

Оперативность передачи информации в низко-орбитальной системе связи с переносом сообщений на борту космических аппаратов

Часть 1

Latency of data transmission in LEO constellation with physical transfer of the message on board of a spacecraft
Part 1



Александр Акимов

Глав. специалист ЦНИИЭИСУ

Aleksandre Akimov

Chief specialist,
CSRI of economics informatics
and management systems



Денис Шевчук

Независимый эксперт

Denis Shevchuk

Independent expert



Денис Данилов

Независимый эксперт

Denis Danilov

Independent expert

Одним из основополагающих показателей качества системы связи является ее способность обеспечивать передачу или доставку сообщений в заданные сроки. Этот показатель называется оперативностью и является решающим при оценке характеристик низкоорбитальной системы связи, использующей механизм переноса информации на борту космических аппаратов (КА). В конечном счете принятие решения о воз-

можности прикладного использования системы связи производится на основе анализа показателя оперативности, который количественно определяется временем доставки и получения сообщений. В статье на примере топологии низкоорбитальной системы связи "Гонец" анализируется оперативность ее работы путем анализа временных задержек, обусловленных особенностями работы системы в разных режимах и использованием разных типов маршрутов передачи.

fers message on board of a satellite. In this article we use "Gonets LEO system's topology in order to analyse it's latency and estimate it's impact on constellation efficiency while using different data routes and other parameters of the constellation and its ground infrastructure.

В предыдущей статье, опубликованной в [1], на примере действующей в настоящее время системы связи "Гонец" рассматривались ее качественные показатели с точки зрения пространственной доступности и оперативной готовности низкоорбитальной группировки космических аппаратов. В то же время для оценки качества системы связи по ее целевому назначению необходимо использовать критерий оперативности, поскольку оперативность – это способность правильно и быстро решать поставленные задачи. Считая, что радиointерфейс системы

Ключевые слова:

низкоорбитальные спутниковые системы, имитационное моделирование

Keywords:

low-orbit satellite systems, simulation

One of a most important quality index of a communication system is the possibility to deliver digital message within set time frame. This index is called "Latency" and sometimes becomes defining in evaluation of quality of LEO systems that physically trans-

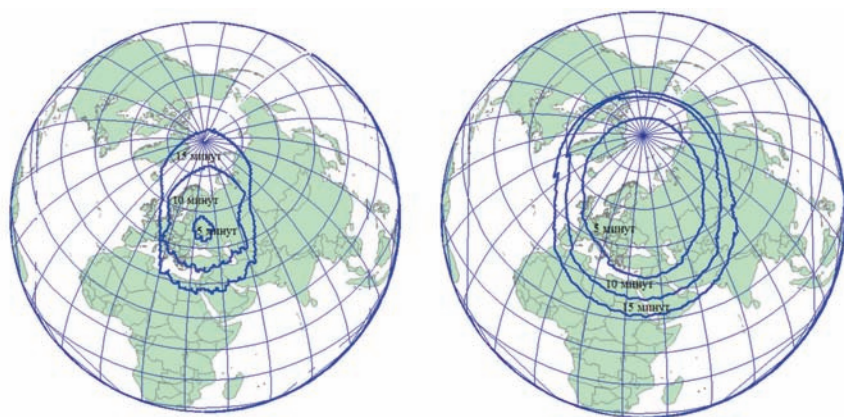


Рис. 1. Зоны максимального (слева) и среднего (справа) времени ожидания подлета КА для организации связи в режиме online

связи обеспечивает достаточный уровень достоверности передачи информации, оперативность будет определяться своевременностью, т.е. соответствием времени доставки сообщений предъявленным требованиям [3, 4]. В литературе вопросам оценки возможного времени доставки сообщений в низкоорбитальной системе связи рассматриваемого типа посвящен ряд работ [5, 6, 10]. Однако результаты были получены только для некоторых частных случаев.

Для уточнения временных характеристик доставки сообщений с учетом особенностей работы системы, использующей перенос сообщений на борту низкоорбитальных КА, рассмотрим основные режимы работы.

Наиболее часто используется два основных режима, характеризующиеся разной схемой организации связи [1].

Первый соответствует схеме организации связи абонентов через КА, работающие в радиоконтакте с земными узловыми станциями (ЗУС) – режим online. Второй соответствует

способу передачи сообщений с помощью КА, не находящихся в непосредственном контакте с ЗУС, – режим offline. Именно в этом режиме осуществляется транспортировка информации в бортовом запоминающем устройстве КА.

Для указанных режимов работы имеются следующие характерные направления передачи сообщений. Первое направление – Абонент–КА–ЗУС (ЗУС–КА–Абонент), второе – Абонент–КА–Абонент. Так, например, в режиме online абоненты системы ORBCOM используют только маршруты Абонент–КА–ЗУС. При этом КА находится в непосредственном контакте как с абонентом, так и с ЗУС. Для системы "Гонец" в режиме online допускаются также маршруты Абонент–КА–Абонент, при этом оба абонента должны иметь непосредственный радиоконтакт с одним и тем же КА, который работает под управлением ЗУС и передает сообщение от одного абонента другому.

В режиме offline для системы ORBCOM передача сообщений организуется на основе направления от Абонента к КА с последующей транспортировкой сообщения на борту КА к ЗУС (Абонент–КА–ЗУС) и наоборот: ЗУС–КА–Абонент. Для системы "Гонец" в данном режиме также допускается перенос сообщений от абонента к абоненту без участия ЗУС (Абонент–КА–Абонент).

