radio-frequency readers and on-board computer networks represented by CCSDS 881.1-B-1 (Spacecraft onboard interface services - RFID tag encoding specification). RFID tags are used to identify tangible objects. To solve the problem of transferring information about material objects the developed model of information exchange and method of identification of material objects are presented, necessary fields and tag's memory bank structure are presented. In the process of describing the identification of material objects it is proposed to use a special alphabet ECMA-113 for data representation in the identifiers placed in the RFID tags. As part of the study, the simulation of information exchange between different subsystems during the transfer of information about material objects was conducted. The results of the experiments are presented, confirming that the universality of the alphabet lies in the possibility of simultaneous use of Latin and Cyrillic coding. For an estimation of efficiency of the offered models and modelling of a situation of an exchange of the information on material objects in wireless on-board networks separate independent subprogrammes of coding, decoding of identifiers of material objects have been developed and practical modelling of transfer of the big information volume between two various agencies (segments) is spent. The programmes were developed by the participants independently of each other. On the basis of fulfilled modeling of information interaction and information transfer on material objects it was found that the error of data recognition does not exceed 6-7% and it does not increase with the increasing number of objects. The development results allowed to formulate a conclusion about the success of the experiment on the application of object identifiers based on CCSDS for airborne wireless networks, for the use of radio-frequency identification systems.

**Keywords:** material flow, identification, CCSDS standard, radio frequency tag, coding, decoding, information flow modeling, on-board networks

**For citation:** Maigorov N. N., Taratun V. E. Research of information interaction between different subsystems based on CCSDS standards in object identification. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. 2022;2:52-65.* (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-2-52-65>.

## Введение

Для современных транспортных систем, систем различных цепей поставок крайне актуальна задача разработки системы идентификации и маркировки товаров (объектов) для различных сегментов (под сегментом будем понимать как отдельные информационные системы, так и процессы и сервисы, участвующие в обработке информации о потоке материальных объектов). Эта задача особенно актуальна в процессе перемещения материальных потоков для космических систем, т. к. необходимо учитывать наземные и космические участки цепи товародвижения и различия в описании материальных объектов. На борту космической станции, например международной космической станции (МКС), необходимо обеспечение работы в беспроводных бортовых сетях, что накладывает определенные ограничения на размеры информационного обмена. Общеизвестно, что для наземных участков цепей поставок задача идентификации, учета, маркировки и мониторинга материальных объектов имеет решения, разработаны прикладные информационные системы. Что касается космического участка цепи перемещения материальных потоков, то ввиду большой стоимости доставляемого оборудования в настоящее время ведутся исследования по разработке единой международной системы идентифика-

ции материальных объектов, использующей аппаратную платформу радиочастотной идентификации. Использование технологии радиочастотной идентификации позволит осуществить более оперативную интеграцию в бортовые беспроводные сети. При использовании радиочастотной метки необходима разработка структуры разделов радиочастотной метки для удобства использования различными пользователями, различными международными сегментами на борту. В отличие от наземных логистических информационных систем для функционирования бортовых систем необходима разработка удобной системы международной идентификации материальных объектов, структуры полей радиочастотных меток с учетом возможности внесения дополнительной информации о материальном объекте, что значительно облегчает операционную работу сотрудника-космонавта на борту.

Если выполнить наукометрический анализ публикаций по выбранной области, то можно определить, что рост интереса к таким моделям данных в сфере информационного взаимодействия между сегментами и подсистемами обусловлен развитием информационных сервисов, необходимостью удовлетворения потребностей общества и административных органов, расширением взаимодействия в электронной форме на различных уровнях, внед-

рением систем электронного учета и документооборота. Однако на практике имеет место различный уровень разработки и внедрения систем идентификации, особенно для технических процессов и систем. Рассматриваемая ситуация особенно актуальна для производственных и технических систем приборостроительной и космической отраслей, предприятий, участвующих в организации и перемещении материальных объектов [1]. Ввиду постоянного усложнения процессов и комплектации грузов для данных сфер необходима разработка новых, более производительных и мобильных систем учета материальных объектов, которые можно было бы использовать как для наземных, так и для бортовых информационных систем и процессов. В ситуации с Международной космической станцией (МКС) необходимо достижение эффекта универсальности, когда различные сегменты МКС, различные страны могут в едином информационном пространстве обмениваться информацией об объектах материального потока, решать задачи мониторинга положения объектов, идентифицировать и использовать информацию в течение всего жизненного цикла прибора (материального объекта), поступившего на борт. Сегодня существенно

возрастает уровень сложности используемых информационных систем и, как следствие, повышаются требования к организации передаваемых данных, к их согласованности и непротиворечивости [2, 3]. Система учета материальных объектов должна объединить все транспортно-складские операции, решить задачу определения движения грузов как на земле при формировании, проверке комплектности, так и непосредственно на борту космической станции. Система движения грузов (материальных объектов) должна иметь дополнительно модули планирования грузопотоков [1], интегрированные с логистическими информационными системами. Кроме того, важной задачей при организации оперативного учета материального потока грузов является реализация возможности единого информационного обмена между различными сегментами космической системы, что, в свою очередь, предполагает использование стандартизированных методов и средств.

Для решения поставленной задачи необходимо определить зависимость уровня сложности структур данных от уровня организации (упорядоченности) информационного взаимодействия (рис. 1).

