

## **ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ С БОРТОМ НИЗКОВЫСОТНОГО КА: НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА «КОНТАКТ-МКА» НА МКА «АИСТ-2»**

И.В. Белоконов, Д.Д. Давыдов, Д.П. Аваряскин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

В настоящее время активно развиваются и внедряются технологии использования низковысотных систем спутниковой связи (НССС) для обеспечения связи между подвижными объектами на Земле. Проблема применения подобных систем спутниковой связи для подвижных объектов, двигающихся по низким околоземным орбитам, становится все более актуальной. Это обуславливается тем, что проведение сложных экспериментов или других работ с использованием группировок КА, зачастую требует наличия канала связи для оперативного получения информации с борта КА и отправки команд на борт КА в режиме реального времени вне зависимости от их нахождения в зоне радиовидимости центров управления полётом (ЦУП). Кроме того, при этом может быть эффективно использована наземная сеть Интернет, обеспечивающая передачу данных от станции сопряжения до потребителя.

Традиционные средства связи с КА требуют нахождения КА в зоне прямой радиовидимости с приемопередающими антеннами ЦУП, что возможно только в определенном диапазоне широт. Использование современных НССС позволяет обеспечить оперативный и дешевый доступ к процессам, происходящим на орбите, используя передовые IT-технологии. В 2005 году был впервые проведён эксперимент по организации передачи данных через НССС Globalstar на наноспутнике ТНС-0 /1/ [1].

В работе был выполнен анализ возможности проведения сеансов связи при использовании НССС Globalstar, оценены длительности сеансов связи и возможные объемы передаваемых данных. Для моделирования движения КА и эволюции спутников НССС Globalstar использовались уравнения движения центра масс КА в абсолютной геоцентрической системе координат, которые учитывают нецентральность поля тяготения Земли и влияние торможения атмосферой [2]. Моделирование эволюции спутников НССС Globalstar проводилось без учёта влияния атмосферы.

Для осуществления передачи данных с борта КА в ЦУП требуется передать информацию на один из спутников НССС, который ретранслирует полученные данные на станцию сопряжения, находящуюся на Земле. Далее данные с борта КА предоставляются пользователю через сеть Интернет. Таким образом, для передачи данных требуется осуществить условие одновременной видимости КА с одного из спутников НССС Globalstar, который должен находиться в зоне видимости одной из станций сопряжения (Рисунок 1). Соотношения (1) и (2) определяют моменты времени входа в зону видимости и выхода из нее имеют вид:

$$\Phi_{CS-GW} = \bar{r}_{CS-GW} \bar{r}_{GW} - \bar{r}_{CS-GW} R_E \sin \gamma_{\min}, \quad (1)$$

$$\Phi_{CS-SC} = \bar{r}_{CS-SC} \bar{r}_{SC} - \bar{r}_{CS-SC} R_{SC} \sin \gamma_{\min}, \quad (2)$$

где  $\gamma_{\min}$  – минимальный угол места;  $\bar{r}_{GW}$  – радиус-вектор наземной станции сопряжения;  $\bar{r}_{CS-GW}$  – вектор дальности, проведённый от наземной станции сопряжения до спутника НССС;  $R_E$  – радиус Земли;  $\bar{r}_{SC}$  – радиус-вектор КА;  $\bar{r}_{CS-SC}$  – вектор дальности, проведённый от КА до спутника НССС;  $R_{SC}$  – радиус орбиты КА.

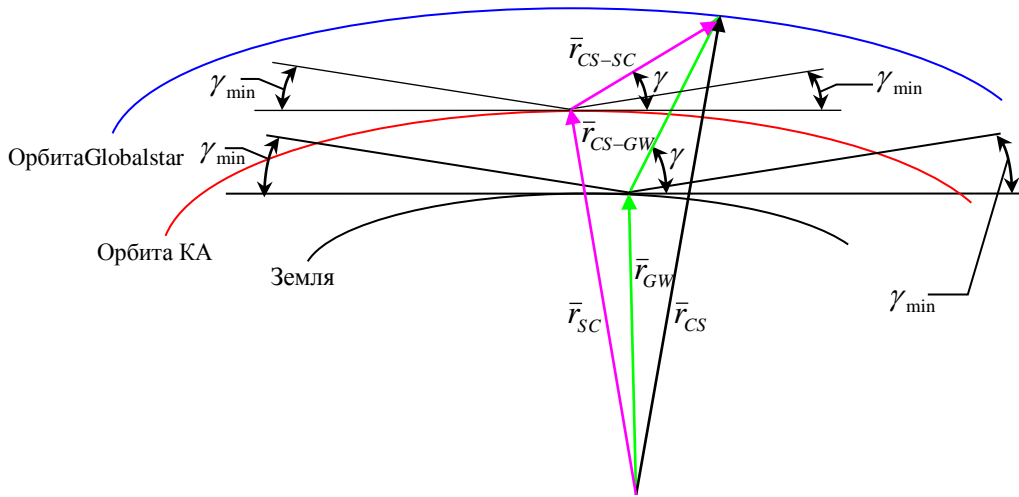


Рис. 1 – Определение взаимной видимости спутника НССС с наземной станцией сопряжения и КА