Оперативность работы системы связи в целом будет характеризоваться временем передачи сообщений в указанных режимах работы и по рассмотренным маршрутам.

Будем проводить анализ применительно к одному из вариантов построения низкоорбитальной системы связи "Гонец", который предусматривает использование орбитальной группировки (ОГ) из 24 КА, расположенных в четырех орбитальных плоскостях по шесть КА в каждой, и трех ЗУС, расположенных в Москве, Железногорске и Комсомольске-на-Амуре. Используются круговые орбиты с высотой полета КА 1500 км и наклонением 82,5 град. [7, 8, 10, 11]. Также ограничимся рассмотрением передачи только коротких сообщений, а именно таких, которые могут быть переданы в течение однократного радиоконтакта абонента с КА и не нуждаются во фрагментации. Длительность таких сеансов оценивалась [1].

Оперативность работы в режиме online

Очевидно, оперативность передачи сообщений при работе системы связи в режиме online наиболее высокая. При недостаточной насыщенности ОГ КА она определяется временем подлета к абонентам КА, подходящего для организации связи, т.е. временем ожидания готовности ОГ к работе с абонентом.

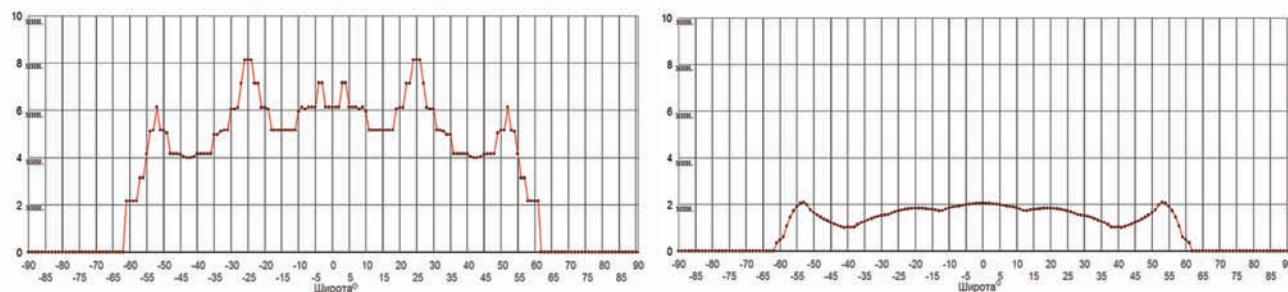


Рис. 2. Максимальное (слева) и среднее (справа) время ожидания подлета хотя бы одного КА к абонентам, расположенным на различных широтах. Для ОГ, включающей 24 КА

При этом пространственная доступность абонентов будет ограничиваться зоной ответственности ЗУС. Соответствующие зоны, полученные путем имитационного моделирования работы системы в режиме online, приводились в [1] для времени 15 мин ожидания полета к абонентам КА, работающего в режиме online. Соответственно, повышение оперативности работы системы в этом режиме может быть достигнуто за счет уменьшения размеров зон ответственности ЗУС или за счет увеличения числа КА в ОГ.

Так, на рис. 1 слева показаны зоны ответственности Московской ЗУС для гарантированно не превышаемого времени ожидания 5, 10 и 15 мин полета КА, а справа – для среднего времени ожидания, которое является наиболее вероятным.

Увеличивая насыщенность системы космическими аппаратами, можно создать зоны ответственности, характеризующиеся нулевым временем ожидания готовности ОГ к работе с абонентами.

Оперативность передачи коротких сообщений в режиме offline

В режиме offline ситуация более сложная и определяется маршрутом передачи сообщений.

При передаче сообщений по маршруту, обязательно включающему ЗУС, получаем цепочку Абонент1–КА1–ЗУС–КА2–Абонент2, и оперативность передачи сообщений будет определяться суммой:

- времени ожидания готовности ОГ к работе (времени ожидания полета КА1 к абоненту);
- времени переноса сообщения на борту КА1 к ЗУС;
- времени ожидания готовности ОГ к работе (времени ожидания полета КА2 к ЗУС);
- времени переноса сообщения на борту КА2 к абоненту.

В случае, когда используется маршрут, предусматривающий непосредственную передачу сообщения по цепочке Абонент1–КА–Абонент2, оперативность определяется суммой:

- времени ожидания готовности ОГ к работе;
- времени переноса сообщения на борту КА до Абонента2.

Таким образом, для режима offline при увеличении числа КА в ОГ будет

уменьшаться время ожидания готовности ОГ к работе. Однако время переноса сообщения на борту не будет зависеть от количества КА в ОГ, поскольку оно определяется движением КА и расположением Абонента2.

Оценим последовательно величину временных интервалов, соответствующих указанным направлениям передачи сообщений и влияющих на оперативность доставки.

Время ожидания абонентами готовности к работе ОГ, расположенных на различных широтах

Как было показано в [1], ОГ, включающая 24 КА, не обеспечивает гарантированного непрерывного покрытия Земли зонами радиовидимости. На различных широтах максимальное и среднее время ожидания готовности ОГ к работе с абонентами будет разным. Соответствующие зависимости показаны на рис. 2 [1].

После того, как сообщение передано на борту КА, работающего в режиме offline, время доставки будет определяться характером движения именно того КА, который получил сообщение.

