

УДК 004.56

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.34.3.009](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.34.3.009)

## Алгоритм регулирования числа слотов при использовании антиколлизийного протокола Q в информационных системах международной транспортировки товаров

А. А. Лавринович

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

**Резюме.** В статье описывается алгоритм регулирования числа слотов при использовании антиколлизийного протокола Q в рамках информационных систем международной транспортировки товаров. Цель исследования – разработка и обоснование алгоритма регулирования числа слотов при реализации антиколлизийного протокола Q в информационных системах международной транспортировки товаров. В результате исследования был предложен соответствующий алгоритм, который отличается от существующих решений меньшим числом требуемых переменных и меньшим числом операций, необходимых для определения числа слотов. Данный алгоритм должен способствовать минимизации времени, которое необходимо для передачи информации с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров. При условии равного числа фреймов в сравнении с существующими алгоритмами предлагаемый алгоритм позволяет сократить общее число операций по определению числа слотов, которое потребуется для считывания совокупности RFID-меток на 16,7 %. Алгоритм является применимым ввиду выполнения требования к достижению максимальной системной эффективности не ниже, чем по существующим решениям, что было доказано путем проведения имитационного моделирования. Практическая значимость: полученные результаты могут быть использованы для обеспечения доступности информации при поступлении сведений с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров как государственные информационные системы, а также таможенными органами при развитии информационного обеспечения систем маркировки и прослеживаемости.

**Ключевые слова:** RFID-технология, RFID-метка, RFID-коллизия, коллизия меток, RFID-маркировка, таможенные органы, маркировка товаров, RFID, антиколлизийный протокол.

**Для цитирования:** Лавринович А. А. Алгоритм регулирования числа слотов при использовании антиколлизийного протокола Q в информационных системах международной транспортировки товаров. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2021;9(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1035> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.009

## Algorithm for regulating the number of slots when using the anti-collision protocol Q in information systems of international goods transportation

A. A. Lavrinovich

*Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract:** The article describes an algorithm for regulating the number of slots in the anti-collision protocol Q implementation when applicable in information systems for international goods

transportation. The purpose of the study is to develop and substantiate an algorithm for regulating the number of slots when implementing the anti-collision protocol Q in information systems for international goods transportation. Results. An appropriate algorithm was proposed, which differs from existing solutions in fewer required variables and fewer operations required to calculate the set of slots. This algorithm should help decrease the time needed to transfer information from RFID tags to information systems for international goods transportation. Upon condition an equal quantity of frames, the proposed algorithm reduces the total number of operations to determine the number of slots that will be required to read a set of RFID tags by 16.7%. The algorithm is applicable due to meeting the requirement to achieve maximum system efficiency not lower than for existing solutions, which was proved with simulation modeling. Practical significance: the results obtained can be applied to ensure the availability of information when information from RFID tags enters the information systems for the international transportation of goods, as state information systems. Practical significance: the results can be used to ensure the availability of information when it is received from RFID tags in the international delivery system of goods as information systems, as well as by customs in the development of information support for labeling and traceability.

**Keywords:** RFID-technology, RFID-mark, RFID-collision, mark collision, RFID-marking, customs bodies, goods marking, RFID, anti-collision protocol

**For citation:** Lavrinovich A. A. Algorithm for regulating the quantity of slots when using the anticollision protocol Q in information systems of international goods transportation. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(3). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1035> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.009 (In Russ).

## Введение

Одной из актуальных информационных технологий сегодня является технология радиочастотной идентификации (RFID-технология). В России данная технология применяется в рамках проекта по маркировке импортируемых товаров (в частности, отдельных изделий из меха) путем нанесения RFID-меток на товары. RFID-метки содержат сведения о товарах, на которые они нанесены, и поэтому путем считывания RFID-меток может быть получена информация о товарах в целях наполнения информационных систем международной транспортировки товаров сведениями.

Работа посвящена обеспечению доступности информации, поскольку актуально требование к своевременному наполнению информационных систем информацией с помощью RFID-технологии. Если информация будет поступать несвоевременно, возникает риск увеличения времени использования информационных систем для принятия решений в отношении товаров. Информация может поступать несвоевременно ввиду коллизии меток. Поэтому в работе рассматривается решение проблемы коллизии меток при использовании RFID-технологии в рамках формирования сведений для информационных систем международной транспортировки товаров как одной из проблем обеспечения информационной безопасности таких систем.

Для решения проблемы коллизии используются антиколлизийные протоколы, одним из которых является протокол Q, описываемый в стандарте EPCGlobal Class 1 Generation 2. Одним из направлений исследований является разработка модифицированных версий данного протокола для улучшения его характеристик. В литературе по этому направлению рассматривается вопрос регулирования числа слотов в последующем фрейме, потому что в стандарте EPCGlobal Class 1 Generation 2 нет информации о том, каким образом должен быть реализован этот аспект. За последние 3 года было предложено несколько решений, в частности, Filho I., Silva I., Viegas C. [1] предложили алгоритм регулирования числа слотов с применением фактора старения, коллективом авторов [2] был предложен протокол SUBEP-Q. В обоих алгоритмах для

регулирования числа слотов используются результаты по предшествующему фрейму.

Однако недостатки данных разработок связаны с тем, что предлагаемые решения либо обеспечивают низкую эффективность, либо имеют высокую вычислительную сложность. Поэтому в настоящем исследовании необходимо разработать такой способ регулирования числа слотов в последующем фрейме, который одновременно будет нуждаться в минимальном объеме информации для вычислений и позволит обеспечить эффективную реализацию протокола.

Целью настоящего исследования является разработка и обоснование алгоритма регулирования числа слотов при реализации антиколлизийного протокола Q в информационных системах международной транспортировки товаров.