Таким образом, для выполнения взаимной видимости «КА – спутник НССС Globalstar – наземная станция сопряжения» должно выполняться условие

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{CS-GW} &\geq 0 \\ \Phi_{CS-SC} &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В случае использования НССС с межспутниковой связью выполнение условия видимости спутников НССС и наземной станции не требуется.

Было выполнено многопараметрическое исследование зависимости продолжительности связи с КА, используя НССС Globalstar, от высоты его орбиты при различных наклонениях  $i$  и значениях сдвига орбитальной плоскости  $\Delta\Omega$  орбиты КА относительно орбит группировки спутников связи.

Результаты моделирования показали, что время связи с КА с помощью системы Globalstar, на интервале кратности повторения относительной конфигурации НССС и положения КА на орбите порядка 19 часов может составлять от 80 до 300 минут, а объем передаваемых данных от 5 до более чем 20 МБ без использования услуги глобального роуминга, в зависимости от высоты орбиты, её наклонения и долготы восходящего узла. Использование услуги глобального роуминга позволяет увеличить время связи и объем передаваемых данных более чем в 3 раза.

Выполнено численное исследование принципиальной возможности передачи данных между двумя КА с использованием ресурсов НССС Globalstar и специально разработанной экспериментальной аппаратуры «Контакт» в рамках проекта малого космического аппарата (МКА) «Аист-2». Построение канала связи между двумя КА возможно при выполнении условия взаимной видимости, в те моменты времени, когда спутники НССС Globalstar находятся в зоне радиовидимости наземной станции сопряжения и двух КА. Условие взаимной видимости, при выполнении которого возможна передача данных между двумя КА, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{CS-GW} &\geq 0 \\ \Phi_{CS-SC_1} &\geq 0 \\ \Phi_{CS-SC_2} &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Выполнено моделирование для случаев отсутствия и наличия глобального роуминга. Моделирование проводилось для двух спутников движущихся по орбитам с одинаковыми параметрами - высотой 510 км и наклонением  $97,3^\circ$  на интервале повторяемости взаимного начального расположения. В результате моделирования было выявлено, что при различных значениях относительных сдвигов орбитальных плоскостей двух МКА

друг относительно друга  $\Delta\Omega$  и углового расстояния между двумя КА  $\Delta\theta$ , не превышающего  $25^\circ$ , имеется возможность осуществлять от 8 до 12 сеансов связи продолжительностью от 5 минут в условиях отсутствия глобального роуминга, а так же от 22 до 37 сеансов связи продолжительностью более 5 минут в условиях наличия глобального роуминга на том же интервале повторяемости относительной конфигурации. В то же самое время при увеличении значений  $\Delta\Omega$  и  $\Delta\theta$  растет число кратковременных сеансов связи и уменьшается число продолжительных сеансов связи (Рисунки 2 –11).

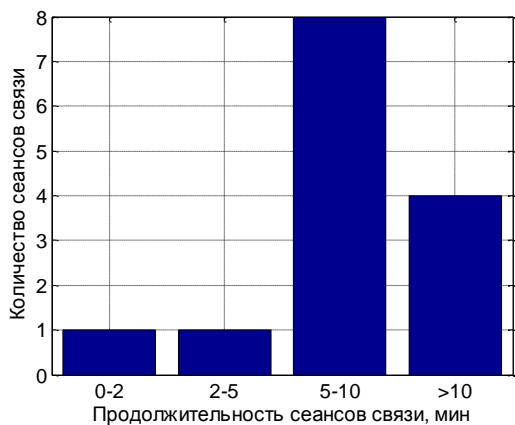


Рис. 2 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\theta=5^\circ$  и  $\Delta\Omega=0^\circ$  (Локальный роуминг)