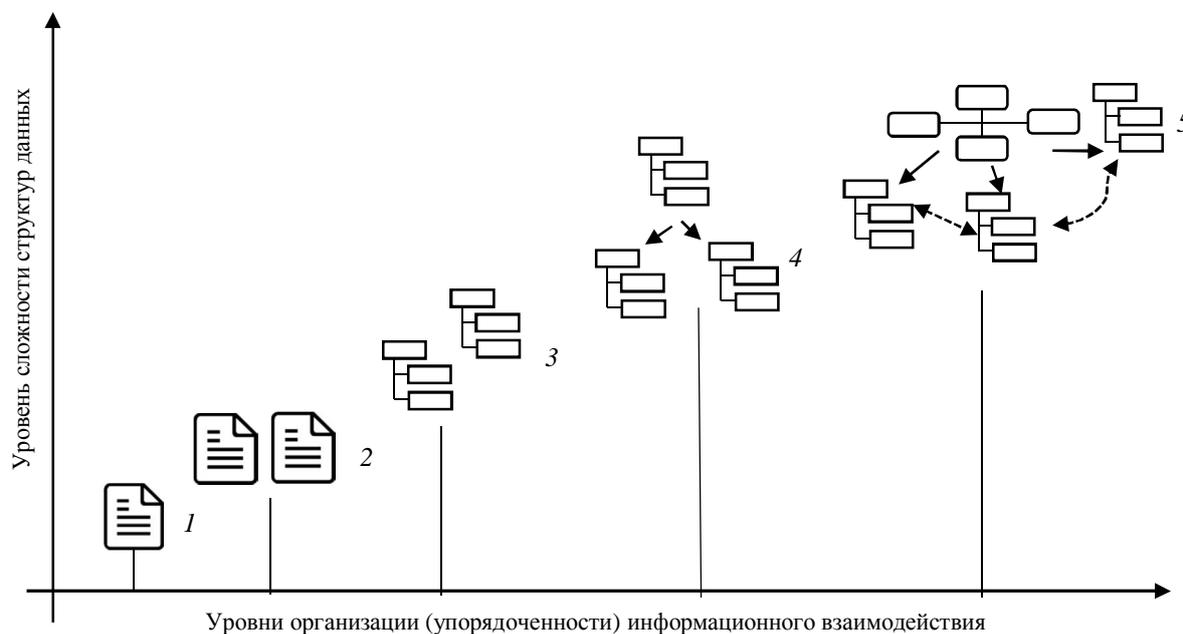


Рис. 1. Зависимость степени сложности структур данных от уровня организации информационного взаимодействия:  
 1 – неуправляемое взаимодействие; 2 – регламентированное взаимодействие; 3 – отдельное взаимодействие элементов; 4 – внутривзаимодействие; 5 – сложное межпроцессное взаимодействие

Fig. 1. Dependence of data structures complexity on the level of information interaction organization:  
 1 - unmanaged interaction; 2 - regulated interaction; 3 - separate interaction of elements;  
 4 - intraprocess interaction; 5 - complex interprocess interaction

Уровень организации взаимодействия можно оценивать по количеству охваченных процессов,

количеству процедур, количеству участников взаимодействия (в том числе в рамках международно-

го взаимодействия информационных систем), имеющих аппаратных комплексов для идентификации объектов материального потока.

На рис. 1 неуправляемое взаимодействие 1 соответствует обмену данными в общем неструктурированном виде, это самый простой вариант взаимодействия, реализующий отношения между двумя элементами. В данном случае не формируется каких-либо особых требований к данным либо они согласуются на основе разработанных сторонами форматов.

На рис. 1 представлен переход от первого, простого уровня к пятому, межпроцессному, при этом наблюдается значительное усложнение требований к полям и форматам данных.

Регламентированное взаимодействие 2 подразумевает обмен данными с использованием определенных установленных форм представления данных. Уровень сложности структур данных в данном случае «формализованный».

Отдельное взаимодействие 3 предполагает обмен данными по цифровым каналам связи с использованием унифицированных форм. Уровень сложности структур данных в данном случае «структурированный». Данный уровень обмена информацией на практике ограничен рамками отдельного процесса.

Внутрипроцессное 4 и межпроцессное 5 взаимодействия означают переход на принципиально новый характер взаимодействия, предполагают не просто структурирование данных, но и согласование структур, имен, ограничений и правил контроля корректности для семантически эквивалентных элементов данных в рамках нескольких связанных процессов. Потребность в унификации возникает в первую очередь для транспортно-логистических операций, когда появляется необходимость в межсегментном обмене данными о материальных объектах. Данное обстоятельство является основой для формирования структуры банка памяти, необходимого для идентификаций материального объекта.

В качестве материальных объектов, которые участвуют в процессах перемещения, учета и последующего мониторинга на борту космической станции, рассматриваются, к примеру, приборы, некоторые запасные элементы и иные устройства. Информация о материальном объекте представлена в RFID-метке [4–6]. Для разработки систем идентификации необходимо применять стандарты CCSDS (The Consultative Committee for Space Data Systems), которые описывают общие требования к применению радиочастотных меток для космической отрасли. В представленной работе приведены результаты моделирования процесса передачи информации о материальных объектах между сег-

ментами, решение задачи кодирования и декодирования информации о материальном объекте. В рамках выполненного исследования необходимо проведение серии экспериментов для моделирования передачи информации о материальных объектах между различными сегментами как на борту, так и между наземными и космическими участками. Участники реализуют программное обеспечение самостоятельно, используя только согласованные методы и модели для идентификации материальных объектов на основе CCSDS. Программное обеспечение, которое будет использоваться, каждый участник эксперимента подготавливает самостоятельно. Для проведения эксперимента при практической реализации был выбран язык программирования Java.

Для проработки документации по данному вопросу была выделена рабочая область «Бортовые интерфейсы космических аппаратов» (SOIS), стандарт 881.1-B-1 «Сервисы, реализующие бортовые интерфейсы космических аппаратов. Спецификация к радиочастотной идентификации (RFID)» [7–9]. За основу исследования и выполнения моделирования процесса передачи информации (кодирования, декодирования) был выбран раздел CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book. В данном разделе рассматриваются вопросы кодирования меток, материальных объектов, дополняющие схему кодирования меток в системе управления запасами космических станций, предназначенную для начальных летных испытаний.

#### **Модель организации информационного взаимодействия для идентификации объектов материальных потоков**

Особенностью процессов учета материальных потоков на основе CCSDS (CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book) является требование обеспечения унифицированного описания материальных объектов для различных процессов, сегментов и участков перемещения материальных объектов. Предлагается использование систем автоматической идентификации объектов. Аппаратным средством здесь выступает технология радиочастотной идентификации RFID, выбор которой обоснован в основном документе «CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book». Выбор данной технологии обусловлен широкими возможностями использования беспроводных бортовых сетей и организации автоматизированного считывания всех объектов при поступлении их на борт космической станции. В выбранном авторами стандарте CCSDS [10] и работах [11, 12] представлен общий принцип управления грузопотоком применительно к космической станции, с учетом разделения на наземные процессы и процессы на борту. Каждому объекту,

Майоров Н. Н., Таратун В. Е. Исследование информационного взаимодействия различными подсистемами на основе стандартов CCSDS при идентификации материальных объектов

например поступившему прибору, необходимо назначить уникальный идентификатор, который будет использоваться в информационных системах на борту и будет унифицирован для различных

сегментов, процессов. Предлагаемая схема взаимодействия информационной базы данных и оборудования для проведения идентификации объектов материального учета представлена на рис. 2.