### **Модель поступления информации в информационные системы международной транспортировки товаров с применением RFID-технологии**

Целью применения RFID-технологии при использовании информационных систем международной транспортировки товаров, как государственных информационных систем, может быть получение информации о товарах, на которые нанесены RFID-метки. Информация запрашивается с целью использования в рамках информационной системы, на этой основе должностными лицами таможенных органов или автоматически программными средствами таможенных органов принимаются решения в отношении товаров [3]. Одним из основных решений, которые принимаются таким образом в отношении товаров, является решение о выпуске товаров. Так как сроки выпуска товаров ограничены по времени согласно Таможенному кодексу Евразийского экономического союза [4], то аспект информационной безопасности проявляется в том, чтобы информация поступала с RFID-меток в информационные системы своевременно. С учетом тенденции к сокращению сроков таможенного оформления возникает требование, чтобы информация поступала с RFID-меток в информационные системы в минимально возможные сроки, так как сроки выпуска сводятся от нескольких часов до нескольких минут.

На основе приведенных сведений была составлена требуемая модель своевременного поступления информации в информационные системы, модель представлена на рисунке 1.

В частности, нас интересует аспект поступления информации с RFID-меток в информационные системы таможенных органов. Для этого требуется произвести считывание RFID-метки с помощью RFID-считывателя, с которого информация должна поступить в Единую автоматизированную информационную систему (ЕАИС) таможенных органов. Поэтому задачи обеспечения доступности следующие:

1. Авторизованные пользователи информационных систем таможенных органов должны иметь доступ к информации, поступающей с RFID-меток, и беспрепятственно с ней взаимодействовать. Недоступность информации с RFID-меток служит основанием для невозможности использования информационных систем по их назначению.

2. Информационные системы таможенных органов должны своевременно наполняться сведениями с RFID-меток. Время передачи сведений с RFID-меток в информационные системы должно быть минимальным.

Если задача обеспечения доступности информации не выполняется, тогда на практике реализуется модель несвоевременного поступления информации с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров (модель представлена на рисунке 2).

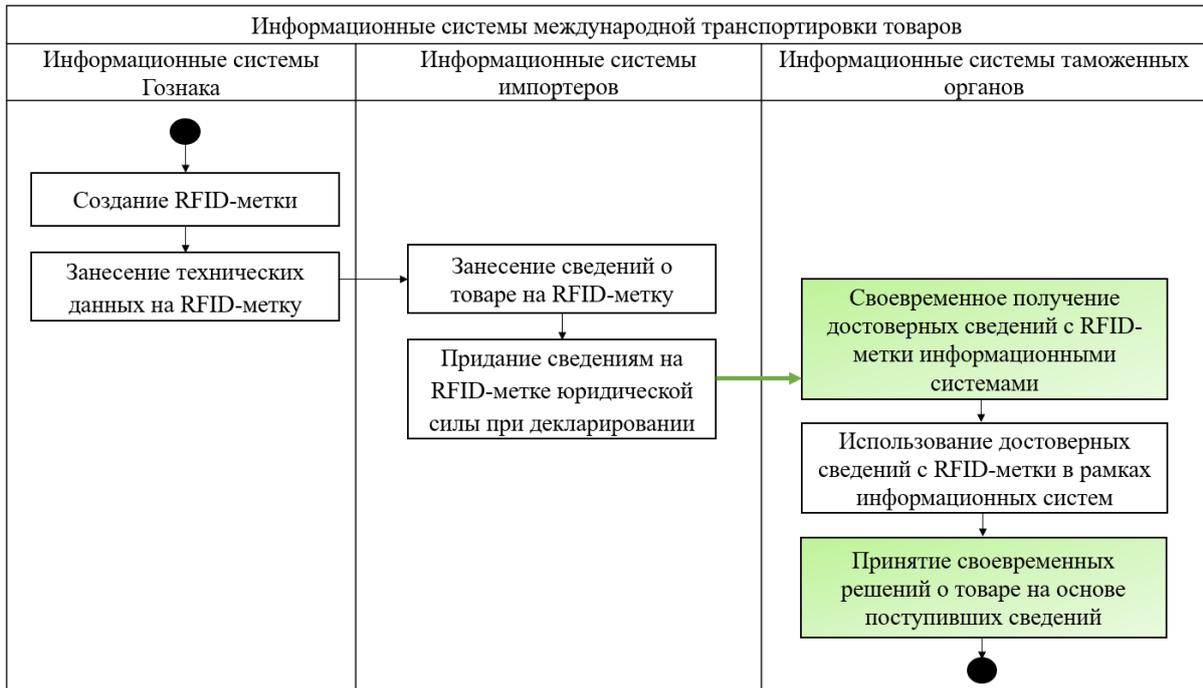


Рисунок 1 – Требуемая модель своевременного поступления информации с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров  
Figure 1 – The required model of the timely receipt of information from RFID tags into information systems for the international transportation of goods



Рисунок 2 – Модель несвоевременного поступления информации с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров  
Figure 2 – Model of untimely receipt of information from RFID tags into information systems of international transportation of goods

Причиной, по которой может быть реализована модель несвоевременного поступления информации, может быть коллизия меток. Коллизия меток – ситуация, при которой сигналы RFID-меток при направлении информации RFID-считывателю перекрывают друг друга, а считыватель не может получить ответы от всех меток одновременно. Причиной проблемы является то, что метки передают информацию вне зависимости от того, находятся в поле действия считывателя другие метки или нет. В результате считыватель может получить информацию в искаженном виде или не получить ее [5]. Как следствие – увеличивается время получения информации с меток, что негативно влияет на аспект доступности информации для информационных систем международной транспортировки товаров.

Таким образом, при использовании RFID-технологии должно обеспечиваться своевременное поступление информации с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров, на практике требуется поступление информации в минимально возможные сроки. От этого зависит скорость принятия решений при использовании изучаемых информационных систем.

