УДК 621.396.94, 004.72 doi: 10.18698/0536-1044-2019-12-61-76

Модель перспективной системы связи для передачи информации космического мониторинга на наземный комплекс приема и обработки информации

И.Н. Пантелеймонов[1], В.В. Филатов[2], В.С. Алешин[3], А.В. Пантелеймонова[4], В.И. Корниенко[5]

[1] АО «Российские космические системы»
[2] АО «НПК СПП»
[3] ФГОБУ ВПО «Московский технический университет связи и информатики»
[4] ГОУ ВО Московской области «Московский государственный областной университет»
[5] Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»

A Model of an Advanced Communication System for Transmitting Space Monitoring Information to the Ground Control Complex for Reception and Processing of Information

I.N. Panteleymonov[1], V.V. Filatov[2], V.S. Aleshin[3], A.V. Panteleymonova[4], V.I. Kornienko[5]

[1] AO Russian Space Systems
[2] AO NPK SPP
[3] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education — Moscow Technical University of Communication and Informatics
[4] State Educational Institution of Higher Education of Moscow region — Moscow State Regional University
[5] State Space Corporation Roscosmos

Технология передачи данных с космических аппаратов дистанционного зондирования земли на наземные пункты приема информации характеризуется такими негативными особенностями, как невозможность оперативного приема данных и необходимость хранения больших массивов информации на борту. Технология ретрансляции информации космического аппарата дистанционного зондирования земли через геостационарные спутники-ретрансляторы «Луч» на наземные пункты приема информации имеет следующие недостатки: невозможность оперативного приема информации, когда космический аппарат находится в центральной части западного полушария; необходимость заблаговременного планирования сеансов ретрансляции информации. Рассмотрены перспективные концепции организации связи и алгоритмы установления соединения космического аппарата с пунктом приема-передачи информации через геостационарный спутник-ретранслятор, основанные на таких современных технологиях, как наличие межспутниковых линий связи между геостационарными спутниками-ретрансляторами, превращающее такой сегмент сети связи в спутниковую транспортную цифровую сеть передачи данных; применение сетевых технологий маршрутизации потоков информации, позволяющее передавать данные в автоматическом режиме; использование автоматических технологий установления соединения космического аппарата дистанционного зондирования земли с геостацио-

нарными спутниками-ретрансляторами, что по аналогии с сетью подвижной связи превращает такой аппарат в абонента спутниковой транспортной цифровой сети передачи данных на геостационарные спутники-ретрансляторы.

Ключевые слова: космический аппарат, геостационарный спутник-ретранслятор, пункт приема-передачи информации, оперативная регистрация, маршрутизация, установление соединения

The technology of data transmission from spacecraft of remote sensing of the Earth to reception points on the ground has certain disadvantages such as the inability to quickly receive remote sens-ing data and the need to store large amounts of information on board. The technology of data re-transmission from remote sensing satellites through geostationary satellites retransmitters Luch to the reception points on the ground has the following disadvantages: the inability to quickly receive data when the remote sensing spacecraft is in the central part of the Western Hemisphere and the need for early planning of retransmission sessions. The article presents advanced concepts of com-munication organization and algorithms for establishing connections between the spacecraft and the point of data reception and transmission via a geostationary satellite repeater. The concepts are based on the following modern technologies: the availability of inter-satellite communication lines between geostationary satellites retransmitters that transforms this segment of communication net-work into a transport digital network for data transmission; the application of network technology for data flow routing that enables data transmission in an automatic mode; the application of auto-matic technology for establishing connections between remote sensing satellites and geostationary satellites retransmitters that transforms the ground reception point into a subscriber of the transport digital network by analogy with mobile network.

Keywords: spacecraft, geostationary satellite-repeater, point of reception and transmission of information, registration, routing, establishment of connection

В космических системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) большое значение имеет оперативность получения информации космического мониторинга. Идеальная в этом смысле система связи должна обеспечивать на всей траектории полета космических аппаратов (КА) ДЗЗ непрерывную передачу данных мониторинга в наземный центр обработки.

Однако существующая схема организации связи позволяет принимать информацию с КА ДЗЗ лишь эпизодически, когда КА находится в зоне радиовидимости наземного пункта приема/передачи информации (ППИ).

Обычно, время нахождения низкоорбитальных КА в зоне радиовидимости одного ППИ не превышает 15 мин [1]. Увеличение времени непрерывной связи между КА ДЗЗ и ППИ путем наращивания количества ППИ является очевидным, но не лучшим способом решения проблемы как с экономической, так и с организационно-технической точки зрения. В частности, такой способ потребовал бы разместить ППИ не только на своей территории, но и на территории зарубежных государств и/или в акватории морей и океанов (ППИ морского базирования).

Более перспективным способом решения проблемы представляется использование геостационарных спутников-ретрансляторов (ГСР) для организации двухъярусной связи (ППИ — ГСР — КА) [2–4]. Тем более что в нашей стране накоплен достаточный положительный опыт применения ГСР для обеспечения обмена информацией с КА: в разное время для этих целей использовались ГСР «Альтаир» и «Луч».

Общими недостатками применяемых в настоящее время схем организации связи ППИ — ГСР — КА являются необходимость размещения ППИ в зоне радиопокрытия (ЗРП) каждого ГСР и наличие проводных или спутниковых каналов связи с каждым ППИ [4].

Чтобы устранить эти недостатки, предлагается оснащать перспективные спутники-ретрансляторы дополнительными аппаратно-программными средствами для создания межспутниковых каналов связи ГСР — ГСР, что даст возможность строить схемы организации связи с одним ППИ и несколькими ГСР. Кроме сокращения количества ППИ, необходимого для обеспечения непрерывной связи на всей траектории полета КА ДЗЗ, такие схемы позво-

лят повысить гибкость и надежность доставки информации.

Вместе с тем такое решение приводит к появлению многовариантности построения схем организации связи, различающихся составом, структурой и количеством задействованных ресурсов. Иными словами, возникает типичная оптимизационная задача: выбрать наилучший вариант схемы организации связи при заданных ограничениях и минимальных затратах задействованных ресурсов.

Цель работы — разработка и обоснование модели системы связи, адекватно описывающей параметры и взаимодействие ее элементов в процессе функционирования.

Двухъярусная схема организации связи с КА ДЗЗ. Рассмотрим вариант схемы организации связи при использовании трех ГСР, что соответствует их минимальному количеству, обеспечивающему полное радиопокрытие земной поверхности вдоль экватора. Орбитальный сегмент схемы организации связи с КА через ГСР, представляющий собой вид на плоскость экватора со стороны северного полюса [4, 5], показан на рис. 1, где НСР — низкоорбитальные спутники-ретрансляторы; ШС и ЗС — шлюзовые и земные станции.

Окружность большого диаметра изображает геостационарную орбиту, а окружности среднего и меньшего диаметров — среднюю и низкую орбиту соответственно. Стрелками обозначены линии связи (ЛС), необходимые для обеспечения управления полетом КА. ЛС между КА ГЛОНАСС, находящимися на средней орбите, и КА ДЗЗ необходимы для передачи координат КА ГЛОНАСС для КА ДЗЗ.