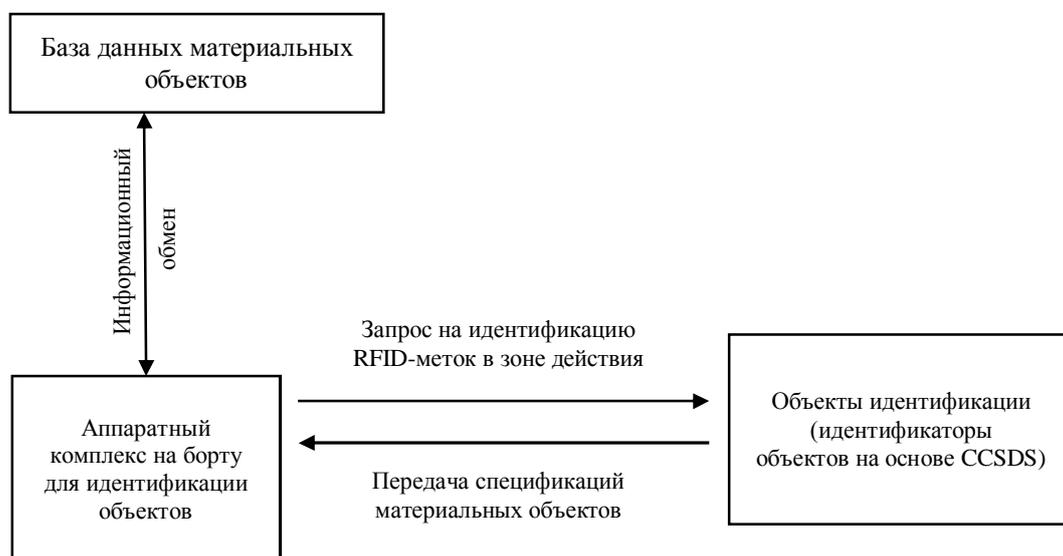


Рис. 2. Схема выполнения процесса идентификации материальных объектов на основе стандарта CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book

Fig. 2. Scheme of identifying the material objects by using standard CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book

Особенностью рассматриваемого процесса является фиксация по времени интервалов доставки материальных объектов для космической станции. После первой идентификации при получении объектов возникает ситуация межсегментного взаимодействия в процессе передачи информации. Информация о материальных объектах должна быть согласована между различными подсистемами, уровнями (к примеру, между наземными процессами и процессом поступления материального объекта на борт) или иными сегментами системы «Земля – космос». Моделирование информационного обмена осуществлялось с применением теоретико-множественных представлений.

Представим модель информационного обмена между различными сегментами в виде структуры  $M = \langle S, E, T, R \rangle$ , где  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  - множество сегментов идентификационной модели,  $n$  - количество сегментов;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  - множество временных меток событий из  $E$ ,  $k$  - количество объектов, которые будут идентифицироваться;  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$  - множество ресурсов вычислительной среды,  $l$  - количество задач идентификации (событий в системе);  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_w\}$  - множество событий, происходящих в процессе выполнения идентификации материальных объектов,  $w$  - количество проверок.

Имеет место линейный процесс идентификации поступающих материальных объектов. Множество временных меток событий сегмента упорядочено  $t_i^1 \in t_i^2 \in \dots \in t_i^j \in T, i \in \{1, 2, \dots, n\}$  - номер процесса (сегмента);  $j \in \{1, 2, \dots, w\}$  - номер события. Исходные множества  $S, E, T, R$  связаны между собой отношениями «от многих-ко-многим». Сегменты (процессы) модели идентификации могут обмениваться сообщениями между собой. Представим  $e_{ij}^j(x, t)$  - сообщение от  $i$ -го сегмента  $j$ -му сегменту, содержащее некоторый объем данных  $x$  и временную метку  $t$  (датировку сообщения). Некоторый сегмент  $s_i$  примем как генерирующий сегмент, если в некоторый момент времени  $t$  происходит отправление сообщения  $e_{ij}^j(x, t)$  сегменту  $s_j$ . При таком подходе сегмент  $s_j$  примем как принимающий, если он получает сообщение  $e_{ij}^j(x, t)$  от сегмента  $s_i$ , отправленное в момент времени  $t$ .

Особенностью рассматриваемой системы является то, что передаваемое сообщение должно содержать необходимую информацию о материальном объекте, иметь возможность внесения дополнительной информации, возможность включения дополнительных идентификаторов и указаний об объекте. Участники информационного обмена,

в том числе расположенные на отдельных уровнях управления материальным потоком, являются различными сегментами. Ввиду использования беспроводных бортовых сетей необходимо оценивать возможные объемы передаваемой одновременно информации между сегментами о материальных объектах, оценивать возможные сбои и точность распознавания кодов идентификаторов материальных

объектов при передаче информации или идентификации входящего объема материальных объектов. Аппаратными средствами, которые интегрируются в информационные системы идентификации, являются радиочастотные считыватели RFID, объединенные в единую информационную сеть. Общая схема организации процесса передачи информации о материальных объектах приведена на рис. 3.



Рис. 3. Общая схема организации информационного обмена между различными сегментами на основе CCSDS (RFID Tag-Encoding Yellow Book):  $S_j, S_{j+1}$  – множество сегментов идентификационной модели;  $e_{ij}^j(x, t)$  – сообщение от  $i$ -го сегмента  $j$ -му сегменту

Fig. 3. General scheme of information exchange between different segments based on CCSDS (RFID Tag-Encoding Yellow Book):

$S_j, S_{j+1}$  - the set of identification model segments;  $e_{ij}^j(x, t)$  - message from the  $i$ -th segment to the  $j$ -th segment

Для организации автоматической идентификации объектов на основе радиочастотной технологии при практической реализации необходим выбор форматов полей и библиотек символов. Предлагается разделить данные об объектах материального потока на два основных блока. Блок № 1 связан с хранением данных на радиочастотной метке и содержит представление идентификатора объекта идентификации в двоичной системе. В блоке № 2

использована шестнадцатеричная система счисления, он является идентификатором радиочастотной метки, который хранится в базе данных идентификаторов объектов. При генерации данных для кодирования радиочастотной метки для материального объекта согласно CCSDS 881.1-B-1 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 объектов; Owner-ID представляет организацию, которой принадлежит физический объект, к которому прикреплена метка; Program-ID представляет подорганизацию организации-владельца объекта; Object-ID представляет классы объектов (например, приборное оборудование, прибор, продукты питания, инструменты и т. д.), к которым будут прикреплены RFID-метки;

Serial-ID представляет уникальные объекты, к которым будут прикреплены RFID-метки.