### **Совершенствование антиколлизийного протокола Q как способа решения проблемы коллизии**

Для снижения негативного влияния проблемы коллизии RFID-меток следует применять антиколлизийные протоколы, так как они разделяют сигналы, получаемые RFID-считывателем от RFID-меток, снижая риск возникновения коллизии. Антиколлизийные протоколы играют решающее значение в аспекте производительности RFID-системы и позволяют продлить срок их службы [6]. В частности, с помощью антиколлизийных протоколов, которые основаны на временном разделении канала передачи данных от метки считывателю, метки будут отвечать в разные отрезки времени, называемые слотами, что позволит снизить риски коллизии.

Так как количество меток является информацией, которую необходимо установить при использовании информационных систем международной транспортировки товаров, а не проверить, то для рассматриваемых информационных систем в большей степени подходят вероятностные антиколлизийные протоколы (протоколы семейства ALOHA), а не древовидные. В стандарте, посвященном RFID-технологии, – ISO 18000-6C и EPCGlobal Class 1 Generation 2 описывается антиколлизийный протокол, основанный на протоколе DFSA (Dynamic Framed Slotted Aloha) – Q-протокол. Соответственно, данный протокол основывается на ALOHA-подходе – метки отвечают в рамках временных слотов. Он будет рассматриваться далее в работе.

Принцип работы протокола Q заключается в том, что сначала формируется значение Q, обычно в пределах от 0 до 15, это значение далее используется для определения числа слотов в первом фрейме. Данный подход использует фиксированное значение для определения числа слотов, а не вероятностное [6, Р. 408]. Величина последующего фрейма регулируется в зависимости от результатов считывания предыдущего фрейма, что является одним из главных преимуществ этого протокола. В зависимости от результатов считывания формируется значение C (обычно в пределах от 0,1 до 0,5), которое либо суммируется со значением Q, если есть коллизии, либо вычитается из значения Q, если ответов меток нет [1].

Регулирование числа слотов в фрейме – один из главных факторов его эффективности [2], поэтому в научной среде предлагаются новые способы решения данной задачи, так как в стандарте EPCGlobal Class 1 Generation 2 таких рекомендаций нет.

Для повышения эффективности протокола Q разрабатываются различные алгоритмы регулирования длины фрейма. Оценка отдельных алгоритмов, разработанных за последние 3 года, в сравнении с алгоритмом, который разработан в рамках настоящего исследования, приведена в таблице 1. Стоит отметить, что в рамках настоящего исследования решено не рассматривать алгоритмы, использующие вероятностные характеристики, так как это требует большего числа операций по вычислению числа слотов. Например, среди такого рода решений стоит отметить работы [7], [8], [9], и в них для регулирования числа слотов используется большее число переменных, а число операций для вычислений больше, чем у алгоритмов, представленных в таблице 1. Также нами не рассматривались алгоритмы, разрабатываемые в целях повышения энергоэффективности использования протокола, например, [10]. В каждом из представленных в таблице 1 алгоритмов для регулирования числа слотов в последующих фреймах используется информация о результатах считываний в предшествующем фрейме. Этот метод является наиболее широко используемым в современной практике. Каждый из алгоритмов позволяет добиться максимальных значений системной эффективности протокола, близких к теоретическому максимуму для данного алгоритма (36,1 %).

Таблица 1 – Оценка алгоритмов регулирования длины фрейма при реализации протокола Q  
Table 1 – Evaluation of algorithms for adjusting the frame length when implementing the Q protocol

Алгоритм	Filho I., Silva I., Viegas C. [2]	Протокол SUBEP-Q [1]	Предлагаемый алгоритм
Принцип регулирования числа слотов в последующих фреймах (n)	Использование информации о результатах считываний в предшествующем фрейме с учетом длины слотов и коэффициента к, фактора старения	Использование информации о результатах считываний в предшествующем фрейме с учетом длины слотов и коэффициента к	Использование информации о результатах считываний в предшествующем фрейме
Максимальная системная эффективность, %	34,9	35,99	35,5
Число переменных для расчета n, шт.	6	5	3
Переменные для расчета n	1. Длина слота 2. Продолжительность слота 3. Фактор старения 4. Число успешных слотов 5. Число коллизий 6. Коэффициент к	1. Число коллизий 2. Число успешных слотов 3. Длина слота 4. Число i 5. Коэффициент к	1. Число коллизий 2. Число пустых слотов 3. Общее число слотов
Число операций для вычисления n, шт.	7	6	5

Предлагаемый алгоритм отличается от существующих, прежде всего, тем, что в нем используется меньшее число переменных для определения числа слотов (число переменных меньше на 50 %, чем в исследовании [2], меньше на 40 %, чем в исследовании [1]), а также тем, что в нем требуется меньшее число операций для определения числа слотов (число операций меньше на 28,6 %, чем в исследовании [2], меньше на 16,7 %, чем в исследовании [1]).

В данной работе не рассматривается влияние выбора первоначального значения  $Q$  на эффективность протокола, хотя это является одним из факторов, влияющих на эффективность протокола. Тем не менее, с учетом того, что все представленные алгоритмы позволяют добиваться достаточно высокого уровня максимальной системной эффективности, основное внимание уделено аспекту регулирования числа слотов в фрейме. Предлагаемый алгоритм не нуждается в информации о числе меток для определения первоначального значения  $Q$  в отличие от алгоритма, предложенного в [5], что также сокращает число вычислительных операций в сравнении с этим алгоритмом.

Кроме того, на данном этапе исследования не рассматривается влияние числа меток на системную эффективность протокола  $Q$ , хотя это также оказывает влияние на системную эффективность. С учетом того, что алгоритмы будут иметь разные значения системной эффективности при разном числе меток для обеспечения единообразия при сравнении выбран показатель максимальной системной эффективности.

