

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МАРШРУТИЗАЦИИ ДАННЫХ В МНОГОСПУТНИКОВОЙ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ СВЯЗИ

О. В. КАРСАЕВ

*Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,  
199178, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: karsaev@ips-logistic.com*

Исследованы особенности маршрутизации данных в многоспутниковой низкоорбитальной системе, обеспечивающей связь наземных абонентов между собой и с космическими аппаратами. Рассматриваются вопросы построения орбитальной группировки, при котором спутники связи формируют сегмент сети со статической топологией. В этом случае маршрутизация, по сути, сводится к решению двух задач: поиск спутников связи, которые находятся в зоне радиовидимости с респондентами сеансов связи, и поиск маршрутов передачи данных в межспутниковых линиях связи. Для решения первой задачи предлагается подход на основе имитационного моделирования структуры орбитальной группировки. Для решения второй задачи предлагается подход, обеспечивающий поиск маршрутов с учетом текущей загрузки линий связи и балансировки трафика в целом. Время существования линий между спутниками и респондентами сеансов связи ограничено временем нахождения спутников в зонах радиовидимости. В связи с этим кроме установления начальных соединений также рассматривается задача перемещения установленных соединений.

**Ключевые слова:** многоспутниковая низкоорбитальная система связи, абонентские линии связи, маршрутизация данных

**Введение.** Объектом исследований в работе является многоспутниковая низкоорбитальная система связи (МНСС), пользователями которой являются наземные абоненты, земные станции (ЗС), абонентские терминалы (АТ) и абоненты наземных сетей, а также космические аппараты дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) многоспутниковых космических систем (КС). Вследствие мобильности спутников сеть относится к классу MANET (Mobile Ad-hock Network) [1]. Разработанные для этого класса сетей общие протоколы маршрутизации [2—4] обладают некоторыми недостатками, в частности, значительным трафиком служебных сообщений, и более эффективен подход, предполагающий учет конкретной специфики рассматриваемых приложений. Примеры протоколов маршрутизации, учитывающих специфику сетей КС, можно найти в работах [5—7]. Целью настоящей статьи является разработка концептуальной модели маршрутизации данных в МНСС.

**Постановка задачи.** Полагается, что низкоорбитальные спутники связи (НСС) равномерно размещаются в нескольких орбитальных плоскостях, и каждый из них всегда имеет связь с двумя соседними НСС в своей плоскости, и двумя соседними НСС в смежных плоскостях. Такое формирование сети, в частности, реализовано в группировке спутников связи Iridium [8], состоящей из 66 спутников (по 11 спутников в 6 орбитальных плоскостях). При таком построении топология сегмента сети, формируемая НСС, имеет вид решетки (рис. 1), и изменяется только в тех случаях, когда какие-то межспутниковые линии связи становятся недоступными. Однако сегмент сети, образуемый абонентскими линиями связи между НСС и абонентами сети, обладает динамически изменяющейся топологией (рис. 2).