Время переноса сообщения на борту КА до абонентов, располагающихся на различных широтах

Оценим время пребывания сообщения на борту КА путем анализа особенностей движения его зоны радиовидимости и набора статистики наблюдений этого КА абонентами. Для этого рассмотрим на интервале времени в один виток часть поверхности Земли, которая хотя бы один раз будет находиться в пределах видимости одного КА. Полученную область будем называть рабочей

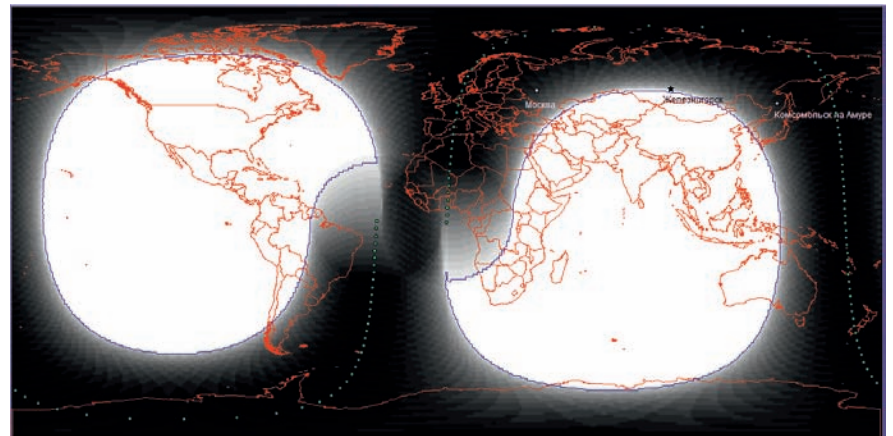


Рис. 3. Расположение слепых областей витка, одна из которых смещена к Южному полюсу относительно территории РФ и сети ЗУС

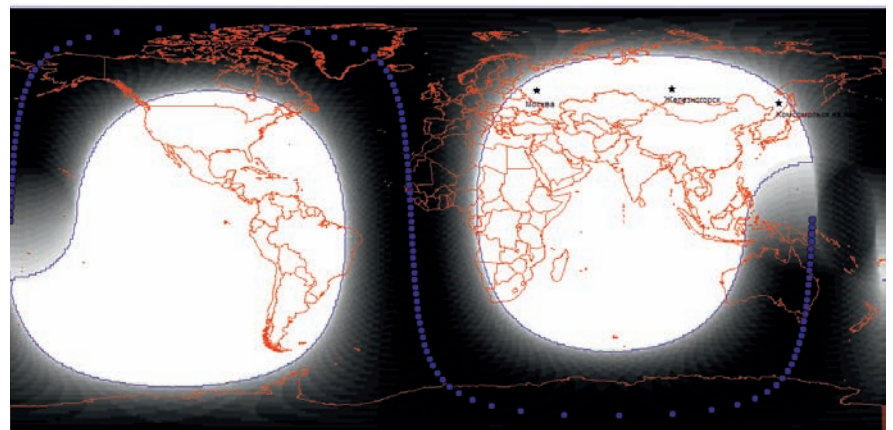


Рис. 4. Расположение слепых областей витка через 12 ч., когда одна из них смещена к Северному полюсу, относительно территории РФ и сети ЗУС

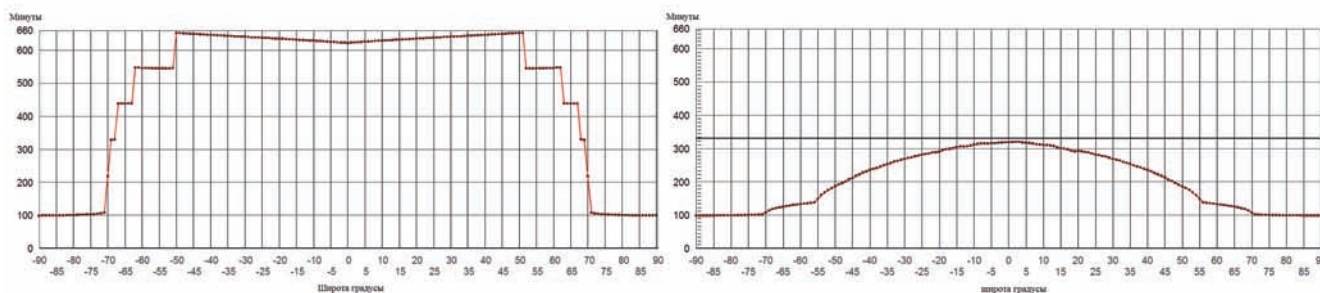


Рис. 5. Максимальное (слева) и среднее (справа) время ожидания повторного подлета одного и того же КА, находящегося на типовой орбите системы связи "Гонец", к абонентам расположенным на различных широтах

зоной витка. Часть поверхности Земли, которая на протяжении одного витка ни одного раза не будет попадать в пределы видимости КА, назовем слепой зоной витка, которая распадается на две не связанные области. Описанная ситуация показана на рис. 3 и 4 для типовой орбиты системы связи "Гонец". На рис. 3 и 4 градациями черного цвета показано двумерное распределение повторяемости наблюдения одного КА из точек на поверхности Земли, построенное для интервала времени в один виток. Таким образом, если на борту КА находилось сообщение, в рассмотренном интервале времени в один виток оно могло бы быть доставлено только абонентам, расположенным в рабочей зоне этого витка. Увеличивая время моделирования, получим, что из-за суточного вращения Земли рабочая зона витка постепенно осматривает все промежуточные наземные точки, которые ранее попадали в слепые области. На рис. 5 показано максимальное время между последовательными посещениями зоны радиовидимости КА по углу места 10 град. одних и тех же абонентов, расположенных на различных широтах, гарантирующее, что рассматриваемый КА был доступен для всех точек на поверхности Земли.