Таким образом, для решения проблемы коллизии меток необходимо использовать антиколлизийные протоколы, например, протокол  $Q$ . Одной из задач по его развитию является решение вопроса по регулированию числа слотов в последующих фреймах. В этой связи был предложен соответствующий алгоритм, который отличается от существующих меньшим числом требуемых переменных и меньшим числом операций, необходимых для вычисления числа слотов. Данный алгоритм должен способствовать сокращению времени, которое необходимо для передачи информации с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров.

### Методология

С учетом требования к тому, что время поступления информации с меток в информационные системы международной транспортировки товаров должно быть минимальным, для оценки решения предлагаем использовать формулу (1):

$$y = kx, \text{ при } x < 6, x \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $y$  – уровень информационной безопасности информационных систем международной транспортировки товаров с применением RFID-технологии (аспект доступности информации);

$x$  – число операций, требуемых для вычисления числа слотов в последующем фрейме;

$k$  – число фреймов, необходимых для считывания RFID-меток (за исключением фреймов, в которых число слотов определяется случайным образом), шт.

Значение  $y$  будет отражать общее число операций по определению числа слотов, которое потребуется для считывания совокупности RFID-меток. Задача по разработке алгоритма заключается в том, чтобы уменьшить число требуемых операций для сокращения времени поступления сведений в информационные системы международной транспортировки товаров.

Кроме того, стоит отметить условие применимости предлагаемого решения – достижение высокого значения системной эффективности. Для оценки эффективности применения антиколлизийных протоколов используются два показателя – системная и временная эффективность. Нам в большей степени интересует показатель системной эффективности, так как мы исходим из того, что при равной продолжительности слотов именно системная эффективность будет определять и временную эффективность.

Системная эффективность рассчитывается как отношение количества успешных слотов к общему количеству слотов (2):

$$U_s = \frac{N_s}{N_s + N_E + N_C}, \quad (2)$$

где  $U_s$  – системная эффективность;

$N_s$ ,  $N_E$ ,  $N_C$  – число успешных, холостых и коллизийных слотов по завершению считывания, соответственно.

Для оценки протоколов используются показатели средней и максимальной системной эффективности (например, в [4]). В данном исследовании рассматривается показатель максимальной системной эффективности как показатель, который отражает верхнюю границу по достижению системной эффективности.

Соответственно, предлагаемый алгоритм будет признан применимым, если он сможет обеспечить значение системной эффективности не ниже, чем по существующим решениям (3):

$$U_s > 0,349, \quad (3)$$

где  $U_s$  – системная эффективность протокола Q при реализации предлагаемого алгоритма.

В частности, значение 0,349 – это значение максимальной системной эффективности, полученное в исследовании [2].

Таким образом, для оценки предлагаемого решения может быть использован показатель общего числа операций по определению числа слотов, которое потребуется для считывания совокупности RFID-меток. Решение будет признано целесообразным, если оно позволит сократить число таких операций. Но при этом должны обеспечиваться значения максимальной системной эффективности не ниже, чем по существующим решениям.

## Результаты

В данной части рассмотрим, каким образом будет реализован протокол Q при использовании предлагаемого алгоритма. Основным принцип предлагаемого алгоритма – число Q – может изменяться в большую сторону, если больше половины слотов были с коллизиями, в меньшую сторону, если больше половины слотов были с простоем, и оставаться без изменений, если соблюдено два условия: слотов с коллизиями меньше 50 %, пустых слотов также меньше 50 %.

Формула определения числа слотов для последующего фрейма (4):

$$n = Q + r, r = \begin{cases} 1, & \text{при условии } \frac{N_I}{Q} > 0,5 \\ -1, & \text{при условии } \frac{N_C}{Q} > 0,5 \\ 0, & \text{при условии } \frac{N_I}{Q} < 0,5, \frac{N_C}{Q} < 0,5 \end{cases}, \quad (4)$$

где  $n$  – число слотов в последующем фрейме;

$Q$  – значение  $Q$ , используемое в предшествующем фрейме;

$r$  – корректирующее значение для  $Q$

$N_I$  – число пустых слотов в предшествующем фрейме;

$N_C$  – число коллизий в предшествующем фрейме;

На рисунке 3 отображен алгоритм реализации  $Q$  протокола по фреймам, он отражает процесс считывания в рамках одного фрейма. В начале считывания все метки имеют статус  $N$ , что означает, что метка не считана (информация от метки не передана считывателю). Далее считыватель определяет значение  $Q$ , которое отражает количество слотов в рамках одного фрейма. Это же значение используется для генерации чисел метками. Считывателю направляет информацию та метка, у которой значение «счетчика» равно нулю. Если значение не равно нулю, то сгенерированное значение уменьшается на единицу. По завершению слотов во фрейме считыватель принимает решение об изменении значения  $Q$ . Так повторяется до тех пор, пока не останется меток со статусом  $N$ .

На рисунке 4 показан алгоритм работы протокола  $Q$  по слотам. В данном случае (реализация протокола  $Q$  в рамках конкретного фрейма) основная особенность связана с тем, метка отвечает считывателю только тогда, когда ее значение (сгенерированное или уменьшенное) равно нулю.