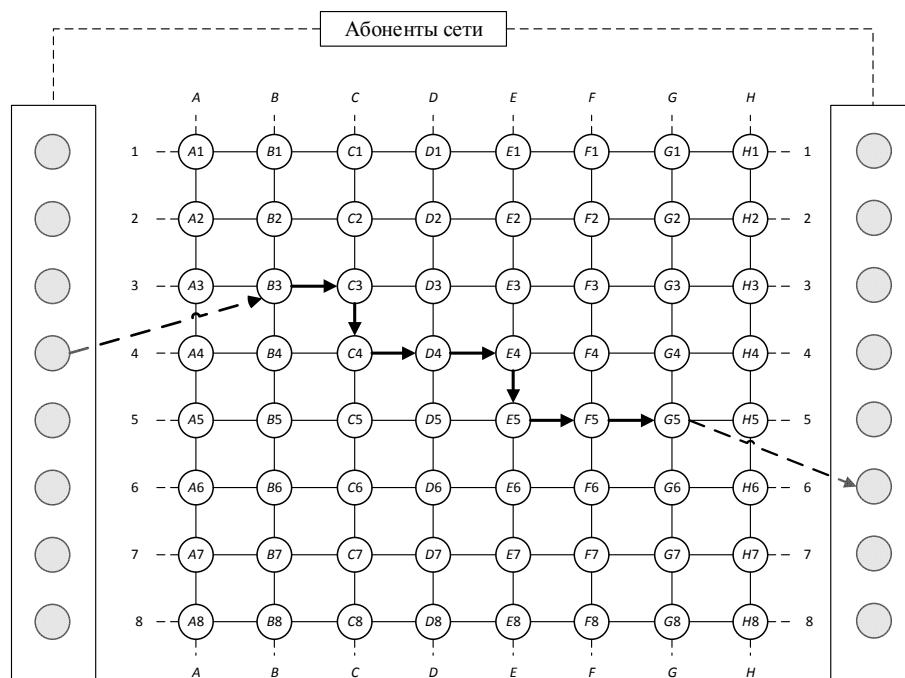


Рис. 1

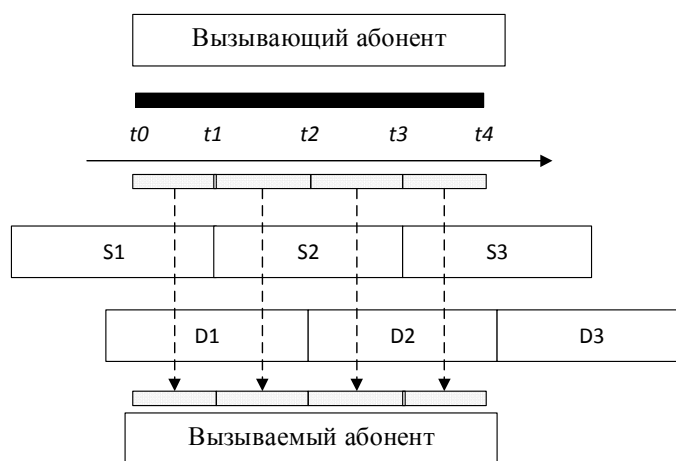


Рис. 2

В рассматриваемом случае схема маршрутов соединений может представляться как  $I-S-D-R$ , где  $I$  и  $R$  — вызывающий и вызываемый абоненты соответственно,  $S$  и  $D$  — спутники НСС,  $I-S$  и  $D-R$  — абонентские линии связи, а  $S-D$  — маршрут в сегменте сети межспутниковых линий связи.

Установление соединения, главным образом, сводится к решению двух задач: выявлению НСС  $D$ , который в момент вызова может иметь связь с абонентом  $R$ , и поиску маршрута  $S-D$  передачи данных в сегменте межспутниковых линий связи. Когда продолжительность сеанса связи превышает время существования абонентских линий связи  $I-S$  или  $D-R$ , возникает необходимость в перемещении соединений, т.е. в установлении соединения по маршруту  $I-S^*-D-R$  или  $I-S-D^*-R$  соответственно. Перемещение соединений соответствует процедуре хэндовера в сотовых сетях связи.

**Установление соединений.** Подход к установлению соединений, когда инициаторами и респондентами связи являются наземные абоненты, предложен в патентах [9—11]. В этом подходе рассматриваются разбиение земной поверхности на зоны радиосвязи (ЗРС) и установление соединений на основе поиска НСС, находящихся в текущий момент времени в тех же ЗРС, что и вызываемые абоненты  $R$ .

Схожий по смыслу подход в случае многоспутниковых КС, когда спутники и наземные объекты образуют не связанную DTN-сеть (Delay-and-Disruption Tolerant Networking) [12], рассматривается в алгоритме CGR (Contact Graph Routing) [13—15]. Основой этого алгоритма является план контактов, в котором указываются интервалы времени, когда пары узлов сети („спутник–спутник“ или „спутник–наземный абонент“) находятся в зоне радиосвязи.