#### Структура представления данных о материальных объектах на основе стандарта CCSDS 881.1-B-1

Согласно рассматриваемому стандарту CCSDS RFID-метка хранит информацию о пяти полях данных в двоичной системе, на реализацию которой отводится 96 бит (рис. 4).



Рис. 4. Структура полей данных радиочастотной метки объекта идентификации:  $c_{10}$  – символ char;  $i_{10}$  – целое число от 0 до 65,535;  $24 \times c_{16}$  – все предыдущие поля в шестнадцатеричной системе счисления, т. е. 24 символа char

Fig. 4. Structure of RFID tag data fields of an identification object:  $c_{10}$  - char character;  $i_{10}$  - integer from 0 to 65,535;  $24 \times c_{16}$  - all preceding fields in hexadecimal notation, i. e. 24 char characters

Майоров Н. Н., Таратун В. Е. Исследование информационного взаимодействия между различными подсистемами на основе стандартов CCSDS при идентификации материальных объектов

В базе данных информация об объекте хранится в шестнадцатеричной системе с использованием 24 символов. Структура и побитовое распределение данных представлены на рис. 4.

Для формирования этих полей предлагается использование специального алфавита ЕСМА-113 [13] разрешенных символов. Этот алфавит содержит информацию как о разрешенных символах и наборах для каждого из битовых комбинаций, так

и о значении символа, используемого в шестнадцатеричной системе счисления. При генерации данных для кодирования RFID-метки поле Object-ID представляется в десятичной системе счисления и имеет диапазон представления от 0 до 65 535.

Специализированный алфавит ЕСМА-113, который предназначен для создания идентификаторов материальных объектов, приведен на рис. 5.

b <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
b <sub>7</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
b <sub>6</sub>	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1			
b <sub>5</sub>	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1			
b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15			
0 0 0 0	00			SP	0	@	P	`	p			NBSP	A		a	p	№	0	
0 0 0 1	01			!	1	A	Q	a	q				Ё	Б	С	б	с	ё	1
0 0 1 0	02			"	2	B	R	b	r				Ђ	В	Т	в	т	ђ	2
0 0 1 1	03			#	3	C	S	c	s				Ѓ	Г	У	г	у	ѓ	3
0 1 0 0	04			\$	4	D	T	d	t				Є	Д	Ф	д	ф	є	4
0 1 0 1	05			%	5	E	U	e	u				S	E	X	e	x	s	5
0 1 1 0	06			&	6	F	V	f	v				І	Ж	Ц	ж	ц	і	6
0 1 1 1	07			'	7	G	W	g	w				Ї	З	Ч	з	ч	ї	7
1 0 0 0	08			(	8	H	X	h	x				Ј	И	Ш	и	ш	ј	8
1 0 0 1	09			)	9	I	Y	i	y				Љ	Й	Щ	й	щ	љ	9
1 0 1 0	10			*	:	J	Z	j	z				Њ	К	Ъ	к	ъ	њ	A
1 0 1 1	11			+	;	K	Г	k	г				Ћ	Л	Ы	л	ы	ћ	B
1 1 0 0	12			,	<	L	\	l					Ќ	М	Ь	м	ь	ќ	C
1 1 0 1	13			-	=	M	Ј	m	ј				SHY	Н	Э	н	э	§	D
1 1 1 0	14			.	>	N	^	n	~				Ў	О	Ю	о	ю	ў	E
1 1 1 1	15			/	?	0	_	o					Џ	П	Я	п	я	џ	F
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	№		

Рис. 5. Алфавит ЕСМА-113 для создания идентификатора материального объекта (кодирования/декодирования информации о материальном объекте)

Fig. 5. ECMA-113 alphabet for creating an identifier of a material object (coding/decoding information about a material object)

На основе проведенного анализа алфавита ЕСМА-113 и необходимости включения данного алфавита в разрабатываемую информационную систему мониторинга и учета материальных объектов на русском языке выполнено дополнение латинской кодировки кириллической кодировкой. Данное решение значительно расширило практическое применение алфавита ЕСМА-113 для описания приборов (объектов) российского сегмента. Для дальнейшего использования данного алфавита происходит посимвольное кодирование информации о названии материального объекта, которое затем поступает в базу данных, согласованную

с аппаратными RFID-считывателями. Данные о материальном объекте в радиочастотной метке представлены с помощью 96 бит. В свою очередь, идентификатор в базе данных объектов представлена в виде 24 символов, приведенных в шестнадцатеричной системе счисления. Для организации идентификации необходимо также разработать алгоритм декодирования на основе алфавита ЕСМА-113.

Сравнение систем кодировки символов и описание формирования модели («полей» (см. рис. 4)) представления о материальном объекте приведены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

**Описание формирования полей данных на основе различных систем представления**  
**Description of developing fields on the basis of different representation systems**

Способ представления	Модель представления
Система двоичного представления	$\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} a_i$ (Database - ID <sub>i</sub> + Owner - ID <sub>i</sub> + Program - ID <sub>i+</sub> + Serial - ID <sub>i</sub> + Object - ID <sub>i</sub> ) <sup>+</sup>
Десятичная система представления	$\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} a_i$ (Database - ID <sub>i</sub> + Owner - ID <sub>i</sub> + Program - ID <sub>i+</sub> + Serial - ID <sub>i</sub> + Object - ID <sub>i</sub> ) <sup>+</sup> <sub>to_ulong()</sub>
Шестнадцатеричная система представления	$\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} a_i$ (Database - ID <sub>i</sub> + Owner - ID <sub>i</sub> + Program - ID <sub>i+</sub> + Serial - ID <sub>i</sub> + Object - ID <sub>i</sub> ) <sup>+</sup>

Аппаратный RFID-считыватель должен считывать идентификатор материального объекта и точно производить посимвольное распознавание. На осно-

ве CCSDS стандарта 96 бит информации являются идентификатором меток, которые RFID-считыватель будет получать (рис. 6).