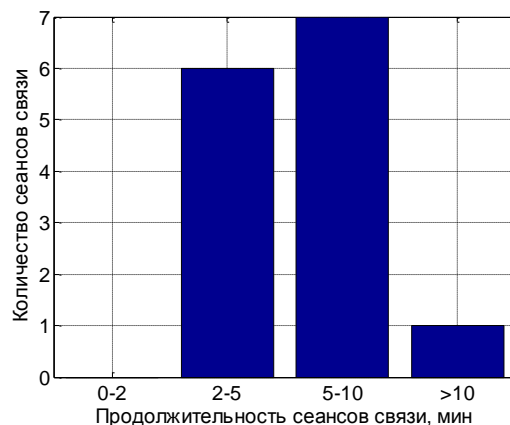


Рис. 3 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\theta=25^\circ$  и  $\Delta\Omega=0^\circ$  (Локальный роуминг)

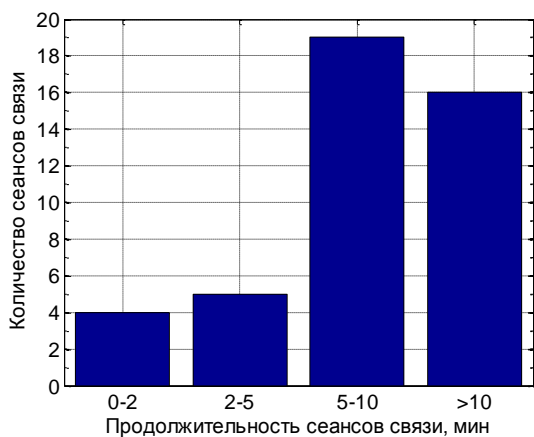


Рис. 4 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\theta=5^\circ$  и  $\Delta\Omega=0^\circ$  (Глобальный роуминг)

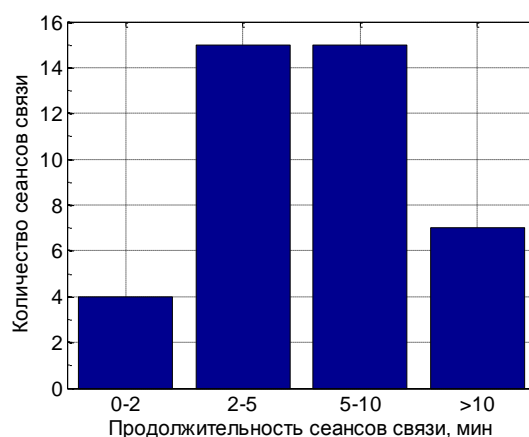


Рис. 5 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\theta=25^\circ$  и  $\Delta\Omega=0^\circ$  (Глобальный роуминг)

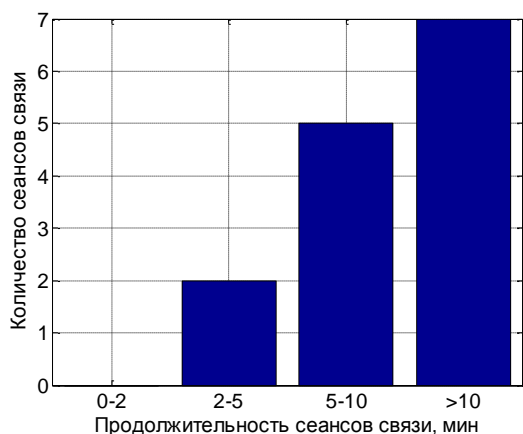


Рис. 6 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\Omega=5^\circ$  и  $\Delta\theta=0^\circ$  (Локальный роуминг)

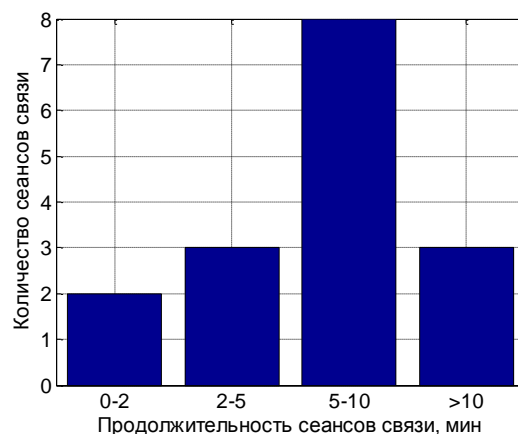


Рис. 7 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\Omega=25^\circ$  и  $\Delta\theta=0^\circ$  (Локальный роуминг)