Таким образом, на рис. 5 представлено максимальное (слева) и среднее (справа) время, через которое переданное абонентом сообщение может вернуться к отправителю, если не было доставлено адресату. В случае, если возникает подобная ситуация, исходное сообщение должно удаляться из бортового запоминающего устройства КА, генерироваться сигнал о том, что адресат не найден, и приниматься решение о необходимости повторной попытки передачи. При этом можно быть уверенным, что где

бы ни находился адресат, он хотя бы один раз оказывался в зоне радиовидимости КА, несущего сообщение.

Рассматривая отдельно взятого абонента и КА, работающие в режиме offline, можно заключить, что адресованные абоненту сообщения попадают на борт в интервале времени между последовательными сеансами связи, этим абонентом. Поэтому графики на рис. 5 также дают хорошую верхнюю оценку максимального и среднего времени переноса информации на борту КА для различных широт места расположения абонента.

Оперативность передачи коротких сообщений в режиме offline непосредственно от абонента к абоненту, без участия ЗУС

Для ОГ низкоорбитальной системы "Гонец", соответствующей этапу развертывания, предусматривающему использование 24 КА, время доставки сообщения по направлению Абонент–Абонент в режиме работы offline не превысит суммы времени ожидания подлета одного КА из ОГ (рис. 2) и времени переноса сообщения на борту КА (рис. 5). Соответственно, для получения верхней оценки максимального времени доставки необходимо суммировать значения на графиках в левой части рис. 2 и 5, а для оценки среднего времени доставки в правой части рисунков.

Оперативность передачи коротких сообщений в режиме offline по маршрутам, включающим ЗУС, будет рассмотрена в следующей части статьи.

Литература

1. Акимов А., Полецук В. Пространственная доступность и оперативная готовность низкоорбитальной группировки космических аппаратов связи / Технологии

и средства связи. – 2014. – № 6/2 – специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание-2015".

2. ГОСТ 24.702-85 Эффективность автоматизированных систем управления.

3. Азаров Г.И. Теоретические основы анализа оперативности передачи информации в системах управления и связи. – М.: ГПС МЧС России, 2012.

4. Азаров Г.И. Способы повышения оперативности передачи информации в системах управления и связи. – М.: ГПС МЧС России, 2012.

5. Моторин Н.М. Исследование вероятностно-временных характеристик передачи сообщений в низкоорбитальной спутниковой системе связи в режиме "электронная почта" / Информационно-управляющие системы. – 2006. – № 5 (24).

6. Шевчук Д.В. Оценка времени доставки сообщений системой "Гонец" при различных вариантах построения орбитальной группировки // Радиотехника. 2012. – № 11.

7. Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных / Под ред. генерального конструктора многофункциональной космической системы персональной спутниковой связи и передачи данных, президента ОАО "Спутниковая система "Гонец" А.И. Галькевича. – Тамбов: ООО "Издательство Юлис", 2011. – 169 с.

8. Жаров А. Многофункциональная система персональной спутниковой связи "Гонец-Д1М": состояние и перспективы // Технологии и средства связи. – 2013. – № 6/2. – специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание-2014".

9. ГОСТ 27.002-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Термины и определения.

10. Кузовников А.В. Проблемы развития низкоорбитальной многофункциональной системы персональной спутниковой связи "Гонец-д1м" / А.В. Кузовников, Н.А. Тестоведов, В.А. Агуреев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – В. 6.

11. Выгонский Ю.Г. Предложения по созданию космической системы для предоставления телематических услуг связи. Часть 4 / Ю.Г. Выгонский, А.В. Кузовников, В.В. Головкин, В.Г. Сомов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9. – ISSN 1812-7339.

Ваше мнение и вопросы по статье присылайте по адресу

tss@Groteck.ru

Оперативность передачи информации в низкоорбитальной системе связи с переносом сообщений на борту космических аппаратов

Часть 2

Latency of data transmission in LEO constellation with physical transfer of the message on board of a spacecraft
Part 2



Александр Акимов

Глав. Специалист ЦНИИЭИСУ

Aleksandre Akimov

Chief specialist, CSRI of economics informatics and management systems



Денис Шевчук

Независимый эксперт

Denis Shevchuk

Independent expert



Денис Данилов

Независимый эксперт

Denis Danilov

Independent expert

На основе результатов имитационного моделирования, выполненного на примере исходных данных, соответствующих конфигурации низкоорбитальной системы связи "Гонец", в первой части статьи [1] рассматривались результаты оценки оперативности передачи коротких сообщений в направлении от абонента к абоненту без участия земных узловых станций (ЗУС) в качестве посредника. Рассмотрим теперь оперативность передачи коротких сообщений в режиме offline по маршрутам, включающим ЗУС.

Ключевые слова:

низкоорбитальные спутниковые системы, имитационное моделирование

Keywords:

low-orbit satellite systems, simulation

Based on the results of simulation performed by the example of raw data corresponding to the configuration of low-orbit communications system "Gonets" the first part of the article [1] described the results of the evaluation of efficiency transmission of short messages from the subscriber to the subscriber without the participation of the earth gateway terminals as a mediator. Now we consider the efficiency of the transmission of short messages in offline mode on the route includes earth gateway terminals.

Передача сообщений по маршрутам, включающим ЗУС, реализована в системе связи ORBCOM и широко используется в системе "Гонец". При этом основными направлениями являются:

- прямое направление передачи сообщения от абонента к КА с последующей транспортировкой его на борту КА к любой станции из сети ЗУС (Абонент–КА–ЗУС);
- обратное направление передачи сообщений от станции, входящей в состав сети ЗУС, на непосредствен-

но доступный КА и последующий перенос полученного сообщения КА в глобальную зону к абоненту (ЗУС–КА–Абонент).