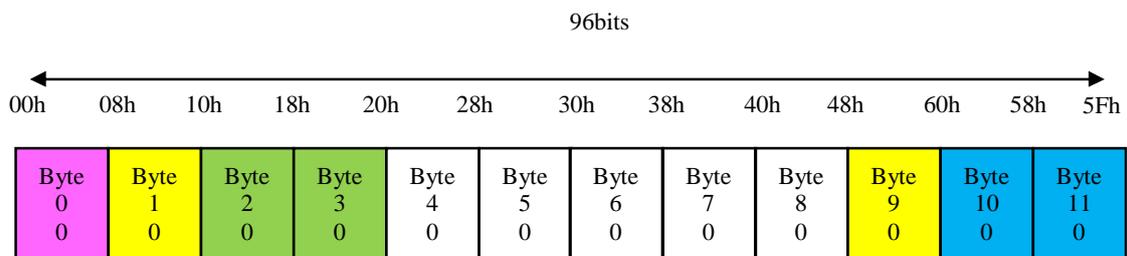


Рис. 6. Представление информации о материальном объекте, к которому относится RFID-метка

Fig. 6. Presenting information about a RFID tag-related material object

Каждый символ имеет соответствие 8 бит и представление в шестнадцатеричной системе

счисления. Поля метки содержат 4 банка памяти, представленные на рис. 7.

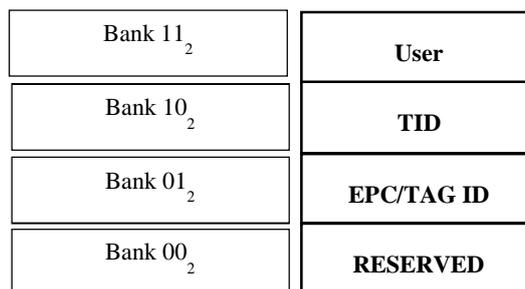


Рис. 7. Банки памяти для RFID-метки

Fig. 7. Memory banks for a RFID tag

Банк TID описывает информацию о RFID-метке. Из данного банка памяти можно узнать о производителе, модели, уникальном серийном номере, параметрах банков памяти, поддерживаемых коман-

дах. В подавляющем большинстве выпускаемых меток из всей доступной в банке TID памяти используется только 32 или 96 бит. Представление полей приведено на рис. 8.

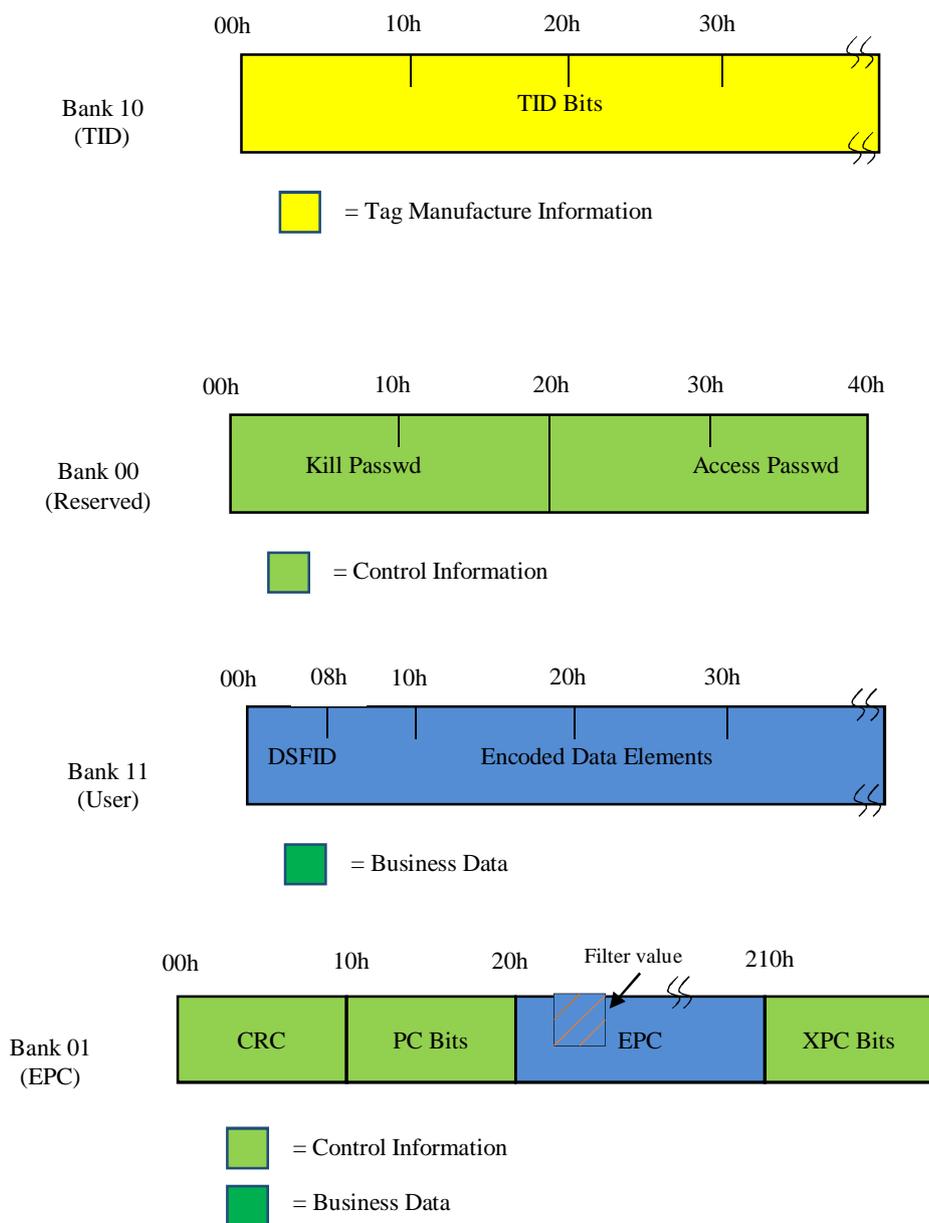


Рис. 8. Визуальное представление структуры банка памяти для внесения информации о материальном объекте

Fig. 8. Visual representation of the memory bank structure for entering information about a material object

В совокупности данные поля будут являться полным идентификатором того или иного материального объекта, подлежащего идентификации и учету в процессе перемещения.