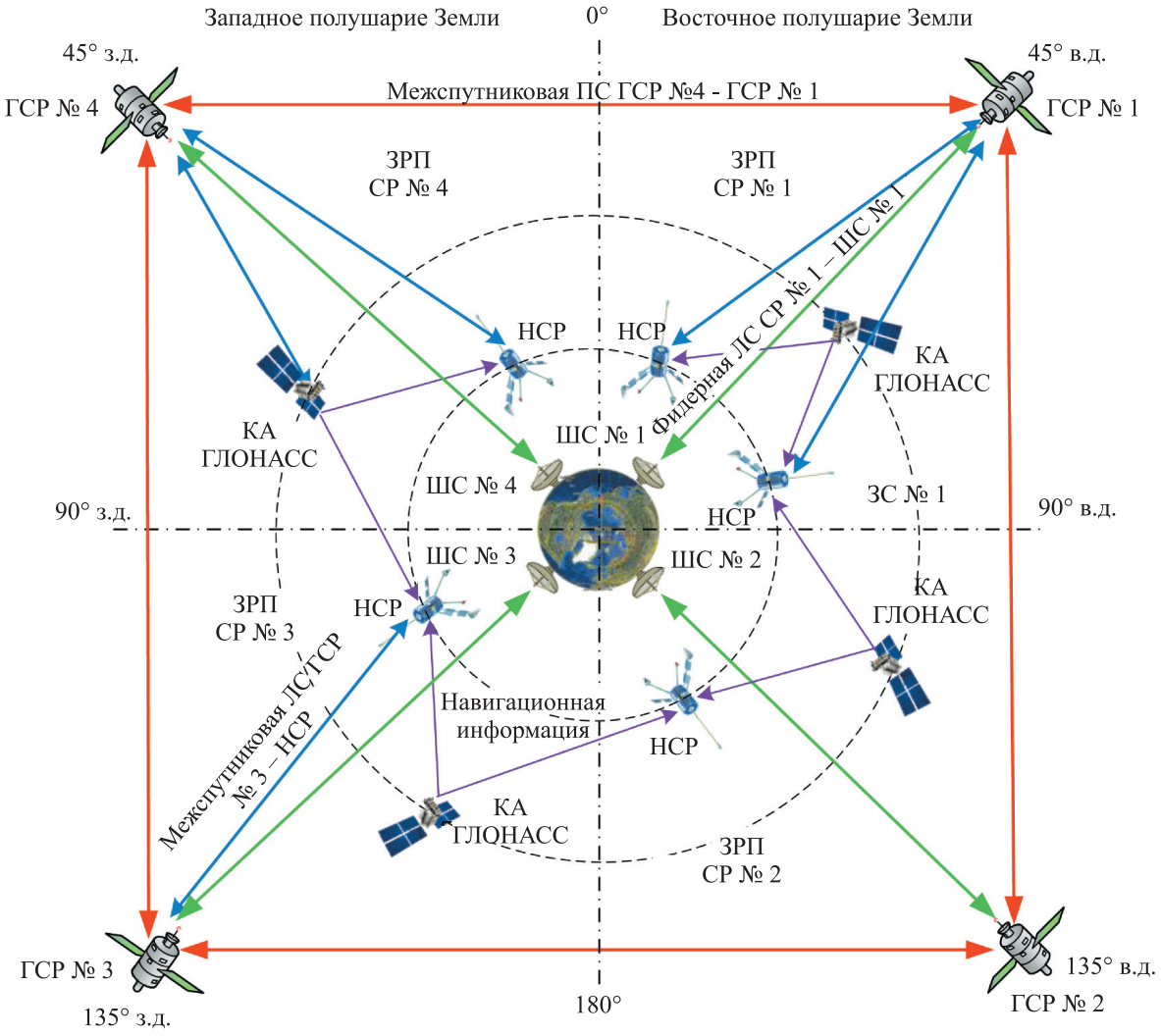


Рис. 1. Орбитальный сегмент схемы организации связи с КА через четыре ГСР

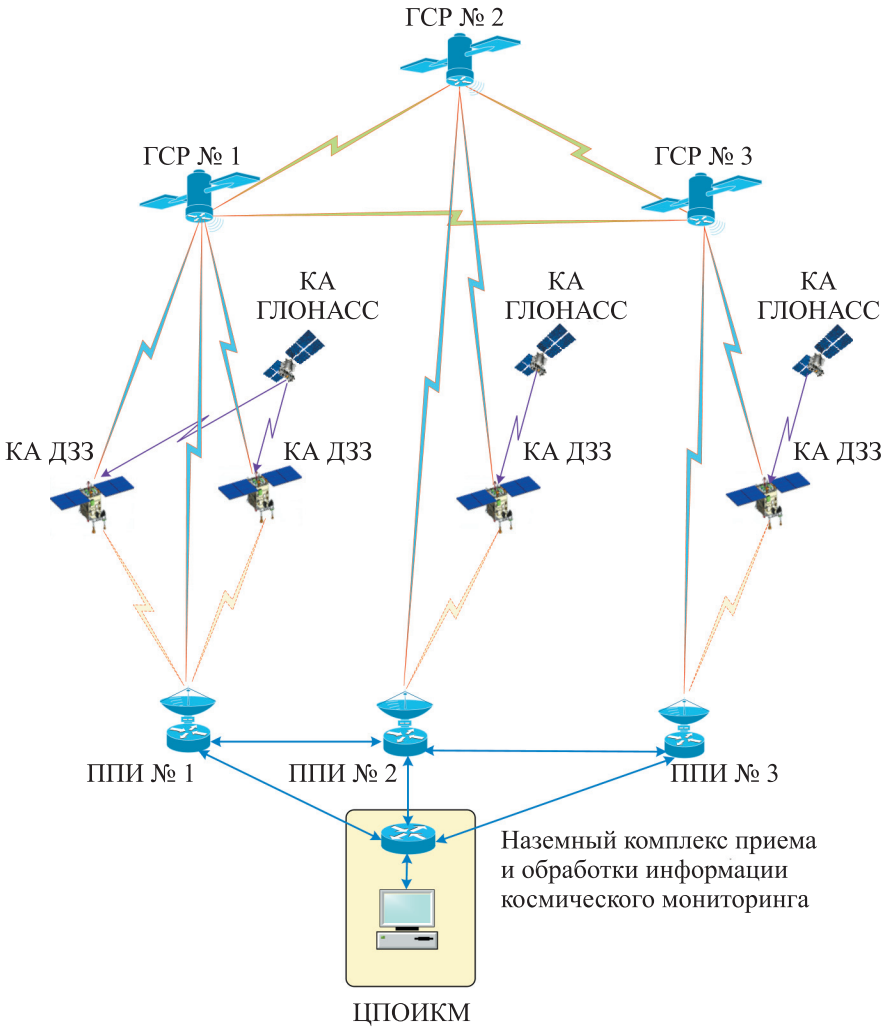


Рис. 2. Обобщенная схема организации связи с КА через три ГСР

Для связи с КА и ППИ на ГСР наиболее целесообразно применять многолучевые антенны, а для связи с соседними ГСР — остронаправленные. Перспективным направлением развития межспутниковой связи является использование диапазонов K, Ka, V [6–8], а в дальнейшем — оптического диапазона электромагнитных волн [7–9].

По ЛС от КА ГЛОНАСС на КА ДЗЗ передается навигационная информация, необходимая для расчета баллистических параметров движения КА ДЗЗ. Предполагается, что в двухъярусной схеме связи канал ППИ — ГСР — КА является основным, а канал связи ППИ — КА — резервным. Обобщенная схема организации связи с КА через три ГСР приведена на рис. 2 [5], где штриховой линией обозначены резервные ЛС.

Для анализа и оптимизации схемы организации связи центра приема и обработки информации космического мониторинга (ЦПОИКМ) с КА изобразим топологическую модель этой схемы в виде графа [5]. Схема организации связи ЦПОИКМ с КА через ППИ и ГСР в виде графа показана на рис. 3.

Как видно из рис. 3, что при наличии межспутниковых связей в канале связи ГСР — ГСР граф становится полносвязанным. Характеристика полносвязанности свидетельствует о том, что от исходной вершины М до конечной вершины А1–А10 существует несколько маршрутов. Это повышает гибкость и отказоустойчивость системы связи и позволяет принимать информацию мониторинга с КА ДЗЗ, находящегося в любой точке орбитальной плоскости и в режиме реального времени.