Для рассматриваемой ОГ системы связи "Гонец" на интервалах Абонент–КА и ЗУС–КА в пунктах расположения земных станций, где требуется непосредственный радиоконтакт с КА, задержка целиком будет определяться временем ожидания готовности ОГ к работе с абонентами, как показано на рис. 2 в [1].

Чтобы оценить возможные временные задержки переноса сообщения из глобальной зоны ответственности системы связи в сеть ЗУС, рассмотрим их взаиморасположение относительно слепых областей витка. Из-за того, что орбита КА имеет наклонение 82,5 град., немного отличающееся от 90 град., слепые области витка, хотя и симметричны, но расположены различным образом относительно экватора (рис. 3 и рис. 4. в [1]). Одна слепая область расположена немного севернее, а другая – южнее. Поэтому относительно исследуемой дислокации ЗУС возможны два периодически меняющихся случая. Неблагоприятный (рис. 3) [1], при

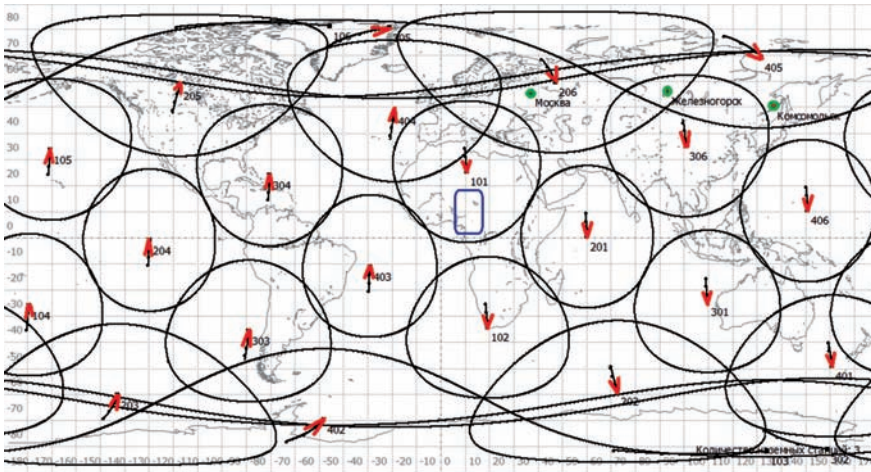


Рис. 6. Мгновенное распределение зон радиовидимости для 24 КА в ОГ в момент времени реализации неблагоприятного сценария. Последующая трасса движения КА 101 соответствует неудачному сценарию на рис. 7

котором все ЗУС находятся в слепой области витка, и благоприятный (рис. 4) [1], при котором в рабочей области витка находится хотя бы одна ЗУС.

Таким образом, рассмотренный пример расположения трех ЗУС не гарантирует постоянного пребывания хотя бы одной из них в рабочей области витка. Поэтому в рассматриваемой конфигурации системы связи в режиме offline периодически возникают области, в которых абоненты будут работать по неблагоприятному сценарию в направлении Абонент–ЗУС и ЗУС–Абонент. При этом неблагоприятный сценарий работы будет заключаться в том, что для абонента не будут доступны другие КА, кроме такого, который не будет находиться в контакте хотя бы с одной из ЗУС на протяжении времени порядка 1,5 витка, и абонент будет вынужден передать сообщение именно на него. На рис. 6 показано мгновенное распределение подспутниковых точек и зон радиовидимости КА в ОГ из 24 КА, иллюстрирующее вышеописанный неблагоприятный сценарий. Стрелка-

ми обозначено направление движения подспутниковых точек. Зелеными точками отмечено расположение ЗУС.

Синим контуром на рис. 6 отмечена предполагаемая область неудачно расположенных земных абонентов, которые будут некоторое время безальтернативно обслуживаться КА с номером 101 и следующими за ним КА, которые достаточно долго не будут контактировать с ЗУС. При этом КА 101 движется по "неудачной" трассе, начальная и конечная фаза которой показаны на рис. 7.

Таким образом, сопоставляя расположение ЗУС в г. Москва, Железнодорожск и Комсомольск-на-Амуре с положением и размером слепой зоны витка, показанной на рис. 3 и 4 в [1], можно понять, почему при организации связи, предусматривающей доставку сообщений через сеть ЗУС, в некоторых земных областях периодически возникают случаи достаточно длительного ожидания переноса сообщений.

Для уточнения размеров и характеристик области расположения абонентов, попадающей под действие неблаго-

приятного сценария, проведем имитационный эксперимент в следующей постановке. На первом этапе получим и проанализируем результаты расчета движения КА и условия их радиовидимости с ЗУС. Путем последовательной нумерации моментов времени радиовидимости найдем максимальное время отсутствия контакта КА с ЗУС. Затем, выполнив обратную перенумерацию, получим последовательность, характеризующую время ожидания подлета КА к ЗУС. Наконец, учитывая при проведении статистической обработки только те КА, время подлета которых к ЗУС превышает заданный уровень, получим интересующее нас распределение.

В результате будет найдена наиболее неблагоприятная область расположения абонентов, характеризующаяся максимальной длительностью транспортировки короткого сообщения одним космическим аппаратом из глобальной зоны обслуживания системы к сети ЗУС. Эта длительность составляет 194 мин. Найденная область показана на рис. 8 в виде наложенной на географическую карту картины зачернения, степень которого соответствует градиациям времени переноса сообщений. Синим цветом на рис. 8 показана изолиния, ограничивающая область нахождения абонентов, периодически сталкивающихся с максимальной длительностью транспортировки сообщения от них в сеть ЗУС, которая равна 194 мин.