**Моделирование процесса идентификации объектов при выполнении информационного обмена между различными сегментами системы**

Использование рассматриваемого стандарта CCSDS с интеграцией с технологией RFID предполагает его первоначальное тестирование, что, в свою очередь, требует разработки двух отдель-

ных модулей для тестирования (кодирования и декодирования информации о материальных объектах). Первый модуль предназначен для кодирования данных на основе стандартного 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 базе данных идентификаторов существующих меток.

Поскольку поля данных при декодировании метки содержат набор символов, определенных в таблице стандарта алфавита ECMA-113, а идентификаторы меток представлены в виде набора из 24 символов шестнадцатеричной системы, второй модуль должен преобразовать полученные символьные поля в шестнадцатеричные значения для выполнения идентификации меток в базе данных меток, а также для определения ее оригинальности.

На основе моделирования различных вариантов передачи информации о материальных объектах производится тестирование на совместимость и возможность объединения различных сегментов в единое информационное поле. Для разработки и тестирования стандарта были определены два независимых агентства: Национальное управление по авионавигации и исследованию космического пространства (NASA, США) и Федеральное космическое агентство (Российская Федерация). Целью

выполнения моделирования передачи информационных пакетов о материальных объектах является разработка алгоритмов и модулей для безошибочного кодирования, декодирования и идентификации меток RFID.

Особенностью моделирования информационного взаимодействия является то, что стороны разрабатывают свое программное обеспечение независимо друг от друга. При разработке программного обеспечения стороны не обсуждали вопросы выбора информационных систем и языков программирования. При моделировании ставилась задача определения максимального количества идентификаторов, которые стороны могут проанализировать без ошибок.

Интерфейс разработанного программного модуля [14] для распознавания идентификаторов материальных объектов приведен на рис. 9.

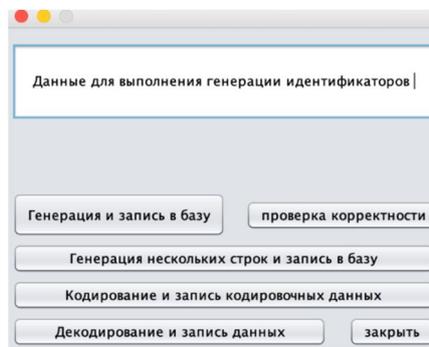


Рис. 9. Интерфейс подпрограммы для идентификации, анализа, кодирования и декодирования информации о материальных объектах на основе предложений стандарта CCSDS

Fig. 9. Interface for identifying, analyzing, encoding, and decoding the material object information based on CCSDS standard suggestions

Разработанное программное обеспечение содержит модули кодирования информации об объектах для передачи данных и декодирования с целью распознавания сведений об объектах при получении информации. Результаты нескольких экс-

периментов при моделировании передачи данных о материальных объектах приведены в табл. 2: количество объектов оставалось постоянным, в то время как сами названия материальных объектов менялись.

Таблица 2

Table 2

Результаты моделирования передачи информации о материальных объектах

Results of modeling the transfer of information about material objects

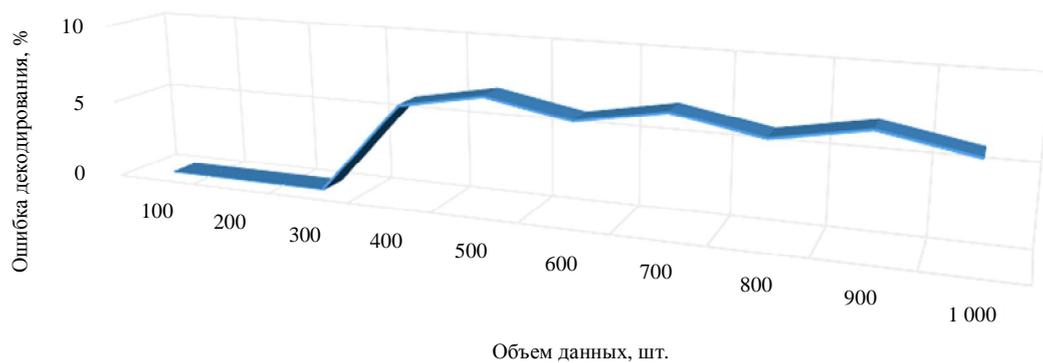
Объем данных декодирования, шт.	Ошибка, %	Объем данных декодирования, шт.	Ошибка, %
100	0	325	1,5
200	0	350	4
300	0	375	4,6
400	6	400	6
500	7	500	7
600	6	600	6
700	7	700	7
800	6	800	6
900	7	900	7
1 000	6	1 000	6

Исходные данные для вычислительных экспериментов формировались на основе следующих вариантов:

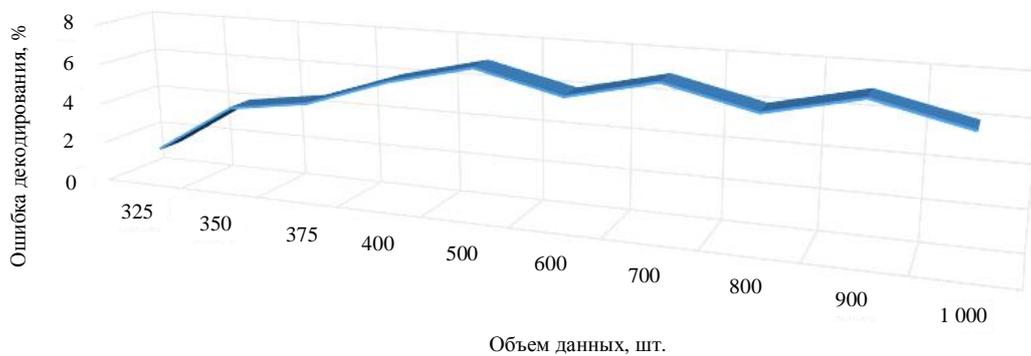
- на основе использования списков оборудования и материальных объектов, составленных во время выполнения поставок в прошлые периоды;
- на основе формирования участниками эксперимента случайного количества материальных объектов, участвующих в сегментах системы «Земля – космос».