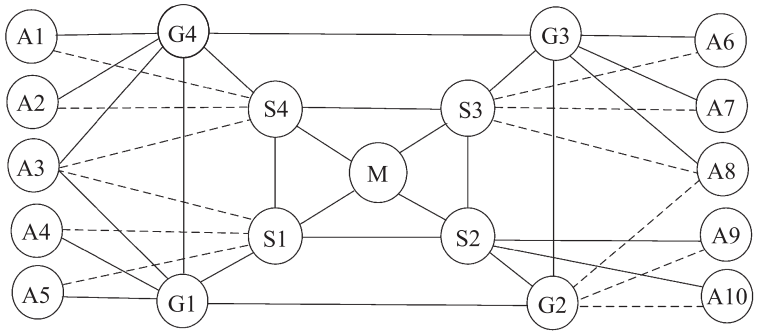
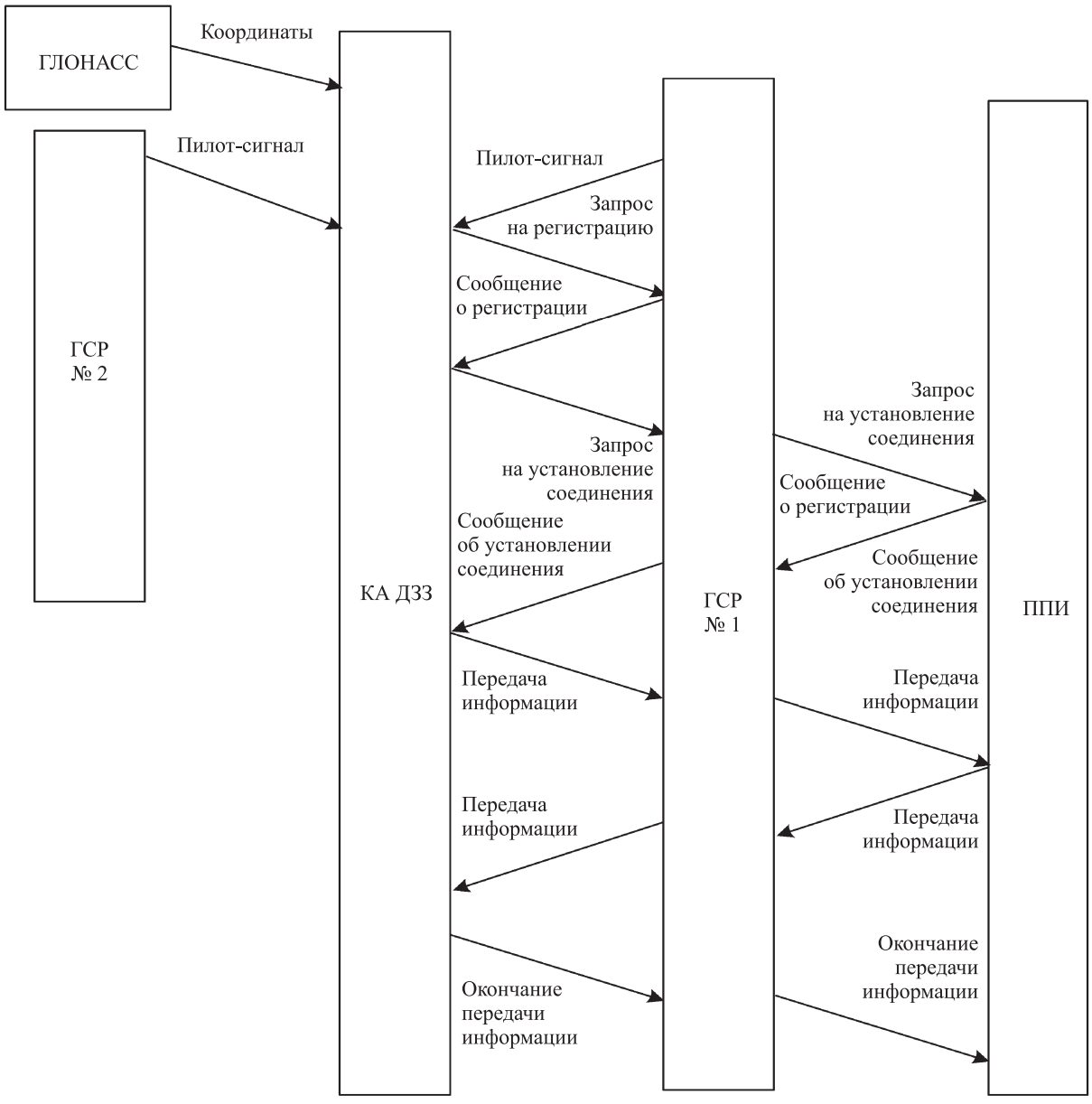
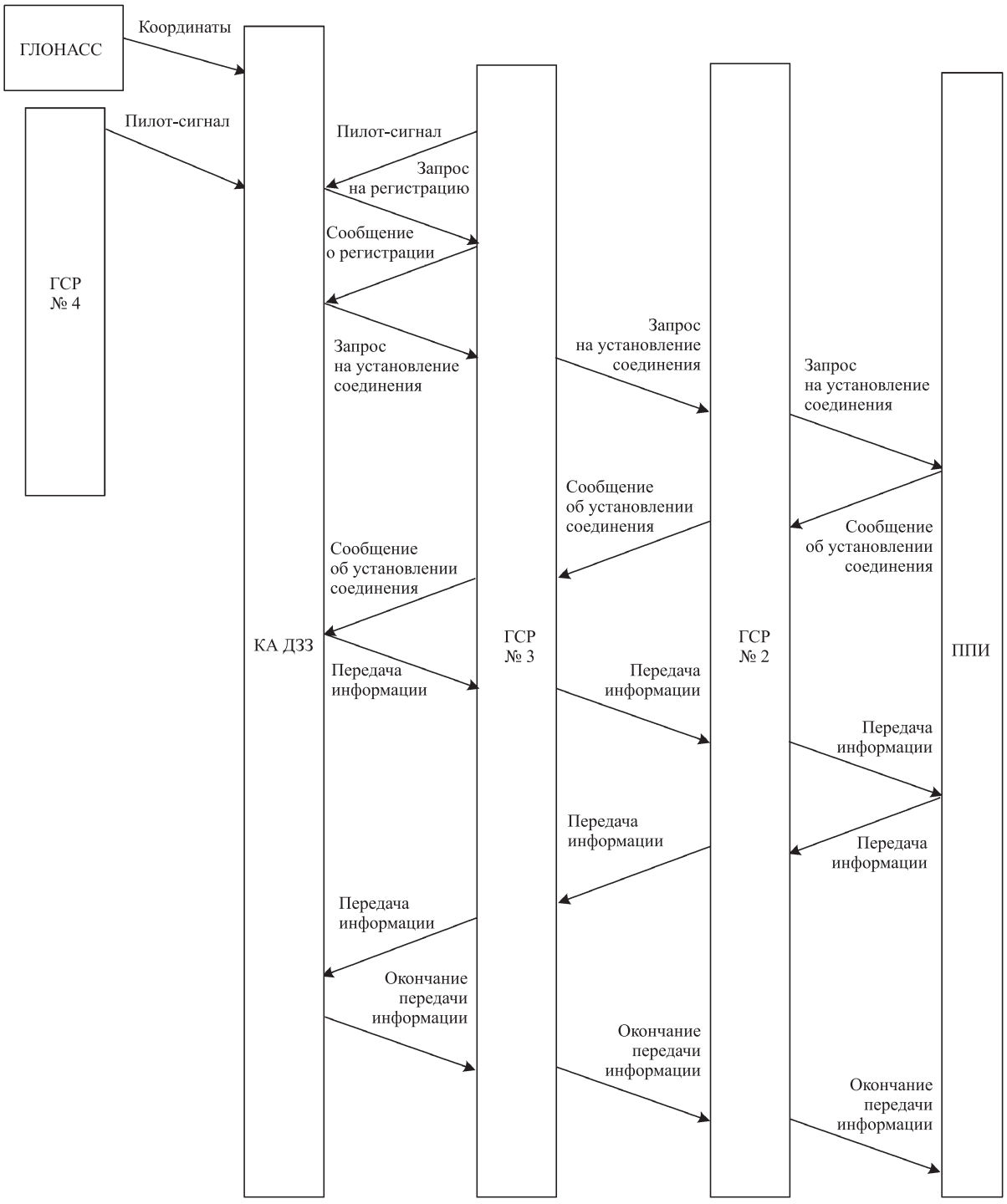


Рис. 3. Схема организации связи ЦУП с КА через ППИ и ГСР в виде графа:
A1–A10 — КА; G1–G4 — ГСР; S1–S4 — ППИ; M — ЦПОИКМ



а

Рис. 4 (начало). Алгоритмы регистрации КА в ГСР и установления соединения с ППИ через один (*а*) и два ГСР (*б*) с применением радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи



б

Рис. 4 (окончание). Алгоритмы регистрации КА в ГСР и установления соединения с ППИ через один (*а*) и два ГСР (*б*) с применением радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи

Физическая и логическая топологии связи ГСР — КА в радиочастотном диапазоне — звезда, так как в ЗРП одной антенной системы (АС) ГСР может находиться несколько КА. При этом нет необходимости отслеживания АС ГСР каждый КА. В таком режиме работы скорость передачи будет значительно ниже, чем в режиме работы с применением остронаправленных следящих АС. Но так как планируется передача в режиме реального времени, требования к скорости передачи уменьшаются по сравнению с таковыми для режима запоминания инфор-

мации и сброса ее на ППИ во время нахождения КА в зоне его радиовидимости.

После описания предложенной схемы организации связи рассмотрим принципы передачи информации с КА ДЗЗ на ППИ через ГСР.

Алгоритмы маршрутизации информации в межспутниковых каналах связи с применением радиочастотного диапазона для обеспечения обмена информацией между КА и ППИ. Алгоритм маршрутизации информации от ППИ к КА через ГСР организации связи основан на использовании таких современных технологий [4], как стек протоколов TCP/IP, динамическая регистрация КА в ГСР и динамическая маршрутизация потоков информации в межспутниковых каналах связи.

Применение современных сетевых технологий установления связи в межспутниковых каналах связи обеспечит возможность передачи информации мониторинга от КА ДЗЗ без выдачи разовых или программных команд с центра управления полетом (ЦУП), что приведет к повышению автономности существования системы в целом.