Рассмотрим обобщение предложенного в [9—11] подхода и принципов построения CGR-алгоритма для случая, когда пользователями МНСС являются как наземные абоненты, так и КА ДЗЗ. В этом случае полагается, что на каждом НСС на основе информационного обмена поддерживаются в актуальном состоянии базы данных (БД):

- А) регистрация наземных абонентов на спутниках НСС;
- В) нахождение наземных абонентов в ЗРС;
- С) нахождение спутников НСС в ЗРС;
- Д) нахождение спутников НСС, имеющих линии связи со шлюзовыми станциями;
- Е) нахождение НСС и КА ДЗЗ в зоне радиовидимости.

Данные для БД „С“ и „Е“ периодически рассчитываются и обновляются на основе имитационного моделирования полета НСС и КА ДЗЗ в центре управления орбитальной группировкой МНСС. Эти данные, в частности, включают моменты времени начала и окончания нахождения НСС в каждой конкретной ЗРС (в БД „С“) и в зоне радиовидимости КА ДЗЗ (в БД „Е“).

Маршрутизатор НСС  $S$ , получив от абонента  $I$  пакет, адресованный вызываемому абоненту  $R$ , инициирует сценарий установления соединения в зависимости от классификации абонента  $R$ .

*Сценарий 1, если  $R$  является АТ или ЗС.* Если абонент  $R$  уже зарегистрирован в каком-то НСС (БД „А“), тогда этот НСС является спутником  $D$  и выполняется поиск маршрута  $S-D$ . Если  $R$  ни в одном из НСС не зарегистрирован, на основании БД „В“ и „С“ определяется список НСС  $\{X\}$ , находящихся в этот момент времени в той же ЗРС, в которой находится абонент  $R$ , и строятся маршруты до каждого НСС из  $\{X\}$ . Спутники  $\{X\}$ , получившие сигнал вызова, ретранслируют его в служебном канале абонентской линии связи. Абонент  $R$ , при получении сигналов вызова, выбирает спутник  $D \in \{X\}$ , регистрируется и посылает сигнал готовности к сеансу связи абоненту  $I$ . При выборе спутника  $D$ , в частности, может учитываться продолжительность времени его нахождения с абонентом  $I$  в одной ЗРС.

*Сценарий 2, если  $R$  является абонентом наземных сетей.* Если НСС  $S$  в данный момент времени имеет установленную линию связи с шлюзовой станцией, пакет от абонента  $I$  передается этой станции и далее, по наземным каналам связи, вызываемому абоненту  $R$ . Если НСС  $S$  не имеет линии связи с шлюзовой станцией, тогда на основе БД „Д“ определяется ближайший НСС  $D$ , имеющий такую линию связи, выполняется поиск маршрута  $S-D$ , и пакет передается этому спутнику  $D$  для его дальнейшей пересылки абоненту  $R$ .

*Сценарий 3, если  $R$  является КА ДЗЗ.* Если КА ДЗЗ находится в зоне радиосвязи, НСС  $S$  устанавливает связь с ним и осуществляет передачу пакета. В противном случае на основе плана контактов (БД „Е“) выбирается НСС  $D$ , находящийся в зоне радиосвязи с КА ДЗЗ, выполняется поиск маршрута  $S-D$ , и пакет передается КА ДЗЗ через этот НСС  $D$ .

**Поиск маршрутов в сегменте межспутниковых линий связи.** Поиск маршрутов  $S-D$  в сегменте межспутниковых линий связи может выполняться по схеме протокола PNNI (Private Network-to-Network Interface) [16], которая позволяет строить маршруты с учетом балансировки трафика данных и предполагает:

- формирование и обновление таблиц маршрутизации (ТМ) в узлах сети,
- поиск маршрутов на основании текущих данных ТМ,
- контроль состояния каналов маршрутов с помощью сигнального протокола.