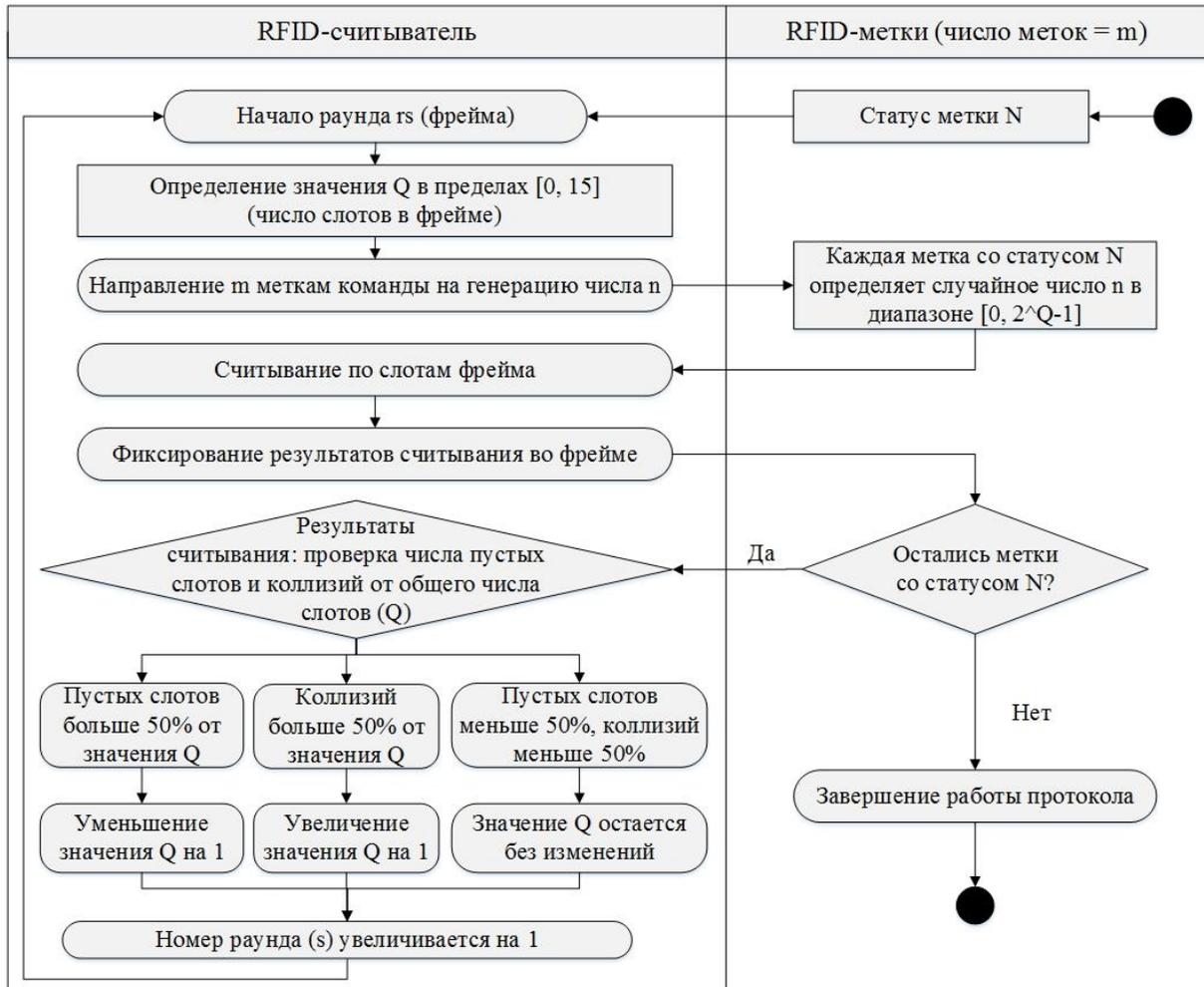


Рисунок 3 – Алгоритм работы протокола Q по фреймам  
 Figure 3 – Алгоритм работы протокола Q по фреймам