Принцип организации связи для получения информации от КА ДЗЗ с помощью ГСР заключается в следующем. КА регистрируется к ближайшему ГСР и осуществляет передачу информации в земную станцию через один или не-

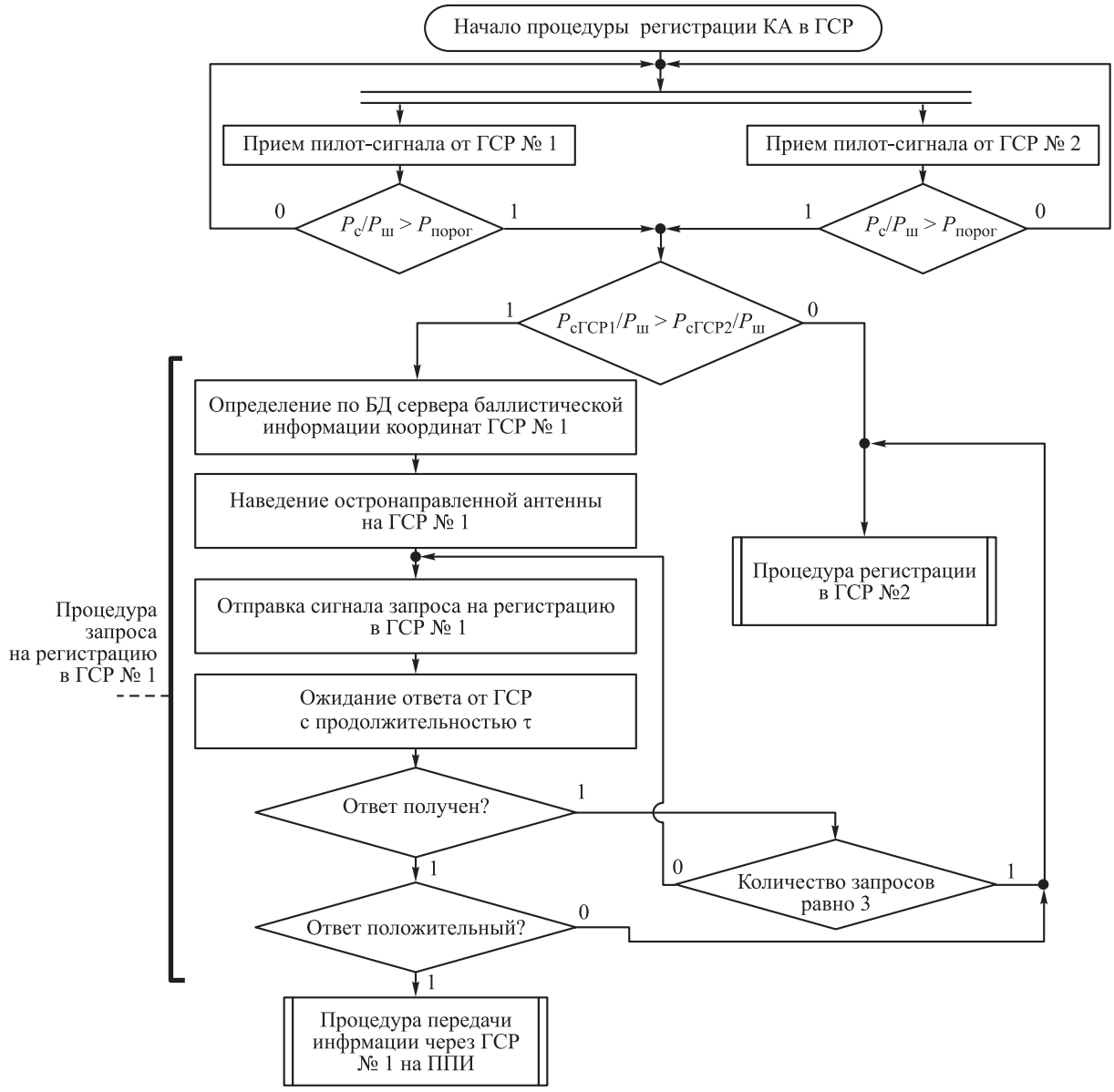


Рис. 5. Алгоритм работы бортовой аппаратуры КА при выполнении регистрации в ГСР с использованием радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи

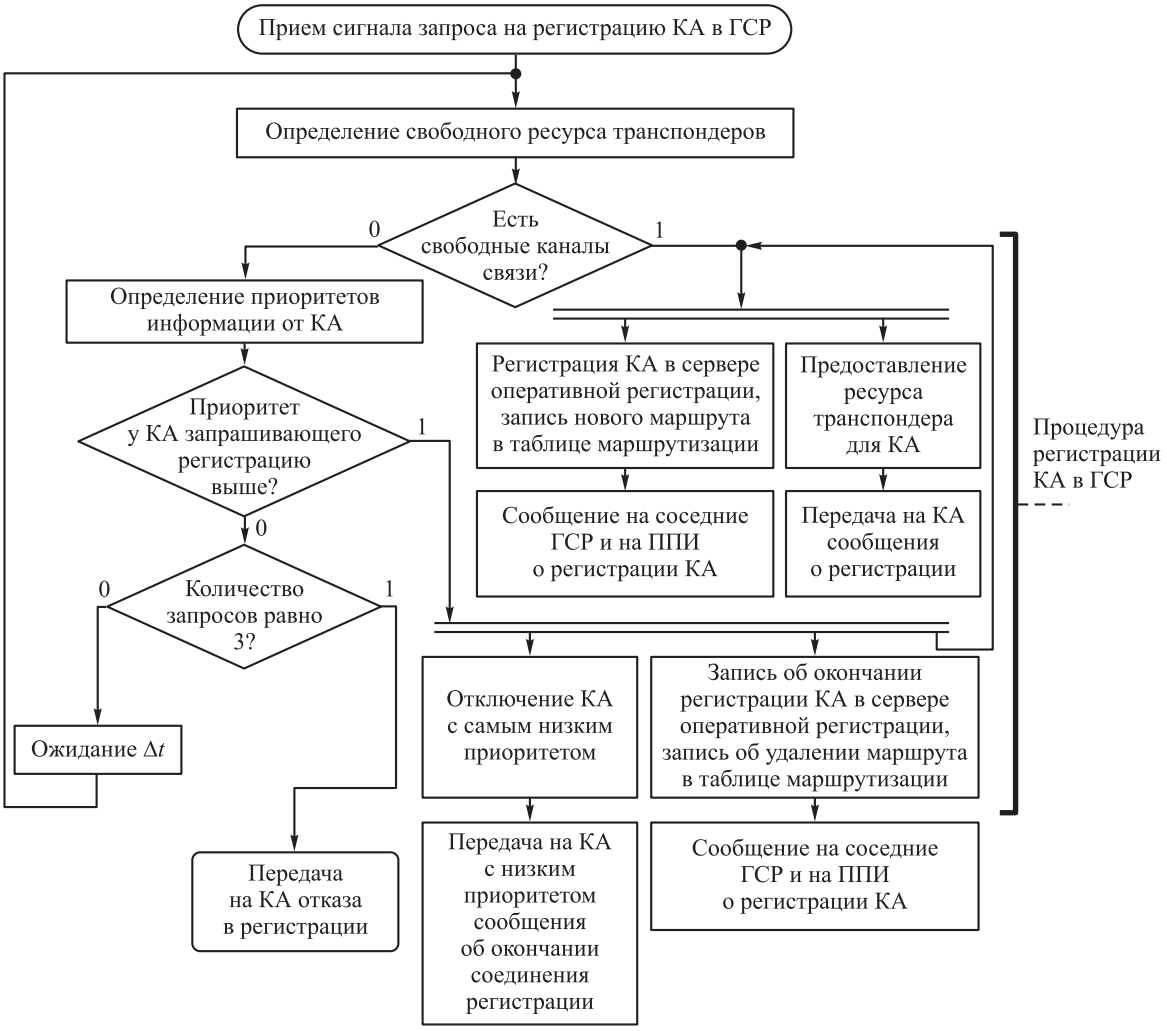


Рис. 6. Алгоритм работы бортовой аппаратуры ГСР при выполнении регистрации КА с использованием радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи

сколько ГСР, объединенных в единую сеть межспутниковыми каналами связи. ГСР ведет постоянный учет зарегистрированных КА в своем сервере оперативной регистрации (IP-адрес, категория и номер КА). КА также записывает информацию об установлении соединения с ГСР в собственном сервере оперативной регистрации [4, 10, 11].

Чтобы КА мог использовать ГСР в качестве ретранслятора, необходимо зарегистрироваться в сервере оперативной регистрации ГСР. Регистрация КА в ГСР осуществляется следующим образом. КА на малонаправленную антенну принимает сигналы с ГСР и по максимальному отношению сигнал/шум (ОСШ) принимаемого пилот-сигнала определяет ближайший ГСР, его антенну и луч для регистрации. В сервере баллистической информации КА хранится периодически рассчитываемый в ЦУП прогноз зон радиовидимости ГСР и координаты орбиты КА.

Для корректировки прогноза баллистической информации КА принимает сигналы ГЛОНАСС и определяет свое местоположение. На основании баллистической информации блок наведения АС КА рассчитывает угловые параметры наведения остронаправленной антенны КА на ГСР. Затем КА отправляет сигнал запроса о регистрации ближайшему ГСР.

ГСР принимает сигнал запроса о регистрации КА, регистрирует КА, записывает информацию о регистрации КА в оперативное запоминающее устройство сервера оперативной регистрации в таблицу маршрутизации маршрутизатора. После регистрации КА маршрутизатор ГСР по алгоритму маршрутизации протокола Routing Information Protocol (RIP) [12, 13] сообщает об изменениях в таблице маршрутизации всем соседним

ГСР и ППИ, находящимся в зоне радиовидимости этого ГСР.