Под ТМ понимается „топологическая база данных“, описывающая текущее состояние сети в виде графа, вершины которого соответствуют НСС, а ребра — межспутниковым линиям

связи. Линии связи описываются свойствами: 1) состояние (доступна или недоступна); 2) загрузка (остаточная пропускная способность, бит/с). Остаточная пропускная способность линии связи *Residual throughput* рассчитывается с помощью формулы

$$\text{Residual throughput} = \text{throughput} - \sum_1^n V(i),$$

где *throughput* — пропускная способность линии связи,  $i=1, \dots, n$  — маршруты, использующие эту линию связи,  $V(i)$  — пропускная способность линии связи, зарезервированная для передачи потока данных по  $i$ -му маршруту.

Состояние линий связи определяется традиционным образом, на основе посылки НСС служебных сообщений *Hello*. Если в течение заданного времени НСС не получает сообщения *Hello* от соседнего НСС, линия связи с ним полагается недоступной. Остаточная пропускная способность линий связи изменяется при появлении новых маршрутов и по окончании их существования. Если НСС выявляет изменение состояния линии связи или определяет, что ее остаточная пропускная способность становится выше или ниже заданного критического значения, он инициирует широковещательную передачу в сети сообщений об этих изменениях.

Описание построенных маршрутов  $S-D$  сохраняется в начальных узлах маршрутов  $S$ . При получении широковещательного сообщения об изменении состояния какой-либо линии связи маршрута и по окончании передачи по нему данных НСС  $S$  выполняет передачу служебных сообщений в узлы маршрута для отмены резервирования пропускной способности линий связи.

Поиск маршрутов выполняется с помощью алгоритма Дейкстры. В качестве критериев поиска рассматриваются два требования: 1) остаточная пропускная способность линий связи в маршруте должна быть достаточной для передачи потока данных, 2) из всех удовлетворяющих этому требованию маршрутов выбирается состоящий из наименьшего числа линий связи. Соблюдение первого требования обеспечивает балансировку трафика при построении маршрутов.

Асинхронное построение маршрутов разными НСС предполагает, что линия связи может одновременно использоваться для построения нескольких маршрутов. В этом случае суммарное требование маршрутов к пропускной возможности линии связи может превышать остаточную пропускную способность.

Для выявления и разрешения таких конфликтов состояние линий связи построенных маршрутов контролируется с помощью сигнального протокола. По найденному маршруту отправляется служебный пакет-запрос, в котором содержатся описание маршрута и требование к пропускной способности линий связи  $V$  (бит/с).

Если в процессе прохождения пакета-запроса по маршруту обнаруживается, что какой-то НСС не может обеспечить передачу данных, он возвращает НСС  $S$  пакет с указанием причины отказа в соединении: требование к пропускной способности превышает остаточную пропускную способность линии связи либо линия связи стала недоступной. В этом случае НСС  $S$  регистрирует в своей ТМ причину отказа и инициирует повторный поиск маршрута.

При успешном прохождении всего маршрута в его узлах резервируются требуемые пропускные способности линий связи, и НСС  $D$  возвращает НСС  $S$  подтверждение верификации маршрута. При выполнении сигнального протокола также оценивается остаточная пропускная способность линий связи маршрута. Если у каких-то линий связи она становится меньше критической, НСС  $D$  инициирует широковещательную передачу по сети сообщений с перечислением этих линий связи.

**Перемещение соединений.** Необходимость в перемещении установленных соединений  $I-S-D-R$  возникает по мере приближения времени окончания существования абонентской линии связи  $I-S$  или  $D-R$ . Эти временные параметры содержатся в БД „С“ и „Е“ каждого НСС.