В случае, когда анализируется среднее время транспортировки сообщений от абонентов, расположенных в глобальной зоне ответственности системы к ЗУС, получается двумерное географическое распределение, показанное на рис. 9.

На рис. 9 степень зачернения показано распределение на географической карте среднего времени переноса сообщений. Синей изолинией показана область расположения абонентов для максимума распределения,

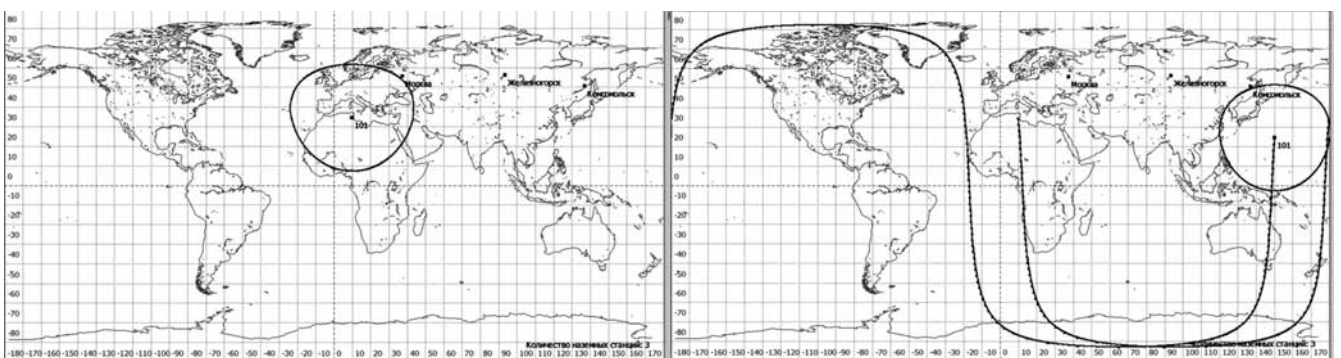


Рис. 7. Начальная и конечная фаза неблагоприятного сценария взаимодействия КА с ЗУС. Длительность сценария – 194 мин, в течение которых КА не контактирует ни с одной из ЗУС

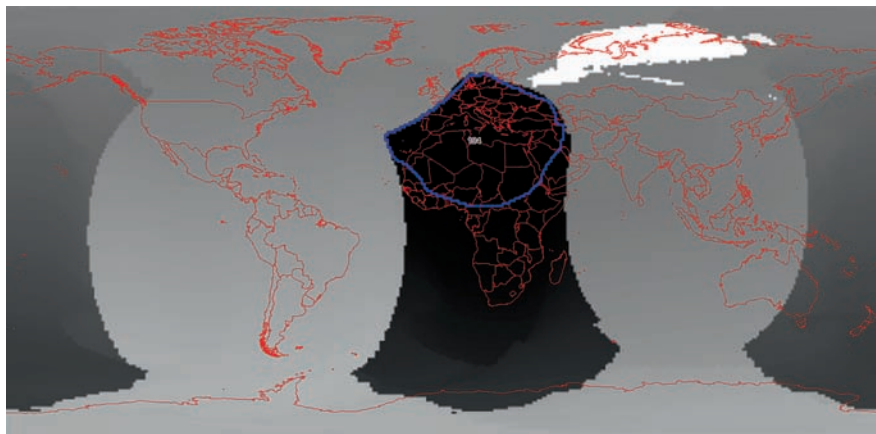


Рис. 8. Двумерное географическое распределение максимального времени ожидания переноса сообщений от абонентов к сети ЗУС. Изолиния синего цвета ограничивает место расположения абонентов, для которых реализовывались случаи времени переноса сообщений КА от абонентов к ЗУС за 194 мин

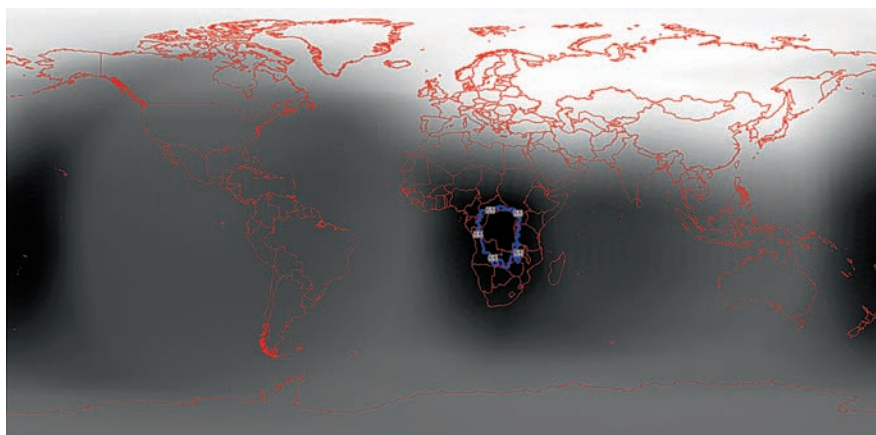


Рис. 9. Двумерное географическое распределение максимального среднего времени ожидания переноса сообщений от абонентов к ЗУС. Изолиния синего цвета ограничивает место расположения абонентов, для которых максимальное среднее время переноса сообщений от абонентов к ЗУС составляет 65 мин

построенная при среднем времени переноса 65 мин. Таким образом, из рис. 9 следует, что относительно часто реализующееся среднее время доставки сообщений из глобальной зоны ответственности системы не превосходит 65 мин для практически всей территории земного шара, что значительно меньше максимально возможной длительности транспортировки сообщения 194 мин, которое наблюдается относительно редко.