Все ГСР постоянно обмениваются изменениями в таблице маршрутизации, а также сообщают эти изменения на ППИ, расположенные в зоне радиовидимости этих ГСР.

Перед передачей информации космического мониторинга с КА на ППИ или с ППИ на КА осуществляется процедура установления соединения. ППИ может создавать соединение с КА непосредственно (первый ярус) и через один или два ГСР (второй ярус). Режим работы ППИ с КА через ГСР является основным. КА инициирует установление соединения с ППИ только через ГСР (второй ярус).

Для установления соединения КА передает сигнал вызова на зарегистрировавший его ГСР, маршрутизатор которого строит маршрут к ППИ. Если вызываемый ППИ находится в ЗРП этого ГСР, то ГСР ретранслирует сигнал вызова на этот ППИ. Если вызываемый ППИ расположен в ЗРП другого ГСР, то маршрутизатор ГСР, принимающего сигнал вызова, прокладывает маршрут по протоколу RIP к ГСР, в ЗРП которого находиться ППИ, и который впоследствии будет ретранслировать сигнал вызова на ППИ.

Получив сигнал вызова, ППИ формирует и отправляет на КА сигнал готовности к приему информации. КА после получения сигнала готовности к приему информации приступает к передаче информации по проложенному маршруту. Алгоритмы регистрации КА в ГСР и установления соединения с ППИ через один и два ГСР с применением радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи приведены на рис. 4, *а* и *б* соответственно [4].

Для окончания сеанса связи КА, инициировавший соединение, формирует и передает сигнал его окончания, после чего соединение прерывается, и КА и ППИ переходят в дежурный режим приема информации.

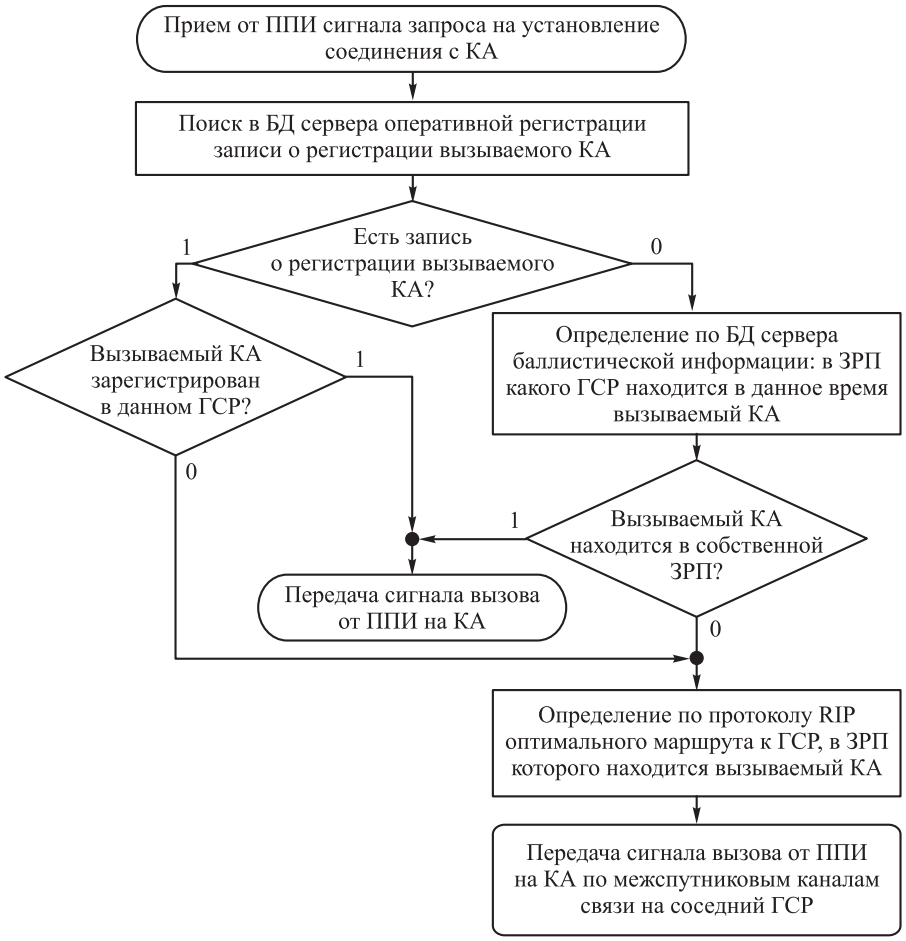


Рис. 7. Алгоритм работы бортовой аппаратуры ГСР при осуществлении вызова КА с ППИ при применении радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи

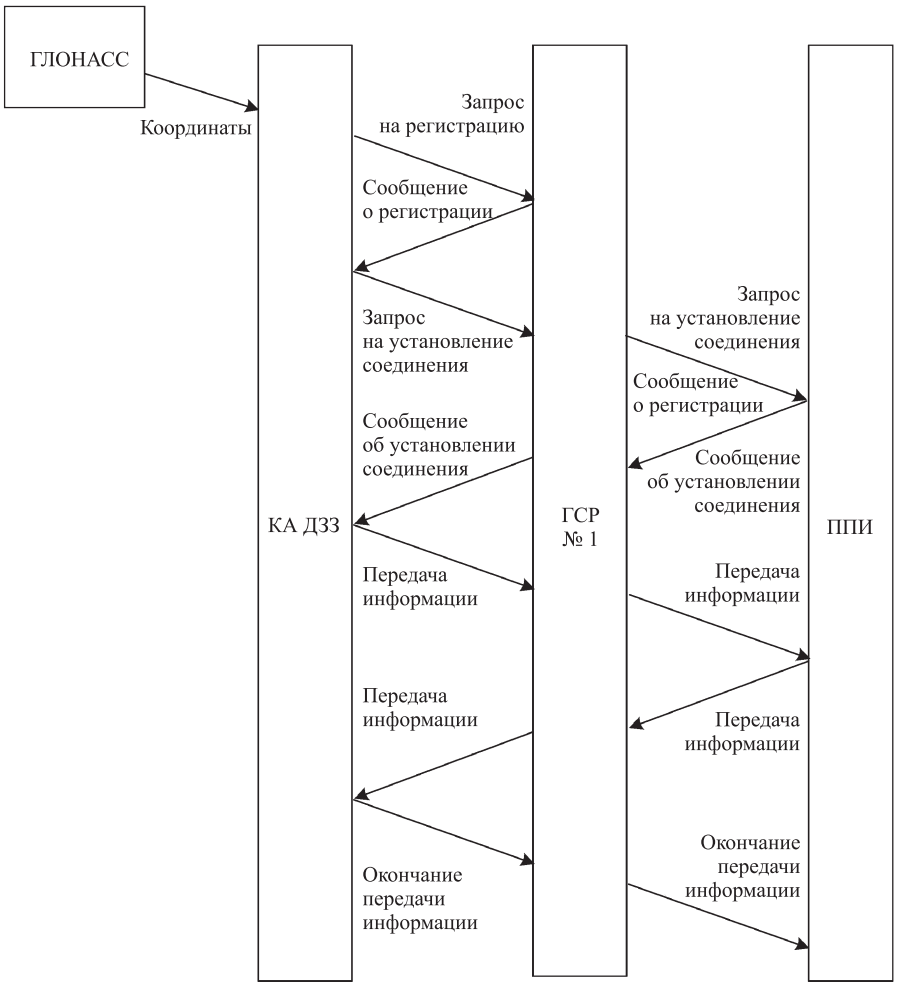
Алгоритм работы бортовой аппаратуры КА при выполнении регистрации в ГСР с использованием радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи показан на рис. 5, где БД — база данных; $P_с$ и $P_ш$ — мощность сигнала и шума пилот-сигнала; $P_{порог}$ — пороговое значение мощности; $P_{сГСР1}$ и $P_{сГСР2}$ —мощность сигнала ГСР № 1 и ГСР № 2.

Эстафетная передача КА внутри одного ГСР (внутренний хэндовер) осуществляется следующим образом. КА постоянно сопоставляет текущее ОСШ пилот-сигнала со значением ОСШ других лучей и антенн. Если это значение превышает текущее ОСШ, то КА перерегистрируется на луч антенны ГСР, от которого принимает пилот-сигнал с максимальным ОСШ. Аналогично осуществляется эстафетная передача между ГСР.

Алгоритм работы бортовой аппаратуры ГСР при осуществлении регистрации КА с использованием радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи показан на рис. 6.