На основании этого НСС  $S$  может проактивно определять моменты времени, когда необходимо инициировать процессы перемещения установленных соединений. Этот момент времени может определяться как  $(t - dt)$ , где  $t$  — время окончания существования абонентской линии связи,  $dt$  — интервал времени, достаточный для процедуры перемещения соединения. Перемещение сводится к выполнению описанных выше сценариев установления соединений, но с учетом ряда уточнений в зависимости от ситуации. В случае окончания существования абонентской линии связи  $D-R$  эти уточнения включают:

- вызов абоненту  $R$  посылает НСС  $S$ ;
- поиск и верификация нового маршрута  $S-D^*$  выполняются с учетом последующего снижения загрузки линий связи маршрута  $S-D$  по окончании его существования;
- после установления соединения  $S-D^*-R$  сигнал о готовности абонент  $R$  посылает НСС  $S$ ;
- при получении сигнала о готовности НСС  $S$  прекращает передачу данных от абонента  $I$  по старому маршруту и продолжает передачу по новому.

НСС  $S$  является координатором процессов установления и перемещения соединений, по окончании времени существования абонентской линии связи  $I-S$  НСС  $S$  передает роль координатора последующих процессов переключения соединения НСС  $S^*$ . В связи с этим при окончании существования линии связи  $I-S$  рассматриваются следующие дополнительные уточнения сценариев:

- НСС  $S$  определяет НСС  $S^*$ , посылает ему описание маршрута текущего соединения  $I-S-D-R$  и запрос на перемещение соединения;
- НСС  $S^*$  устанавливает линию связи с абонентом  $I$  и инициирует установление соединения  $S^*-D-R$ ;
- абонент  $R$  посылает НСС  $S^*$  сигнал о готовности соединения;
- НСС  $S^*$  посылает абоненту  $I$  сигнал на перемещение передачи пакетов данных с линии связи  $I-S$  на установленную линию связи  $I-S^*$ , а НСС  $S$  — сообщение об окончании перемещения соединения.

**Заключение.** Создание многоспутниковых низкоорбитальных систем связи в настоящее время является областью активных исследований и разработок. Эта задача, в частности, рассматривается одной из основных составляющих глобальной цифровой космической инфраструктуры для мониторинга, контроля и управления объектами, системами и ресурсами в проекте „Сфера“ [17]. Организация связи с наземными абонентами с помощью таких систем используется на практике [8], но при этом также остается областью активных исследований [9—11]. Научной новизной в настоящей статье является описание возможного подхода к использованию таких систем для организации связи как с наземными абонентами, так и с космическими аппаратами, в частности, с КА ДЗЗ.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Corson S., Macker J. Сети MANET — проблемы протоколов маршрутизации и вопросы развития. 1999 [Электронный ресурс]: <<https://www.protocols.ru/WP/wp-content/uploads/2016/11/rfc2501.pdf>>.
2. Jacquet P., Clausen T. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). 2003. 75 p [Электронный ресурс]: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>>.
3. Percins C., Belding-Royer E. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. 2003. 35 p. [Электронный ресурс]: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>>.
4. Perkins C., Bhagwat P. DSDV Routing over a Multihop Wireless Network of Mobile Computers // Ad Hoc Networking. 2001. P. 53—74.