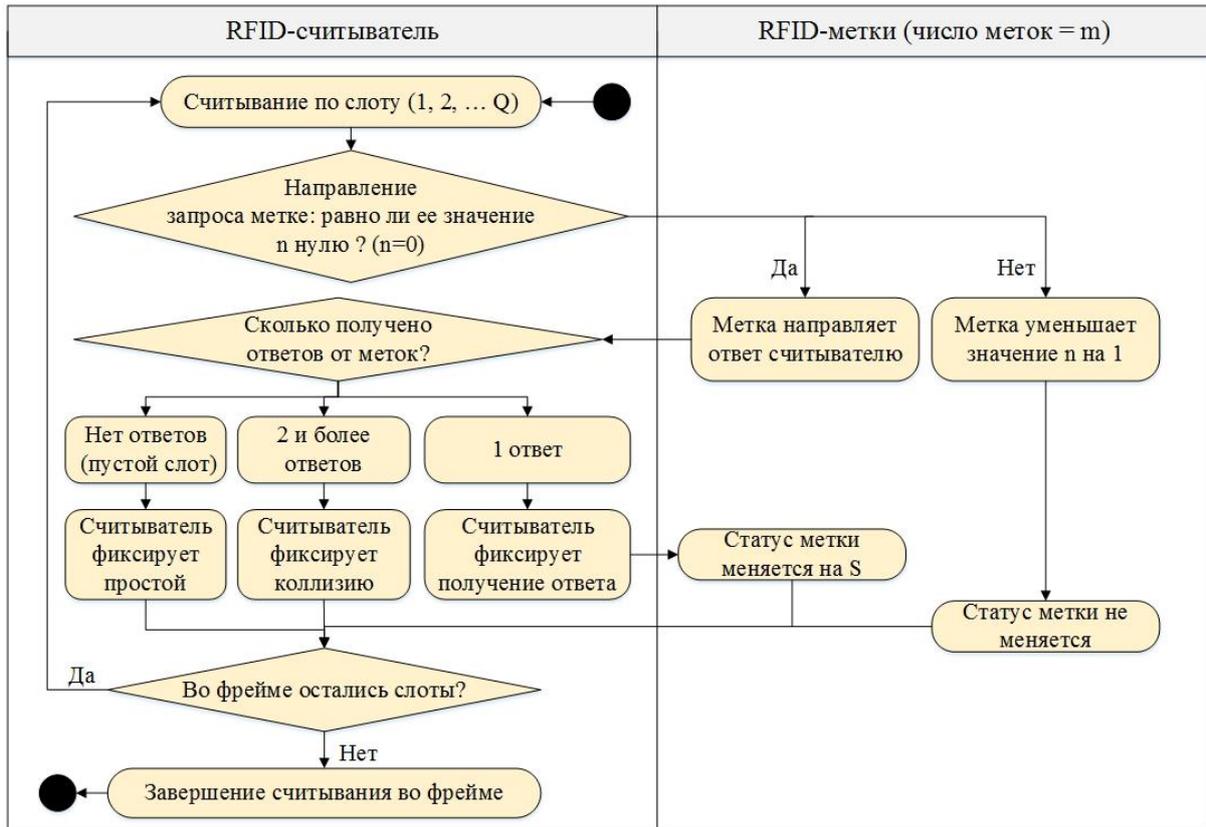


Рисунок 4 – Алгоритм работы протокола Q по слотам  
Figure 4 – Алгоритм работы протокола Q по слотам

Исходя из значения метка (одна или несколько) может либо ответить считывателю, либо не направлять ответ. Так, если RFID-метка является единственной, которая направила ответ считывателю, то тогда ее статус меняется на S, что означает, что метка считана и больше не участвует в процессе опроса. Алгоритм ограничен количеством слотов во фрейме, поэтому он завершается тогда, когда кончились слоты. Поскольку значение Q может меняться в каждом фрейме, то каждый новый фрейм может отличаться от предыдущего количеством слотов. Поэтому в данном исследовании был предложен алгоритм регулирования числа слотов в последующих фреймах, который требует меньшего объема сведений, чем существующие алгоритмы, а также имеет меньшее число вычислений.

На основе разработанного алгоритма было проведено имитационное моделирование. Имитационная модель позволила реализовать 4 этапа, отраженные в таблице 2.

Таблица 2 – Этапы для реализации в имитационной модели  
Table 2 - Steps to be implemented in a simulation model

№	Этап	Операции	Значение
1	Определение значения Q	Значение Q выбирается в пределах [0; 15] на основе ГСЧ	Q – число слотов во фрейме
2	Генерация меткой числа	Число определяется в диапазоне [0, 2 <sup>Q</sup> -1]	Число используется для определения момента времени ответа метки

Продолжение Таблицы 2

№	Этап	Операции	Значение
3	Считывание по слотам	Ответ направляют только те метки, у которых значение числа (п.2) равно 0	Ответ от 0 меток – $N_I$ Ответ от 1 метки – $N_S$ Ответ от 2 меток и более – $N_C$
4	Завершение фрейма	1. Решение о необходимости еще одного фрейма 2. Решение об изменении числа Q в следующем фрейме	1. Решение № 1 принимается исходя из того, остались ли нечитанные метки 2. Решение № 2 принимается исходя из числа пустых слотов и числа коллизий в рамках прошедшего фрейма

В имитационной модели было реализовано три ситуации, связанные с различным числом меток (50 шт., 100 шт., 1000 шт.), проверяемых одновременно (число меток, которые надо проверить, равно 1000 шт.). Количество наблюдений – 100 шт. для каждого случая. Результаты имитационного моделирования, обработанные статистическим образом (проверка распределения, случайности величин, расчет дисперсии, среднего квадратического отклонения (СКО), коэффициента вариации) приведены в Таблице 3. При проведении сравнения не учитывалось, что для случаев № 1 и № 2 потребуются дополнительные операции по перемещению меток в пространстве.

Таблица 3 – Результаты имитационного моделирования и их статистическая обработка  
Table 3 – Simulation results and their statistical processing

Показатель \ №	1	2	3
Число проверяемых меток одновременно, шт.	50 (RFID-система средней идентификации)	100 (RFID-система средней идентификации)	1000 (RFID-система дальней идентификации)
Число слотов, шт.	50*20=3846	357*10=3570	3225
$\chi^2$ (0,05 <sup>9</sup> ; 9 <sup>10</sup> ) (критический)	16,91	16,91	16,91
$\chi^2$ фактический	12,16 (ниже критического)	13,09 (ниже критического)	12,01 (ниже критического)
p-value	0,20 (выше, чем 0,05)	0,15 (выше, чем 0,05)	0,64 (выше, чем 0,05)
Системная эффективность (математическое ожидание), %	26,73	27,94	30,95

Продолжение Таблицы 3			
Показатель \ №	1	2	3
Оценка дисперсии, % <sup>2</sup>	12,77	7,18	0,91
СКО, %	3,57	2,68	0,95
Коэффициент вариации	0,13	0,09	0,03
Максимальное значение системной эффективности, %	35,5	34,9	34,1

Таким образом, предложен алгоритм регулирования числа слотов при реализации антиколлизийного протокола Q в информационных системах международной транспортировки товаров. Применимость данного алгоритма доказана результатами имитационного моделирования. Так как предлагаемый алгоритм сочетается со стандартом EPC C1G2, это обеспечивает его универсальность в применении.

### Обсуждение и рекомендации

Итак, после того как было установлено, что предлагаемый алгоритм является целесообразным к применению ввиду значений максимальной системной эффективности (условие, описанное по формуле (3)), рассмотрим, каким образом с его помощью меняется уровень информационной безопасности информационных систем международной транспортировки товаров с применением RFID-технологии (аспект доступности информации). Для оценки используется формула (1).