Если инициатором сеанса связи выступает ППИ, то сигнал вызова передается с ППИ на ГСР, в ЗРП которого расположен вызывающий ППИ. Маршрутизатор ГСР, принявшего сигнал вызова, строит маршрут к КА. Когда вызываемый КА находится в ЗРП этого ГСР, последний ретранслирует сигнал вызова на этот КА. Если вызываемый КА переходит в ЗРП другого ГСР, то маршрутизатор ГСР, принимающего сигнал вызова, прокладывает маршрут по протоколу RIP к ГСР, в ЗРП которого появился КА, и который впоследствии будет ретранслировать сигнал вызова на КА.

Получив сигнал вызова, КА формирует и отправляет на ППИ сигнал готовности к приему информации. ППИ после получения этого сигнала приступает к передаче информации по проложенному маршруту.



а

Рис. 8 (начало). Алгоритмы регистрации КА в ГСР и установления соединения КА с ППИ через один (*а*) и два (*б*) ГСР с применением оптического диапазона электромагнитных волн

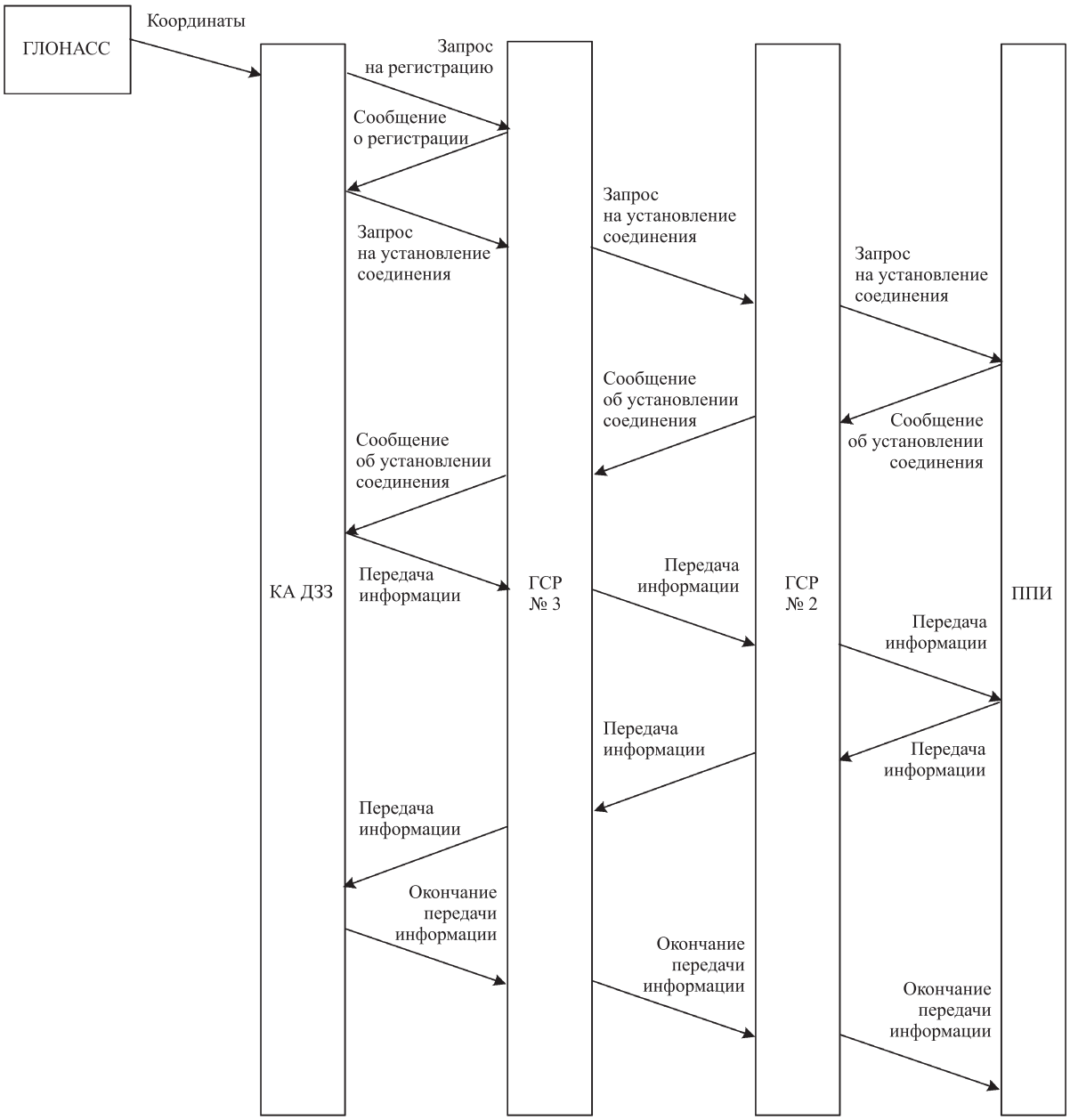


Рис. 8 (окончание). Алгоритмы регистрации КА в ГСР и установления соединения КА с ППИ через один (*а*) и два (*б*) ГСР с применением оптического диапазона электромагнитных волн

Для окончания сеанса связи ППИ, инициировавший соединение, формирует и передает сигнал его окончания, после чего соединение прерывается, а КА и ППИ переходят в дежурный режим приема информации.

Алгоритм работы бортовой аппаратуры ГСР при осуществлении вызова КА с ППИ при применении радиочастотного диапазона в межспутниковых каналах связи показан на рис. 7.

Алгоритмы маршрутизации информации в межспутниковых каналах связи с применением оптического диапазона электромагнитных волн. Основной особенностью связи в оптическом диапазоне электромагнитных волн в межспутниковых каналах связи является то, что лазеры имеют только игольчатую диаграмму направленности, которая значительно уже игольчатой диаграммы направленности радиочастотных антенн. Поэтому в схеме организа-

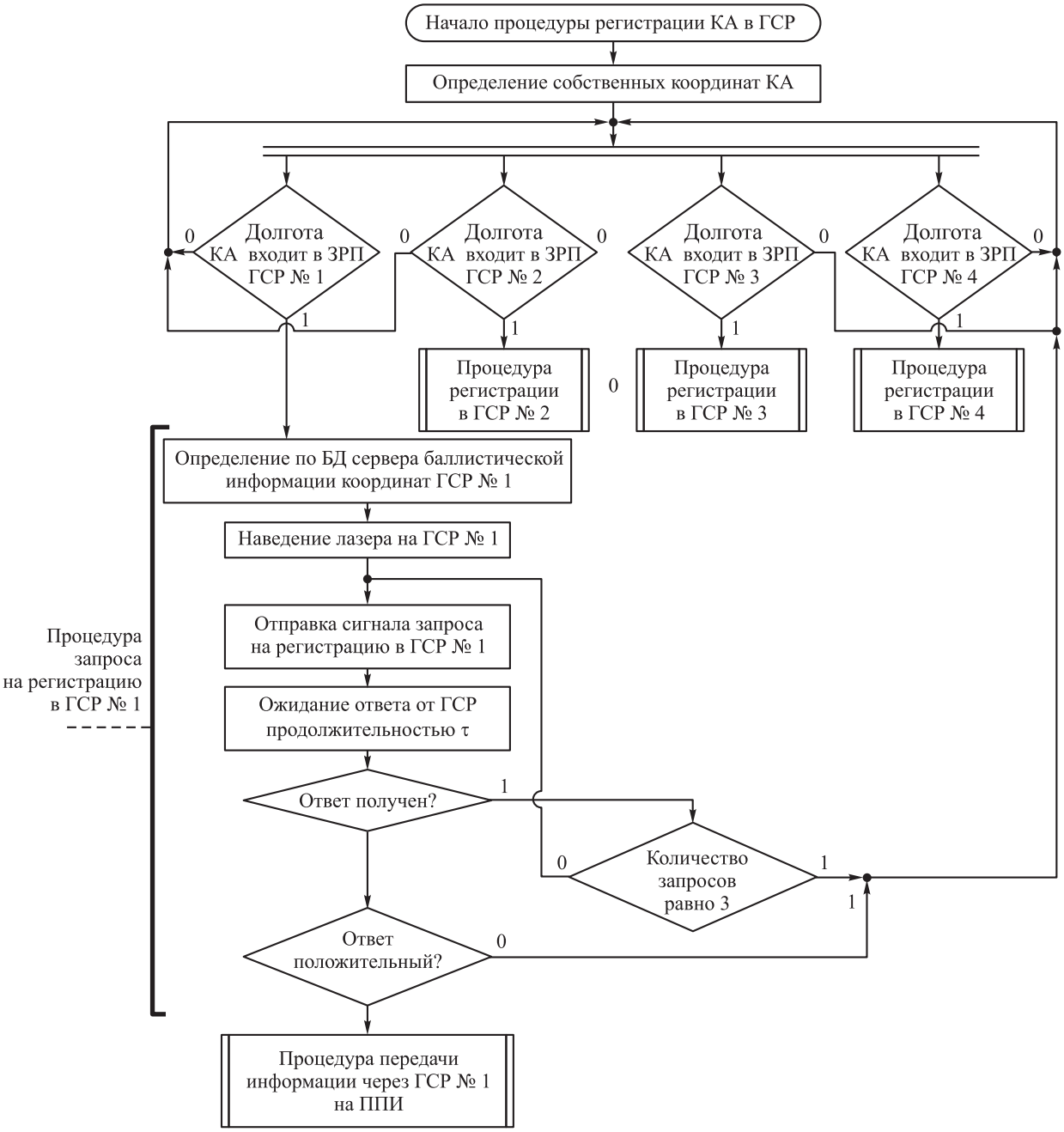


Рис. 9. Алгоритм работы бортовой аппаратуры КА при выполнении регистрации в ГСР с использованием оптического диапазона в межспутниковых каналах связи

ции связи КА — ГСР можно применять только логическую топологию точка — точка.