5. Radhakrishnan R., Edmonson W., Afghahb F., Rodriguez-Osorioc R., Pinto F., Burleigh S. Survey of Inter-Satellite Communication for Small Satellite Systems: Physical Layer to Network Layer View // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. Vol. 18, N 4. P. 2442—2473. DOI: 10.1109/COMST.2016.2564990.
6. UL Hassan N., Huang C., Yuen C., Ahmad A., Zhang Y. Dense Small Satellite Networks for Modern Terrestrial Communication Systems: Benefits, Infrastructure, and Technologies // IEEE Wireless Communications. 2020. P. 1—8. DOI: 10.1109/MWC.001.1900394.
7. Михайлов П. Л. Помехозащищенность транспортных сетей связи специального назначения. Череповец: ЧВВИУРЭ, 2016. 128 с.
8. Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи Iridium // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 1—34.
9. Пат. RU2714220C1. Способ маршрутизации в сетях подвижной персональной спутниковой связи на низкоорбитальных спутниках-ретрансляторах с зональной регистрацией абонентов и маршрутизатор низкоорбитального спутника ретранслятора с интегрированными службами для осуществления указанного способа / И. Н. Пантелеймонов. Заявл. 19.08.2019, опубл. 13.02.2020.
10. Пат. RU2658879C1. Способ зональной регистрации абонентского терминала сети персональной спутниковой связи / И. Н. Пантелеймонов. Заявл. 12.09.2017, опубл. 25.06. 2018.
11. Пат. RU2679962C1. Способ назначения IP-адресов в сети персональной спутниковой связи на низкоорбитальных спутниках ретрансляторах с зональной регистрацией абонентских терминалов / И. Н. Пантелеймонов. Заявл. 20.02.2018, опубл. 14.02.2019.
12. Caini C. Delay-tolerant networks (DTNs) for satellite communications // Advances in Delay-Tolerant Networks (DTNs). Oxford: Woodhead Publishing, 2015. P. 25—47. DOI: 10.1533/9780857098467.1.25.
13. Bezirgiannidis N., Caini C., Tsaoussidis V. Analysis of contact graph routing enhancements for DTN space communications // Intern. J. of Satellite Communications and Networking. 2016. Vol. 34, N 5. P. 695—709. DOI: 10.1002/sat.1138.
14. Карсаев О. В. Модификация CGR-алгоритма маршрутизации данных в коммуникационной сети группировки спутников // Мехатроника, автоматизация, управление. 2020. Т. 21, № 2. С. 75—85. DOI: 10.17587/mau.21.75-85.
15. Fraire J. A., De Jonckere O., Burleigh S. C. Routing in the Space Internet: A contact graph routing tutorial // J. of Network and Computer Applications. 2021. Vol 174. P. 102884. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102884>.
16. Макаренко С. И. Усовершенствование функций маршрутизации и сигнализации протокола PNNI с целью повышения устойчивости сети связи // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6, № 2. С. 45—59. [Электронный ресурс]: <URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сфера\\_\(ФЦП\\_развития\\_космических\\_информационных\\_технологий\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сфера_(ФЦП_развития_космических_информационных_технологий))>.

#### Сведения об авторе

**Олег Владиславович Карсаев** — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, СПб ФИЦ РАН;  
E-mail: [karsaev@ips-logistic.com](mailto:karsaev@ips-logistic.com)

Поступила в редакцию  
20.05.2021 г.

**Ссылка для цитирования:** Карсаев О. В. Концептуальная модель маршрутизации данных в многоспутниковой низкоорбитальной системе связи // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 10. С. 852—858.

### CONCEPTUAL MODEL OF DATA ROUTING IN A MULTI-SATELLITE LOW-ORBIT COMMUNICATION SYSTEM

O. V. Karsaev

St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, 199178, St. Petersburg, Russia  
E-mail: [karsaev@ips-logistic.com](mailto:karsaev@ips-logistic.com)

The features of data routing in a multi-satellite low-orbit system providing communication of ground subscribers with each other and with spacecraft are investigated. The issues of constructing an orbital constellation, in which communication satellites form a network segment with a static topology, are considered. In this case, routing, in fact, boils down to solving two problems: the search for communication satel-

lites that are in the zone of radio visibility of communication session respondents, and the search for data transmission routes in inter-satellite communication lines. To solve the first problem, an approach based on simulation of the structure of the orbital group is proposed. To solve the second problem, a method is developed that provides a search for routes with the account for current load of communication lines and balancing traffic in general. The lifetime of communication lines between the communication satellites and the respondents of communication sessions is limited by the time spent by the satellites in the radio visibility zones. In this regard, in addition to establishing initial connections, the task of moving the established connections is also considered.