Необходимо отметить, что в процессе моделирования учитывалось, что КА, находящиеся в состоянии радиоконтакта с ЗУС и работающие в режиме online, исключались из анализа.

В заключение рассмотрим время переноса сообщений в направлении от ЗУС к абонентам. На рис. 10 показано двумерное географическое распределение положения абонентов, сталкивающихся с наибольшей длительностью переноса сообщений по направлению от ЗУС к абонентам, которое

реализовывалось на интервале моделирования. Изолиния синего цвета ограничивает место расположения абонентов, которые находятся в области максимума распределения, соответствующего времени доставки сообщения 194 мин. Рассматривая направление транспортировки сообщений от ЗУС к абонентам и обрабатывая не абсолютное максимальное время доставки, а среднее, получим распределение, показанное на рис. 11.

Из рис. 11 следует, что максимальное среднее время доставки сообщений от сети ЗУС в глобальную зону действия системы "Тонец" составит величину, находящуюся в пределах 65–67 мин. Расположение таких абонентов на поверхности Земли показано на рис. 11 синей изолинией, которая характеризует размер и расположение максимума распределения.

Сравнивая расположение областей, наиболее неблагоприятных по времени доставки (рис. 8 и рис. 10), а также

в среднем неблагоприятных (рис. 9 и рис. 11), можно отметить, что для направлений Абонент–сеть ЗУС и сеть ЗУС–Абонент указанные области не совпадают, а лежат симметрично относительно дислокации сети ЗУС.

Таким образом, получено, что в режиме offline при ОГ, включающей 24 КА и сети из трех ЗУС, расположенных в г. Москва, Железногорск и Комсомольск-на-Амуре в определенных зонах на поверхности Земли, время доставки сообщений в направлении от абонентов к земным ЗУС и в направлении от ЗУС к абонентам составляет 194 мин, что эквивалентно времени 3,2 ч. Такое время доставки является следствием того, что указанные ЗУС находятся примерно в одном широтном поясе, не входящем в область регулярного непрерывного покрытия, находящуюся севернее 62,5 град. с.ш. и южнее 62,5 град. ю.ш.

Рассматривая г. Южно-Сахалинск как альтернативу размещения ЗУС в г. Комсомольске-на-Амуре, можно показать, что указанное перемещение не улучшит показатели оперативности, поскольку получаемого разнесения трех ЗУС по долготе недостаточно, чтобы гарантировать нахождение хотя бы одной из них в рабочей области витка любого КА в ОГ, как показано на рис. 4 [1].

В то же время в системе "Тонец" используется еще одна ЗУС, расположенная в г. Тикси с координатами 71 град. 41' 24" с.ш. и 128 град. 51' 52" в.д. Как видно из рис. 2 и 5 [1], место расположения этой станции находится в пределах области регулярного непрерывного покрытия, формируемой ОГ. Поэтому для работы системы в режиме offline даже учитывая только одну ЗУС в г. Тикси, максимальное время доставки может быть уменьшено до 107 мин, т.е. почти в два раза. Если дополнительно учитывать остальные три ЗУС, то максимальное время доставки сообщения от абонента к ЗУС и от ЗУС к абоненту может быть еще немного уменьшено примерно до 97 мин (1,6 ч.).

Полученные результаты моделирования наглядно показывают, что наличие ЗУС с более северным расположением в г. Тикси при работе системы "Тонец" в режиме offline позволяет примерно в два раза снизить максимальное время переноса сообщений на борту КА, что значительно увеличивает оперативность работы в этом режиме. В то же время ЗУС в г. Тикси не улучшит эффективность работы системы в режиме online, поскольку она почти всегда будет иметь дело с теми

же самыми КА, что и ЗУС в г. Железнодорожск. Поэтому имеет смысл целиком возложить на ЗУС, расположенную в г. Тикси, обеспечение работы системы в режиме offline, а на остальные ЗУС – роль поддержания работы в режиме online.

Заключение

В результате проведенного моделирования показано:

- Насыщение системы КА в основном сокращает время ожидания подлета к абонентам КА, что положительно сказывается на работе системы в режиме online. В меньшей степени положительное влияние проявляется в режиме работы offline, так как в нем время доставки равно сумме времени ожидания подлета КА и времени переноса сообщения в бортовом ЗУ, которое не зависит от количества КА в ОГ.
- Рассмотренное возможное расположение трех ЗУС не обеспечивает постоянного попадания хотя бы одной из них в рабочую зону витка КА ОГ, что приводит к снижению оперативности работы системы в режиме offline. Однако использование ЗУС, расположенной севернее в г. Тикси, почти в два раза сокращает время доставки сообщений.
- ЗУС в г. Тикси будет почти всегда иметь дело с теми же самыми КА, что и ЗУС в г. Железнодорожск. Поэтому имеет смысл разделить функциональную нагрузку этих ЗУС между режимами работы системы offline и online.