Физическая топология схемы связи ГСР — КА в оптическом диапазоне — звезда. В оптическом диапазоне полоса пропускания канала связи передачи будет значительно выше, чем в радиочастотном, но появляется решаемая техническая проблема точного наведения лазера [9].

Для наведения оптических АС и регистрации КА в ГСР применяется радиодиапазон S. Эта процедура аналогична рассмотренной выше. После разрешения на регистрацию происходит процедура взаимного наведения оптические антенных систем КА и ГСР друг на друга.

Очередность доступа с КА через ГСР к ППИ и с ППИ через ГСР к КА определяется ранее составленной в ЦУП программой полета со-

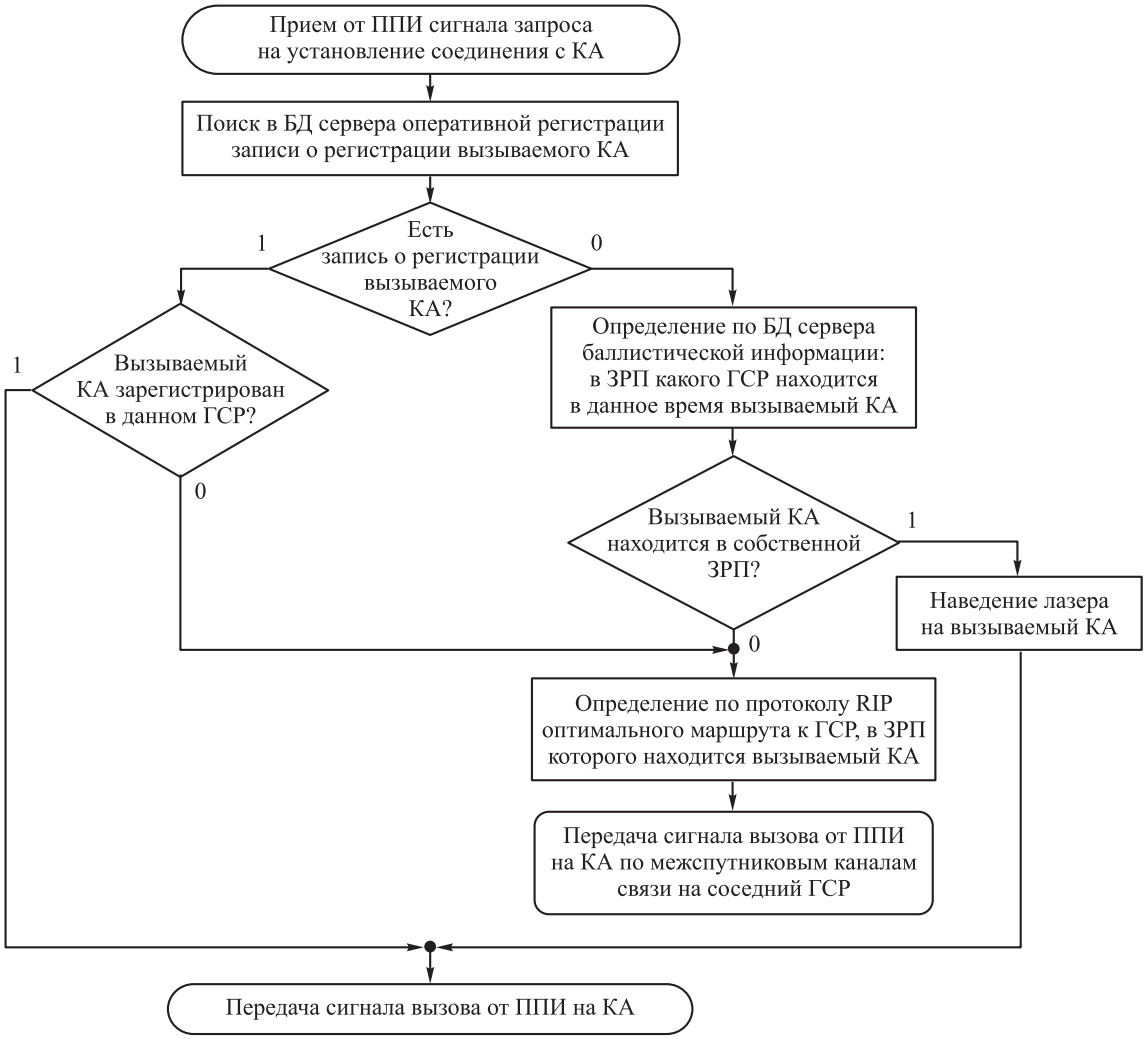


Рис. 10. Алгоритм работы бортовой аппаратуры ГСР при осуществлении вызова КА с ППИ при применении оптического диапазона в межспутниковых каналах связи

гласно категориям приоритета КА или приоритета информации от этих КА. После регистрации КА в ГСР процедура вызова ППИ осуществляется так же, как и в режиме работы с применением радиочастотного диапазона.

Алгоритмы регистрации КА в ГСР и установления соединения с ППИ через один и два ГСР с применением оптического диапазона электромагнитных волн приведены на рис. 8, *а* и *б* соответственно [4].

Алгоритм работы бортовой аппаратуры КА при выполнении регистрации в ГСР с использованием оптического диапазона в межспутниковых каналах связи показан на рис. 9.

Алгоритм работы бортовой аппаратуры при выполнении вызова КА с ППИ с применением оптического диапазона в межспутниковых каналах связи показан на рис. 10.

Выводы

1. Разработана и обоснована модель, позволяющая построить комплекс приема и обработки информации космического мониторинга с возможностью оперативного получения информации от КА, находящихся в любой точке околоземного космического пространства и в любое время суток полета.

2. Применение современных алгоритмов регистрации, установления соединения и маршрутизации позволяет создать универсальную, динамичную и эффективную систему связи с КА различного назначения.

3. Данная работа задает направления для разработки и создания перспективного бортового и наземного телекоммуникационного оборудования.

Литература

[1] Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Рембеза А.И., Урличич Ю.М. *Основы анализа и проектирования космических систем мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф*. Москва, Машиностроение, 2014. 736 с.

[2] Булгаков Н.Н., Алыбин В.Г., Кривошеин А.А. Особенности построения бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата для управления им как в зоне его радиовидимости с наземной станции, так и вне ее. *СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 24-я Междунар. крымская конф.*, Севастополь, 7–13 сентября 2014, Севастополь, Вебер, 2014, т. 1, с. 6–9.

[3] Булгаков Н.Н., Алыбин В.Г., Кривошеин А.А. Особенности построения двухконтурной бортовой аппаратуры командно-измерительной системы для управления космическим аппаратом на этапе его вывода на ГСО. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2014, т. 1, вып. 2, с. 74-80.

[4] Пантелеймонов И.Н. Перспективные алгоритмы управления полетом космического аппарата. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2014, т. 1, вып. 4, с. 57–68.

[5] Пантелеймонов И.Н., Корниенко В.И. Перспективы построения низкоорбитальной комбинированной спутниковой системе связи и мониторинга. *Техника и технология: новые перспективы развития. Матер. XIII Международной науч.-практ. конф.*, Москва, 26 мая 2014, Москва, Изд-во «Спутник +», 2014, с. 45–58.

[6] Султанов А.С., Корниенко В.И., Пантелеймонов И.Н. Оценка перспектив применения К/Ка-диапазона в отечественных системах спутниковой связи. *Новый университет*, 2014, № 1, с. 10–20.

[7] Пантелеймонов И.Н. Концепция создания системы персональной спутниковой связи на низкоорбитальных спутниках-ретрансляторах для широкополосного доступа к сетям передачи данных. *Научно-практические аспекты совершенствования управления космическими аппаратами и информационного обеспечения запусков космических аппаратов. XXI Межведомств. науч.-практ. конф.*, 26–27 октября 2017, Краснознаменск, 2017. 206 с.

[8] Пантелеймонов И.Н. Перспективная методика управления полетом космических аппаратов одной орбитальной группировки по межспутниковым радиолиниям. *Научно-практические аспекты совершенствования управления космическими аппаратами и информационного обеспечения запусков космических аппаратов. XXI Межведомственная науч.-практ. конф.*, 26–27 октября 2017, Краснознаменск, 2017. 15 с.