В качестве значения «было» рассмотрим число операций, которое требуется по алгоритму, предложенному в рамках протокола SUBEP-Q [1] (6 шт.), а в качестве значения «стало» – число операций, которое требуется по предлагаемому алгоритму (5 шт.). Для расчета значений по формуле (1) требуется величина, характеризующая число фреймов. Для сопоставимости значений рассмотрим случаи, когда для считывания совокупности RFID-меток требуется 100 тыс. фреймов и 200 тыс. фреймов.

Графики, отражающие уровень информационной безопасности информационных систем международной транспортировки товаров с применением RFID-технологии (аспект доступности информации), показаны на рисунке 5.

В относительном выражении предлагаемый алгоритм регулирования числа слотов позволяет сократить общее число операций по определению числа слотов в сравнении с протоколом SUBEP-Q [1] на 16,7 %. В абсолютном выражении при числе фреймов 100 тыс. шт. число операций сокращается на 100 тыс. шт., а при числе фреймов в 200 тыс. шт. – на 200 тыс. шт. Следовательно, при увеличении числа фреймов, которое будет требоваться для считывания совокупности RFID-меток, будет увеличиваться положительный эффект от реализации предлагаемого алгоритма. Значит, при расширении действия систем маркировки и прослеживаемости товаров, предлагаемый алгоритм будет выглядеть целесообразным к использованию в аспекте обеспечения доступности информации.

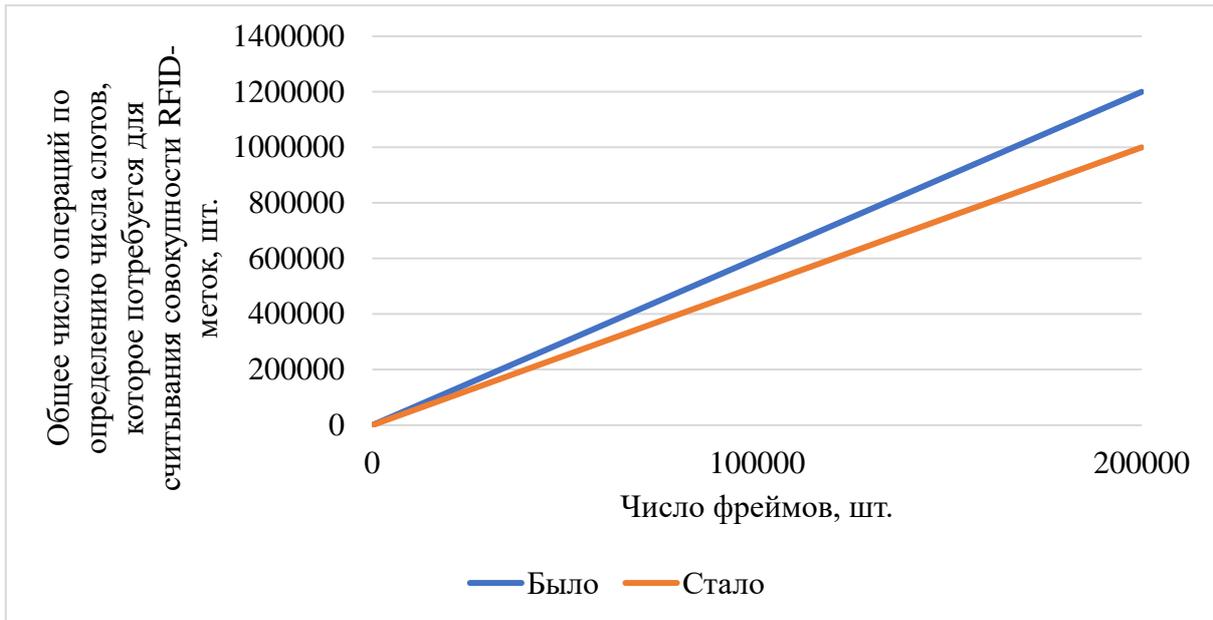


Рисунок 5 – Оценка уровня информационной безопасности информационных систем международной транспортировки товаров с применением RFID-технологии (аспект доступности информации)

Figure 5 – Assessment of the level of information security of information systems for international transportation of goods using RFID technology (aspect of information accessibility)

В качестве рекомендации по использованию предлагаемого алгоритма регулирования числа слотов стоит выделить, прежде всего, то, что, согласно полученным результатам, данный алгоритм целесообразен к применению в тех случаях, когда одновременно проверяется небольшое число RFID-меток (50 шт.), тогда как при большем числе одновременно проверяемых меток (100 шт., 1000 шт.) значение максимальной системной эффективности ниже, чем у существующих решений. Тем не менее, стоит учитывать, что при увеличении числа меток растет средняя системная эффективность, рассчитанная нами как математическое ожидание. Поэтому при реализации алгоритма целесообразным может быть использование RFID-систем средней идентификации.

Следующая рекомендация связана с RFID-считывателями. Для считывателей, которые применяются в таможенных органах, необходимо разработать программное обеспечение, которое будет реализовывать предлагаемый алгоритм и направлять информацию в информационные системы международной транспортировки товаров.

Итак, оценка предлагаемого алгоритма в аспекте обеспечения информационной безопасности информационных систем международной транспортировки товаров с применением RFID-технологии позволяет сделать вывод о возможности алгоритма оказывать благоприятное воздействие на обеспечение доступности информации при использовании технологии в изучаемых информационных системах.

### Заключение

В данном исследовании были получены следующие результаты:

1. Были построены модели поступления информации в информационные системы международной транспортировки товаров. Модели отражают значение своевременности поступления информации с RFID-меток в информационные системы. Было установлено, что причиной возможного несвоевременного поступления информации является проблема коллизии меток, которая решается путем использования антиколлизийных

протоколов, одним из которых является протокол Q.