Полученные результаты дают представление о границах зон ответственности системы связи по критерию доступности и своевременности доставки сообщений. Эти критерии могут использоваться как показатели качества предоставляемых системой связи услуг, гарантируемых в найденных географических границах. Это позволяет предложить обоснованную и понятную тарифную политику, уйти от логики организации работы абонентов по расписанию и перейти к логике работы, опирающейся только на:

- максимальное и среднее время ожидания ухода сообщения на КА;
- максимальное и среднее время доставки сообщения в сеть ЗУС;
- максимальное и среднее время ожидания подтверждения доставки сообщения. ■

Литература

1. Акимов А., Полещук В. Пространственная доступность и оперативная готовность низкоорбитальной группировки космических аппаратов связи // Технологи-

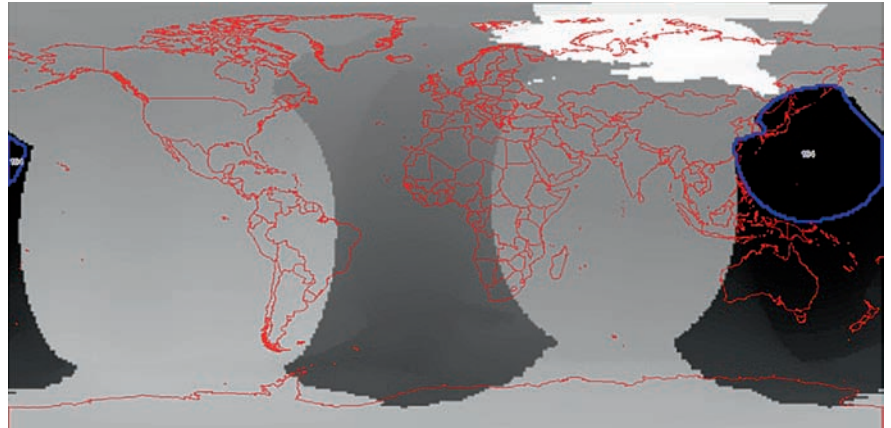


Рис. 10. Двумерное географическое распределение по наихудшему реализующемуся на интервале моделирования времени ожидания переноса сообщений от ЗУС к абонентам. Изолиния синего цвета ограничивает место расположения абонентов, для которых реализовывались случаи времени переноса сообщений от ЗУС к абонентам 194 мин

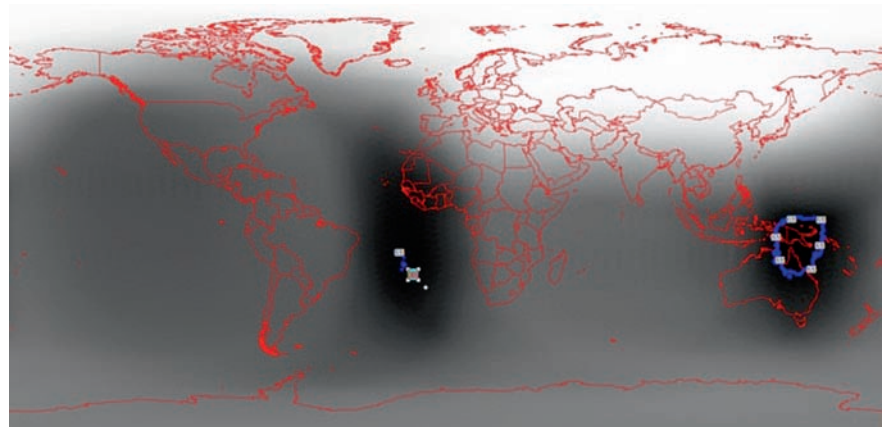


Рис. 11. Двумерное географическое распределение по среднему на интервале моделирования времени ожидания переноса сообщений от ЗУС к абонентам. Изолиния синего цвета ограничивает место расположения абонентов, для которых среднее время переноса сообщений от ЗУС к абонентам составляет 65 мин

гии и средства связи. – 2014. – № 6/2. – Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание-2015".

2. ГОСТ 24.702-85 Эффективность автоматизированных систем управления.

3. Азаров Г.И. Теоретические основы анализа оперативности передачи информации в системах управления и связи. – М.: ГПС МЧС России, 2012.

4. Азаров Г.И. Способы повышения оперативности передачи информации в системах управления и связи. – М.: ГПС МЧС России, 2012.

5. Моторин Н.М. Исследование вероятностно-временных характеристик передачи сообщений в низкоорбитальной спутниковой системе связи в режиме "электронная почта" // Информационно-управляющие системы. – 2006. – № 5 (24).

6. Шевчук Д.В. Оценка времени доставки сообщений системой "Гонец" при различных вариантах построения орбитальной группировки // Радиотехника. 2012. – № 11.

7. Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных / Под ред. генерального конструктора многофункциональной космической системы персональной спутниковой связи и передачи данных, президента ОАО "Спутниковая систе-

ма "Гонец" А.И. Галькевича. – Тамбов: ООО "Издательство Юлис", 2011. – 169 с.

8. Жаров А. Многофункциональная система персональной спутниковой связи "Гонец-Д1М": состояние и перспективы // Технологии и средства связи. – 2013. – № 6/2. – Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание-2014".

9. ГОСТ 27.002-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Термины и определения.

10. Кузовников А.В. Проблемы развития низкоорбитальной многофункциональной системы персональной спутниковой связи "Гонец-Д1М" / А.В. Кузовников, Н.А. Тестоведов, В.А. Агуреев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – В. 6.

11. Выгонский Ю.Г. Предложения по созданию космической системы для предоставления телематических услуг связи. Часть 4 / Ю.Г. Выгонский, А.В. Кузовников, В.В. Головкин, В.Г. Сомов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9. – ISSN 1812-7339.

Ваше мнение и вопросы по статье присылайте по адресу

tss@Groteck.ru