[9] Карасюк В.Н., Шаталов А.А., Шаталова В.А. *Системы лазерной космической связи*. Ч. 1. Санкт-Петербург, ГУАП, 2007. 156 с.

[10] Чекалин А.А., Заряев А.В., Скрыль С.В., Вохминцев В.А., Обухов А.Н., Хохлов Н.С., Немцов А.Д., Щербаков В.Б., Потанин В.Е. *Защита информации в системах мобильной связи*. Москва, Горячая линия–Телеком, 2005. 171 с.

[11] Гольдштейн В.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. *IP-Телефония*. Москва, Радио и связь, 2001. 336 с.

[12] Одом У. *Официальное руководство по подготовке к сертифицированным экзаменам CCNAICND1*. Москва, Вильямс, 2009. 672 с.

[13] Одом У. *Официальное руководство по подготовке к сертифицированным экзаменам CCNAICND2*. Москва, Вильямс, 2009. 736 с.

References

[1] Men'shikov V.A., Perminov A.N., Rembeza A.I., Urlichich Yu.M. *Osnovy analiza i proyektirovaniya kosmicheskikh sistem monitoringa i prognozirovaniya prirodnykh i tekhnogennykh katastrof* [Fundamentals of analysis and design of space systems for monitoring and forecasting natural and man-made disasters]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 2014. 736 p.

[2] Bulgakov N.N., Alybin V.G., Krivoshein A.A. Features of building the onboard equipment of the command-measuring system of a spacecraft to control it both in its radio visibility

range from the ground station and outside it. *SVCH-tekhnika i telekommunikatsionnyye tekhnologii. 24-ya Mezhdunar. krymskaya konf.* [24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology Conference Proceedings]. Sevastopol, 7–13 September 2014, Sevastopol, Veber publ., 2014, vol. 1, pp. 6–9.

[3] Bulgakov N.N., Alybin V.G., Krivoshein A.A. Building Peculiarities of Two-Channel On-Board Equipment of a Command-Measuring System for a Spacecraft Control During Its Placing into GEO. *Raketno-kosmicheskoye priborostroyeniye i informatsionnyye sistemy*, 2014, vol. 1, iss. 2, pp. 74–80 (in Russ.).

[4] Panteleymonov I.N. Perspective Algorithms for Spacecraft Missions Control. *Raketno-kosmicheskoye priborostroyeniye i informatsionnyye sistemy*, 2014, vol. 1, iss. 4, pp. 57–68 (in Russ.).

[5] Panteleymonov I.N., Korniyenko V.I. Prospects for building a low-orbit combined satellite communications and monitoring system. *Tekhnika i tekhnologiya: novyye perspektivy razvitiya. Mater. XIII Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf.* [Engineering and technology: new development prospects. Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference]. Moscow, Sputnik+ publ., 2014, pp. 45–58.

[6] Sultanov A.S., Korniyenko V.I., Panteleymonov I.N. Evaluation of the prospects of using the K/Ka-band in domestic satellite communication systems. *New University*, 2014, no. 1, pp. 10–20 (in Russ.).

[7] Panteleymonov I.N. The concept of creating a personal satellite communications system on low-orbit satellite transponders for broadband access to data networks. *Nauchno-prakticheskiye aspekty sovershenstvovaniya upravleniya kosmicheskimi apparatami i informatsionnogo obespecheniya zapuskov kosmicheskikh apparatov. XXI mezhvedomstvennaya nauch.-prakt. konf.* [Scientific and practical aspects of improving the management of spacecraft and information support launches of spacecraft. XXI interdepartmental scientific-practical conference]. Krasnoznamensk, 2017. 206 p.

[8] Panteleymonov I.N. Perspektivnaya metodika upravleniya poletom kosmicheskikh apparatov odnoy orbital'noy gruppirovki po mezhsputnikovym radioliniyam. *Nauchno-prakticheskiye aspekty sovershenstvovaniya upravleniya kosmicheskimi apparatami i informatsionnogo obespecheniya zapuskov kosmicheskikh apparatov. XXI mezhvedomstvennaya nauch.-prakt. konf.* [Scientific and practical aspects of improving the management of spacecraft and information support launches of spacecraft. XXI interdepartmental scientific-practical conference]. Krasnoznamensk, 2017. 15 p.

[9] Karasyuk V.N., Shatalov A.A., Shatalova V.A. *Sistemy lazernoy kosmicheskoy svyazi. Ch. 1.* [Laser space communication systems. Pt. 1]. Sankt-Petersburg, GUAP publ., 2007. 156 p.

[10] Chekalin A.A., Zaryayev A.V., Skryl' S.V., Vokhmintsev V.A., Obukhov A.N., Khokhlov N.S., Nemtsov A.D., Shcherbakov V.B., Potanin V.E. *Zashchita informatsii v sistemakh mobil'noy svyazi* [Information security in mobile communication systems]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom publ., 2005. 171 p.

[11] Gol'dshteyn B.C., Pinchuk A.V., Sukhovitskiy A.L. *IP-Telefoniya* [IP Telephony]. Moscow, Radio i svyaz' publ., 2001. 336 p.

[12] Odom Uendel. *Ofitsial'noye rukovodstvo po podgotovke k sertifitsirovannym ekzamenam CCNAICND1* [Official CCNAICND1 Certified Exam Preparation Guide]. Moscow, Vil'yams publ., 2009. 672 p.

[13] Odom Uendel. *Ofitsial'noye rukovodstvo po podgotovke k sertifitsirovannym ekzamenam CCNAICND2* [Official CCNAICND2 Certified Exam Preparation Guide]. Moscow, Vil'yams publ., 2009. 736 p.

Статья поступила в редакцию 31.05.2019

Информация об авторах

ПАНТЕЛЕЙМОНОВ Игорь Николаевич — главный специалист центра спутниковых систем связи. АО «Российские космические системы» (111024, Москва, Российская Федерация, ул. Авиамоторная д. 53, e-mail: panteleymonov@yandex.ru).

ФИЛАТОВ Владимир Витальевич — главный специалист службы управления проектами и инновационной деятельностью. АО «НПК СПП» (111024, Москва, Российская Федерация, ул. Авиамоторная д. 53, e-mail: noa@bk.ru).

АЛЕШИН Виктор Сергеевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. ФГОБУ ВПО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Москва, Российская Федерация, ул. Авиамоторная д. 8А, e-mail: abc082012@yandex.ru).

ПАНТЕЛЕЙМОНОВА Анна Валентиновна — кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Вычислительная математика и методика преподавания информатики». ГОУ ВО Московской области «Московский государственный областной университет» (141014, Москва, Российская Федерация, ул. Радио, д. 10А, e-mail: annapant@yandex.ru).

КОРНИЕНКО Владимир Иванович — ведущий специалист департамента боевой ракетной техники. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» (107996, Москва, Российская Федерация, ул. Щепкина, д. 42, стр. 1, e-mail: mks-1@yandex.ru).

Information about the authors

PANTELEIMONOV Igor Nikolaevich — Chief Specialist, Center of Satellite Communication Systems. AO Russian Space Systems (111024, Moscow, Russian Federation, Aviamotornaya St., Bldg. 53, e-mail: panteleymonov@yandex.ru).

FILATOV Vladimir Vitalievich — Chief Specialist, Project Management and Innovation. AO NPK SPP (111024, Moscow, Russian Federation, Aviamotornaya St., Bldg. 53, e-mail: noa@bk.ru).

ALESHIN Viktor Sergeevich — Candidate of Science (Eng.), Lead Researcher. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education — Moscow Technical University of Communication and Informatics (111024, Moscow, Russian Federation, Aviamotornaya St., Bld. 8A, e-mail: abc082012@yandex.ru).

PANTELEYMONOVA Anna Valentinovna — Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Computational Mathematics and Methods of Teaching Computer Science. State Educational Institution of Higher Education of Moscow region — Moscow State Regional University (Moscow, Radio St., Bldg. 10A, e-mail: annapant@yandex.ru).

KORNIENKO Vladimir Ivanovich — Lead Specialist, Department of Military Missile Technology. State Space Corporation Roscosmos (107996, Moscow, Shchepkina St., Bldg. 42, Block 1, e-mail: mks-1@yandex.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:
Пантелеймонов И.Н., Филатов В.В., Алешин В.С., Пантелеймонова А.В., Корниенко В.И. Модель перспективной системы связи для передачи информации космического мониторинга на наземный комплекс приема и обработки информации. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 12, с. 61–76, doi: 10.18698/0536-1044-2019-12-61-76

Please cite this article in English as:
Panteleymonov I.N., Filatov V.V., Aleshin V.S., Panteleymonova A.V., Kornienko V.I. A Model of an Advanced Communication System for Transmitting Space Monitoring Information to the Ground Control Complex for Reception and Processing of Information. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 12, pp. 61–76, doi: 10.18698/0536-1044-2019-12-61-76