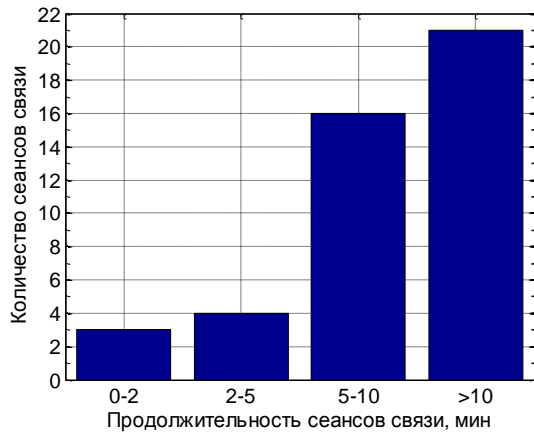


Рис. 8 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\Omega=5^\circ$  и  $\Delta\theta=0^\circ$  (Глобальный роуминг)

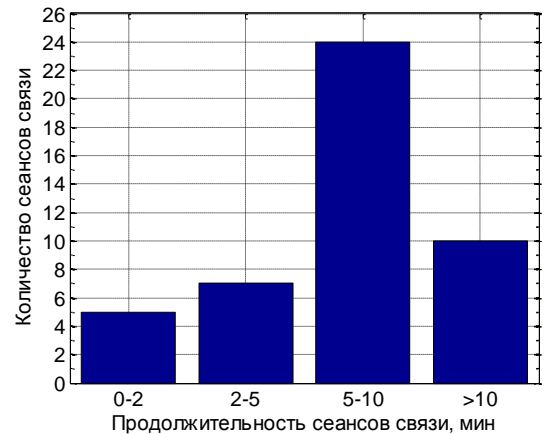


Рис. 9 – Количество сеансов связи между двумя КА при  $\Delta\Omega=25^\circ$  и  $\Delta\theta=0^\circ$  (Глобальный роуминг)

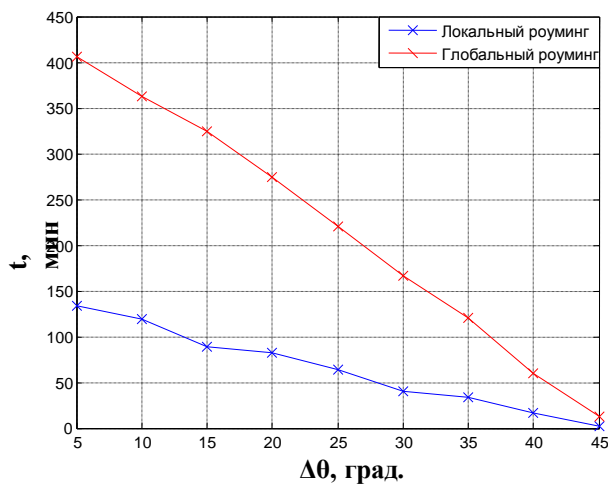


Рис. 10 – Общая продолжительность связи в зависимости от углового расстояния между КА при  $\Delta\Omega=0^\circ$

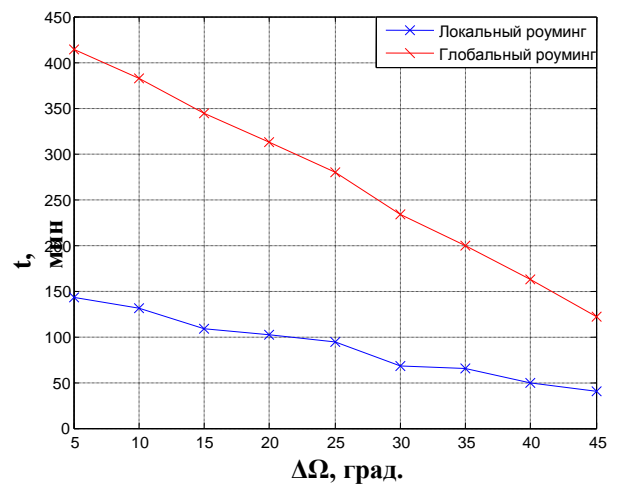


Рис. 11 – Общая продолжительность связи в зависимости от сдвига орбитальных плоскостей КА при  $\Delta\theta=0^\circ$

#### Секция 4. Проекты и миссии малых космических аппаратов

Описанные технологии передачи данных через НССС Globalstar будут отработаны во время полёта МКА «Аист-2», намеченного на 2015 г., для передачи данных в ЦУП а также на борт научного КА «Ломоносов», который будет запущен тогда же.

В работе выполнены исследования задач оптимального планирования сеансов связи с учётом относительного движения двух КА для случая локального роуминга.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (№ 9.1421.2014/К).

##### *Список использованных источников*

1. [http://www.keldysh.ru/papers/2006/prep18/prep2006\\_18.html](http://www.keldysh.ru/papers/2006/prep18/prep2006_18.html)
2. Белоконов И. В. Расчет баллистических характеристик движения космических аппаратов: Учебн. пособие [Текст]/Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1994. с. 36-38.