2. Было проведено исследование существующих решений по модификации протокола Q, включающих предложение алгоритмов по регулированию числа слотов в последующих фреймах. На этой основе для совершенствования данного протокола в аспекте упрощения вычислений был разработан алгоритм регулирования числа слотов, который отличается от существующих решений меньшим числом переменных (на 50 %, чем в исследовании [2], на 40 %, чем в исследовании [1]), меньшим числом операций для определения числа слотов (число операций меньше на 28,6 %, чем в исследовании [2], меньше на 16,7 %, чем в исследовании [1]).

3. Предлагаемый алгоритм позволяет не только упростить вычисления по определению числа слотов в последующих фреймах, но и обеспечить требуемый уровень системной эффективности – с помощью имитационного моделирования удалось доказать, что значение максимальной системной эффективности протокола Q с учетом предлагаемого алгоритма регулирования числа слотов не ниже, чем по существующим решениям.

Итак, в данном исследовании был разработан и обоснован алгоритм регулирования числа слотов при реализации антиколлизийного протокола Q в информационных системах международной транспортировки товаров. Алгоритм позволяет уменьшить количество операций по определению числа слотов, которое потребуется для считывания совокупности RFID-меток, в сравнении с существующими решениями. Поэтому предлагаемое решение способствует своевременному поступлению информации с RFID-меток в информационные системы международной транспортировки товаров. Перспективы исследования заключаются в рассмотрении влияния выбора первоначального значения Q на эффективность протокола.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang G., Tao S., Xiao W., Cai Q., Gao W., Jia J., Wen J. A Fast and Universal RFID Tag Anti-collision Algorithm for the Internet of Things. *IEEE Access*. 2019;1-1.
2. Filho I., Silva I., Viegas C. An Effective Extension of Anti-Collision Protocol for RFID in the Industrial Internet of Things (IIoT). *Sensors*. 2018;18:4426.
3. Лавринович А. А. Риски автоматизации государственной системы RFID-маркировки с позиции информационной безопасности в таможенных органах РФ. *Таможенные чтения – 2019. Наука и образование в условиях становления инновационной экономики: сборник материалов Международной научно-практической конференции. В 4-х тт. Том I. СПб.: РИО СПб филиала РТА, 2019;1:48-53.*
4. Таможенный кодекс Евразийского экономического союза. Доступно по: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_215315/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215315/) (дата обращения 13.08.2021).
5. Smiljanic, N., Landaluce, H., Perallos, A.A. Comparison of RFID Anti-Collision Protocols for Tag Identification. *Applied Sciences*. 2018;8,1282.
6. Klair, D., Chin, K. and Raad, R. (2010), A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2010;12(3):400-421.
7. Jiang Z, Li B, Yang M, Yan Z. LC-DFSA: Low Complexity Dynamic Frame Slotted Aloha Anti-Collision Algorithm for RFID System. *Sensors*. 2020;20(1):228.
8. Wang Z., Huang S., Fan L., Zhang T., Wang L., Wang Y. Adaptive and dynamic RFID tag anti-collision based on secant iteration. *PLoS ONE*. 2018;13(12):e0206741.
9. Arjona L., Landaluce H., Perallos A., Onieva E. Dynamic Frame Update Policy for UHF RFID Sensor Tag Collisions. *Sensors*. 2020;20(9):2696.
10. Loganathan L.M., Elshaikh M., Sabapathy T., Jusoh M., Abd R.R. Energy Efficient Anti-

Collision Algorithm for the RFID Networks. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2019;8(2):622-629.

## REFERENCES

1. Zhang G., Tao S., Xiao W., Cai Q., Gao W., Jia J., Wen J. A Fast and Universal RFID Tag Anti-collision Algorithm for the Internet of Things. *IEEE Access*. 2019;1-1.
2. Filho I., Silva I., Viegas C. An Effective Extension of Anti-Collision Protocol for RFID in the Industrial Internet of Things (IIoT). *Sensors*. 2018;18:4426.
3. Lavrinovich A.A. Risks of automation of the state RFID-marking system from the position of information security in the customs authorities of the Russian Federation. Tamozhennye chteniya – 2019. Nauka i obrazovanie v usloviyah stanovleniya innovacionnoj ekonomiki: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 4-h tt. Vol I. StP.: RIO SPb filiala RTA, 2019;1:48-53. (In Russ.)
4. Customs Code of Eurasian Economic Union. Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_215315/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215315/) (Accessed 13th August 2021).
5. Cmiljanic, N., Landaluce, H., Perallos, A.A. Comparison of RFID Anti-Collision Protocols for Tag Identification. *Applied Sciences*. 2018;8,1282.
6. Klair, D., Chin, K. and Raad, R. (2010), A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2010;12(3):400-421.
7. Jiang Z, Li B, Yang M, Yan Z. LC-DFSA: Low Complexity Dynamic Frame Slotted Aloha Anti-Collision Algorithm for RFID System. *Sensors*. 2020;20(1):228.
8. Wang Z., Huang S., Fan L., Zhang T., Wang L., Wang Y. Adaptive and dynamic RFID tag anti-collision based on secant iteration. *PLoS ONE*. 2018;13(12):e0206741.
9. Arjona L., Landaluce H., Perallos A., Onieva E. Dynamic Frame Update Policy for UHF RFID Sensor Tag Collisions. *Sensors*. 2020;20(9):2696.
10. Loganathan L.M., Elshaikh M., Sabapathy T., Jusoh M., Abd R.R. Energy Efficient Anti-Collision Algorithm for the RFID Networks. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2019;8(2):622-629.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Лавринович Александр Андреевич**, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Санкт-Петербург, Российская Федерация.  
*e-mail:* [lavrinvich.readit@gmail.com](mailto:lavrinvich.readit@gmail.com)

**Aleksandr A. Lavrinovich**, Phd Student, Saint-Petersburg National Research University Of Information Technologies, Mechanics And Optics, St-Petersburg, Russian Federation.