

УДК 303.732.4

Обмен данными в низкоорбитальной системе связи с регулярной структурой

Пичугин Сергей Борисович

sergey.pichugin@rsce.ru

SPIN-код: 5024-4804

ПАО «РКК «Энергия», Королёв, Московская обл., Россия

Аннотация. Рассматривается низкоорбитальная система связи (НОСС) включающая орбитальную группировку спутников-ретрансляторов с функцией маршрутизации сообщений (СРФМ) с регулярной структурой и абонентскими и межспутниковыми трактами. Обозначена проблема обмена данными в такой системе, связанная со встречным движением спутников в двух орбитальных плоскостях орбитальной группировки НОСС. Представлены аналитические соотношения для оценки частотных сдвигов в связи с расположением спутников орбитальной группировки в орбитальных плоскостях. Сделаны выводы о возможных технических решениях, позволяющих устанавливать и поддерживать устойчивую абонентскую и межспутниковую связь в НОСС.

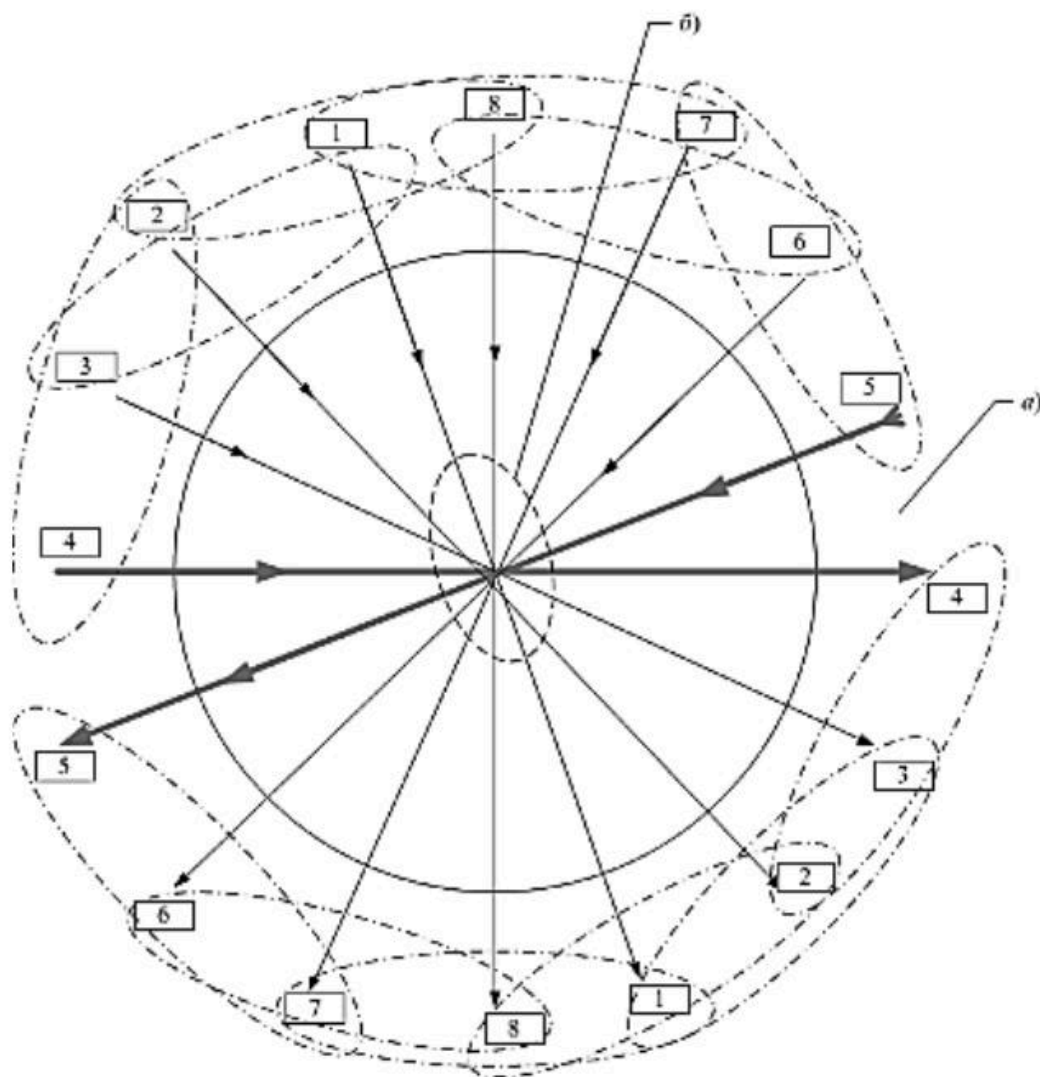
Ключевые слова: орбитальная группировка, спутник ретранслятор с функцией маршрутизации, системы массового обслуживания