Списки материальных объектов участники эксперимента не передавали друг другу.

На рис. 10 представлены графики моделирования передачи информации и распознавания меток материальных объектов с учетом использования алфавита ЕСМА-113 для описания материальных объектов на русском языке – результаты экспериментов для определения возможных ошибок в декодировании информации о материальных объектах, (данные измеряются количеством объектов в шт.).



а



б

Рис. 10. Результаты экспериментов по моделированию информационного обмена между сегментами, декодирования и распознавания потока материальных объектов: а – эксперимент 1; б – эксперимент 2

Fig. 10. Results of experiments on simulating information exchange between segments, decoding and recognition of the material object flow: а - experiment 1; б - experiment 2

Представленные результаты свидетельствуют о том, что при передаче информации о материальных объектах при использовании алфавита ЕСМА-113 ошибка декодирования находится в пределах 6–7 %. На основании выполненного моделирования передачи информации о материальных объектах была установлена корректность работы под-

программ на языке Java, разработанных авторами. Полученные файлы идентификаторов материальных объектов от других сегментов были определены точно, чего нельзя сказать о результатах идентификации по другим сегментам-участникам. Результаты выполнения информационного обмена малыми группами объектов представлены на рис. 11.



Рис. 11. Результаты экспериментов по моделированию информационного обмена малыми группами объектов между сегментами, декодирования и распознавания потока материальных объектов

Fig. 11. Results of experiments on modeling the information exchange of small groups of objects between segments, decoding and recognition of the flow of material objects

На основании серии длительных экспериментов при моделировании различного информационного обмена метками материальных объектов было установлено, что ошибка распознавания данных не превышает 6–7 %, причем при увеличении количества объектов это значение не возрастает. Представленный результат является основой для дальнейшей доработки стандарта CCSDS (RFID Tag-Encoding Yellow Book) и внедрения представленного в статье банка памяти радиочастотной метки, алфавита ECMA-113 в практику.

### Заключение

Для обеспечения идентификации материальных объектов между различными сегментами (процессами) сложных систем, такими как сегменты системы «Земля – космос», необходима разработка соответствующего информационного обеспечения, которое должно содержать подпрограмму кодирования и декодирования информации. Различные сегменты должны точно идентифицировать материальные объекты и без потерь использовать информацию об объекте в последующих процессах. Аппаратной платформой являются радиочастотная метка, аппаратные считыватели, которые интегрируются в бортовую вычислительную сеть космической станции. На основе стандарта CCSDS (RFID Tag-Encoding Yellow Book) представлены требования к полям радиочастотных меток и разработаны идентификаторы полей меток, которые используются в последующем информационном обмене. В работе представлена практическая реализация предложений стандарта CCSDS, приведены результаты серии экспериментов по моделированию передачи информации о материальных объектах между различными сегментами.

В целях оптимизации информационного поля предлагается использование алфавита ECMA-113, который применяется для символьного кодирования и декодирования информации о материальном объекте – некотором приборе, поступающем в заданный сегмент. Особенностью моделирования объемов информации между различными сегментами является то, что каждая из сторон самостоятельно выбирает программную систему и язык программирования для реализации. Решена задача выделения полей в радиочастотной метке для внесения дополнительной информации о материальном объекте.

Для идентификации материальных объектов на основе алфавита ECMA-113, решения задачи кодирования и декодирования была разработана подпрограмма на языке Java. На основе моделирования информационного обмена было установлено, что значение ошибки распознавания данных не превышает 6–7 %, причем при увеличении количества материальных объектов это значение не возрастает.

Благодаря использованию разработанного модуля декодирования были выявлены ошибочные поля данных и, как следствие, неточности в реализации алгоритма кодирования информации о материальном объекте. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности интеграции предложенного решения с другими системами идентификации материальных объектов и процессов. Результаты моделирования позволяют говорить об универсальности алфавита ECMA-113 для идентификации материальных объектов и возможности его использования с целью идентификации любых систем.

### Список источников

1. Ляхин 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.

2. Арманд А. Д. Иерархия информационных структур мира // Вестн. Рос. акад. наук. 2001. Т. 71. № 9. С. 797–805.

3. Nikiforov D. A., Lisikh I. G., Sivakov R. L. An approach to multi-domain data model development based on the model-driven architecture and ontologies // Supplementary Proceedings of the 4th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST'2015) (Yekaterinburg, Russia, April 9–11, 2015). CEUR Workshop Proceedings. V. 1452. P. 106–117.

4. Finkenzeller K. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. Wiley, 2015. 779 p. URL: [https://repo.zenk-security.com/Magazine%20E-book/RFID\\_handbook.pdf](https://repo.zenk-security.com/Magazine%20E-book/RFID_handbook.pdf) (дата обращения: 01.12.2021).

5. Lukinskiy Val., Lukinsky Vl. Designing the analytical base for optimal allocation of stocks in supply chains // Transport and Telecommunication. 2018. V. 19. N. 4. P. 346–355.

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

7. Kim J., Tang K., Kumara S. Value analysis of location-enabled radio-frequency identification information on delivery chain performance // International Journal of Production Economics. 2008. V. 112. P. 403–415.

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

9. CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book. URL: [https://cwe.ccsds.org/cesg/docs/Interoperability\\_Test\\_Reports/ITR%20881x1b1-Y%20Spacecraft%20Onboard%20Interface%20Services%E2%80%9494RFID%20Tag%20Encoding%20Specification%20Interoperability%20Test%20Report.docx?Mobile=1&Source=%2Fcesg%2F%5FLayouts%2F15%2Fmobile%2Fdispforma%2Easpx%3FList%3Dd23ccb4c%2Da9d5%2D43ea%2Db3cd%2Da7a957184a19%26View%3D448728fc%2D9186%2D4bcf%2D80f0%2D192b39c01942%26RootFolder%3D%252Fcesg%252Fdocs%252FInteroperability%5FTest%5FReports%26ID%3D2674%26wdFCCState%3D1](https://cwe.ccsds.org/cesg/docs/Interoperability_Test_Reports/ITR%20881x1b1-Y%20Spacecraft%20Onboard%20Interface%20Services%E2%80%9494RFID%20Tag%20Encoding%20Specification%20Interoperability%20Test%20Report.docx?Mobile=1&Source=%2Fcesg%2F%5FLayouts%2F15%2Fmobile%2Fdispforma%2Easpx%3FList%3Dd23ccb4c%2Da9d5%2D43ea%2Db3cd%2Da7a957184a19%26View%3D448728fc%2D9186%2D4bcf%2D80f0%2D192b39c01942%26RootFolder%3D%252Fcesg%252Fdocs%252FInteroperability%5FTest%5FReports%26ID%3D2674%26wdFCCState%3D1) (дата обращения: 01.12.2021).