**Keywords:** multi-satellite low-orbit communication system, subscriber communication line, data routing

#### REFERENCES

1. <https://www.protocols.ru/WP/wp-content/uploads/2016/11/rfc2501.pdf>.
2. Jacquet P., Clausen T. *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*, 2003, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>.
3. Percins C., Belding-Royer E. *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*, 2003, 35 p., <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>.
4. Perkins C., Bhagwat P. *Ad Hoc Networking*, 2001, pp. 53–74.
5. Radhakrishnan R., Edmonson W., Afghah F., Rodriguez-Osorio R., Pinto F., Burleigh S. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2016, no. 4(18), pp. 2442–2473, DOI: 10.1109/COMST.2016.2564990.
6. UL Hassan N., Huang C., Yuen C., Ahmad A., Zhang Y. *IEEE Wireless Communications*, 2020, pp. 1–8, DOI: 10.1109/MWC.001.1900394.
7. Mikhailov R.L. *Pomekhozashchishchennost' transportnykh setey svyazi spetsial'nogo naznacheniya* (Interference Protection of Special-Purpose Transport Communication Networks), Cherepovets, 2016, 128 p. (in Russ.)
8. Makarenko S.I. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, 2018, no. 4, pp. 1–34. (in Russ.)
9. Patent RU2714220C1, *Sposob marshrutizatsii v setyakh podvizhnoy personal'noy sputnikovoy svyazi na nizkoorbital'nykh sputnikakh-retranslyatorakh s zonal'noy registratsiyey abonentov i marshrutizator nizkoorbital'nogo sputnika retranslyatora s integrirovannymi sluzhбами dlya osushchestvleniya ukazannogo sposoba* (Method of Routing in Mobile Personal Satellite Communication Networks on Low-Orbiting Satellite Retransmitters with Zonal Registration of Subscribers and A Router of a Low-Orbiting Relay Satellite with Integrated Services for Realizing Said Method), I.N. Pantelejmonov, Priority 2019.08.19, Published 2020.02.13. (in Russ.)
10. Patent RU2658879C1, *Sposob zonal'noy registratsii abonentskogo terminala seti personal'noy sputnikovoy svyazi* (Method of Zonal Registration of Subscriber Terminal of Personal Satellite Communication Network), I.N. Pantelejmonov, Priority 2017.09.12, Published 2018.06.25. (in Russ.)
11. Patent RU2679962C1, *Sposob naznacheniya IP-adresov v seti personal'noy sputnikovoy svyazi na nizkoorbital'nykh sputnikakh retranslyatorakh s zonal'noy registratsiyey abonentskikh terminalov* (Method of Assigning IP Addresses in a Personal Satellite Communication Network on Low-Orbit Satellites Repeaters with Zone Registration of Subscriber Terminals), I.N. Pantelejmonov, Priority 2018.02.20, Published 2019.02.14. (in Russ.)
12. Caini C. *Advances in Delay-Tolerant Networks (DTNs)*, Oxford, Woodhead Publishing, 2015, pp. 25–47, DOI: 10.1533/9780857098467.1.25.
13. Bezirgiannidis N., Caini C., Tsaoussidis V. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 2016, no. 5(34), pp. 695–709, DOI: 10.1002/sat.1138.
14. Karsaev O.V. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2020, no. 2(21), pp. 75–85, DOI: 10.17587/mau.21.75-85. (in Russ.)
15. Fraire J.A., De Jonckere O., Burleigh S.C. *Journal of Network and Computer Applications*, 2021, vol. 174, pp. 102884. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102884>.
16. Makarenko S. *Proceedings of Telecommunication Universities*, 2020, no. 2(6), pp. 45–59. (in Russ.) [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сфера\\_\(ФЦП\\_развития\\_космических\\_информационных\\_технологий\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сфера_(ФЦП_развития_космических_информационных_технологий)). (in Russ.)

#### Data on author

**Oleg V. Karsaev**

— PhD, Senior Scientist, St. Petersburg Federal Research Center of the RAS; E-mail: [karsaev@ips-logistic.com](mailto:karsaev@ips-logistic.com)

**For citation:** Karsaev O. V. Conceptual model of data routing in a multi-satellite low-orbit communication system. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 10. P. 852–858 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-10-852-858