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

11. 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). 2018. P. 8604386. DOI: 10.1109/WECONF.2018.8604386.

12. Taratun V. E., Fetisov V. A. Development of an identifier analysis algorithms to account for the movement of material flow in space transport systems // Journal of Physics Conference Series. 2020. 1515 (3): 32053.

13. *Standart ECMA. 8 Bit Single Byte Coded Graphic Character Sets*. 1986. 10 p.

14. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618499 РФ*. Программа анализа и передачи потока данных на основе стандартизации методов и форматов кодировок RFID-меток / Н. Н. Майоров, В. А. Фегисов, В. Е. Таратун; заявл. 05.06.2018.

## References

1. Lakhin O. I. Osobennosti postanovki zadachi planirovaniia programmy poleta i gruzopotoka Rossiiskogo segmenta Mezhdunarodnoi kosmicheskoi stantsii [Peculiarities of setting problem of planning flight program and cargo traffic of Russian segment of International space station]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 3 (47), pp. 32–46.

2. Armand A. D. Ierarkhiia informatsionnykh struktur mira [Hierarchy of world information structures]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2001, vol. 71, no. 9, pp. 797–805.

3. Nikiforov D. A., Lisikh I. G., Sivakov R. L. An approach to multi-domain data model development based on the model-driven architecture and ontologies. *Supplementary Proceedings of the 4th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST'2015) (Yekaterinburg, Russia, April 9–11, 2015)*. CEUR Workshop Proceedings, vol. 1452, pp. 106–117.

4. Finkenzeller K. *Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*. Wiley, 2015. 779 p. Available at: [https://repo.zenk-security.com/Magazine%20E-book/RFID\\_handbook.pdf](https://repo.zenk-security.com/Magazine%20E-book/RFID_handbook.pdf) (accessed: 01.12.2021).

5. 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.

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

7. Kim J., Tang K., Kumara S. Value analysis of location-enabled radio-frequency identification information on delivery chain performance. *International Journal of Production Economics*, 2008, vol. 112, pp. 403–415.

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

9. *CCSDS RFID Tag-Encoding Yellow Book*. Available at: [https://cwe.ccsds.org/cesg/docs/Interoperability\\_Test\\_Reports/ITR%20881x1b1-Y%20Spacecraft%20Onboard%20Interface%20Services%E2%80%9494RFID%20Tag%20Encoding%20Specification%20Interoperability%20Test%20Report.docx?Mobile=1&Source=%2Fcesg%2F%5FLayouts%2F15%2Fmobile%2Fdispforma%2Easpx%3FList%3Dd23ccb4c%2Da9d5%2D43ea%2Db3cd%2Da7a957184a19%26View%3D448728fc%2D9186%2D4bcf%2D80f0%2D192b39c01942%26RootFolder%3D%252Fcesg%252Fdocs%252FInteroperability%5FTest%5FReports%26ID%3D2674%26wdFCCState%3D1](https://cwe.ccsds.org/cesg/docs/Interoperability_Test_Reports/ITR%20881x1b1-Y%20Spacecraft%20Onboard%20Interface%20Services%E2%80%9494RFID%20Tag%20Encoding%20Specification%20Interoperability%20Test%20Report.docx?Mobile=1&Source=%2Fcesg%2F%5FLayouts%2F15%2Fmobile%2Fdispforma%2Easpx%3FList%3Dd23ccb4c%2Da9d5%2D43ea%2Db3cd%2Da7a957184a19%26View%3D448728fc%2D9186%2D4bcf%2D80f0%2D192b39c01942%26RootFolder%3D%252Fcesg%252Fdocs%252FInteroperability%5FTest%5FReports%26ID%3D2674%26wdFCCState%3D1) (accessed: 01.12.2021).

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

11. 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)*. 2018. P. 8604386. DOI: 10.1109/WECONF.2018.8604386.

12. Taratun V. E., Fetisov V. A. Development of an identifier analysis algorithms to account for the movement of material flow in space transport systems // *Journal of Physics Conference Series*. 2020. 1515 (3): 32053.

13. *Standart ECMA. 8 Bit Single Byte Coded Graphic Character Sets*. 1986. 10 p.

14. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618499 РФ*. Программа анализа и передачи потока данных на основе стандартизации методов и форматов кодировок RFID-меток / Н. Н. Майоров, В. А. Фегисов, В. Е. Таратун; заявл. 05.06.2018.

and Telecommunication Systems (WECONF 2018). 2018. P. 8604386. DOI: 10.1109/WECONF.2018.8604386.

12. Taratun V. E., Fetisov V. A. Development of an identifier analysis algorithms to account for the movement of material flow in space transport systems. *Journal of Physics Conference Series*, 2020, 1515 (3): 32053.

13. Standart ECMA. *8 Bit Single Byte Coded Graphic Character Sets*. 1986. 10 p.

14. Maïorov 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 for encoding RFID tags]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM № 2018618499 RF; 13.07.2018.

Статья поступила в редакцию 19.01.2022; одобрена после рецензирования 23.03.2022; принята к публикации 05.04.2022  
The article is submitted 19.01.2022; approved after reviewing 23.03.2022; accepted for publication 05.04.2022

### 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; sciencesuai@yandex.ru

**Nikolai N. Maïorov** – Doctor of Technical Sciences; Assistant Professor; Professor of the Department of Systems Analysis and Logistics; Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; sciencesuai@yandex.ru

**Виталий Евгеньевич Таратун** – старший преподаватель кафедры системного анализа и логистики; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; taratun.vitaliy@gmail.com

**Vitaly E. Taratun** - Senior Lecturer of the Department of Systems Analysis and Logistics; Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; taratun.vitaliy@gmail.com