Введение. В НОСС с регулярной структурой, когда наклонение орбитальных плоскостей одинаково, но различны долготы их восходящих узлов, оказывается, что спутники в одной из орбитальных плоскостей движутся против движения спутников в соседней с ней орбитальной плоскости. На рисунке приведен вид орбитальных плоскостей МСС, в проекции на орбитальный полюс.

Методы и материалы; результаты. НОСС, приведенная на рисунке, предназначена для обеспечения связи наземных абонентов в подспутниковых зонах обслуживания, а ее спутники способны пересылать абонентские данные через межспутниковые тракты от одного к другому без промежуточных приземлений потоков данных на наземных станциях. Стрелками на рисунке показаны направления движения спутников в орбитальных плоскостях, пронумерованных от 1 до 8. Жирными линиями выделены две орбитальных плоскости, под номерами 4 и 5, в которых спутники движутся взаимно встречно. Штриховыми эллиптическими линиями выделены группы из трех соседствующих между собой орбитальных плоскостей, где спутники движутся в одинаковых направлениях и способны общаться по межспутниковым трактам с ближайшими соседями. Стоит задача обеспечить связь абонентов через спутники в орбитальной плоскости 4 с абонентами, находящимися в зонах обслуживания спутников, движущихся в орбитальной плоскости 5.

Главным препятствием для пересылки данных между спутниками в орбитальных плоскостях 4 и 5 является эффект Доплера, или сдвига частоты сигнала для объектов, движущихся взаимно встречно на скоростях порядка 16 км/с. Усугубляет сложность обмена между такими объектами требование к величине

номинала несущей межспутникового тракта, которая должна многократно превышать частоту абонентского тракта для того, чтобы обеспечивать пересылку данных абонентского сообщества без заторов на пути следования от абонента — отправителя к абоненту — получателю.



Вид орбитальных плоскостей МСС в проекции на орбитальный полюс:

a — экваториальная зона; *b* — приполярная зона

Исследование данного эффекта показало, что в экваториальных зонах орбитальных плоскостей взаимные перемещения спутников минимальны и, даже для оптических трактов, сдвиги частот при этом составляют единицы мегагерц, что позволяет компенсировать данный эффект использованием протоколов с расширенными по сравнению с протоколом TCP/IP возможностями [1, 2].

В дополнение к данному решению в [3] было предложено использовать оптическую связь в орбитальной плоскости в межспутниковом тракте, так как частотный сдвиг в этом случае равен нулю, а в межспутниковом тракте между соседними орбитальными плоскостями применить связь радиочастот-

ного диапазона, что позволило увеличить широту, где сдвиги частоты допустимы для установления межспутникового соединения, вплоть до приполярной зоны.

Кроме того, несколько компенсировать сдвиг частот при движении спутников в районе орбитальных полюсов позволяет применение гексагональной схемы построения орбитальной группировки [4], которая позволяет разнести в спутники полярной области друг от друга на расстояние в половину межспутникового интервала и уменьшить угловые скорости их взаимного перемещения.

Заключение. Проблема обмена данными по межспутниковым трактам в НОСС с регулярной структурой, связанная со сдвигом частоты сигнала для объектов при встречном движении спутников в орбитальных плоскостях орбитальной группировки. Предложено компенсировать данный эффект пересылкой данных через экваториальные зоны орбитальных плоскостей, используя для межспутниковой связи возможности широкополосных оптических трактов в орбитальной плоскости и радиотрактов при связи между соседними орбитальными плоскостями, а также используя гексагональную схему построения орбитальной группировки, снижающую угловые скорости взаимных перемещений спутников.

Список источников

- [1] Валов С.Г., Лихачёв Н.И., Пудовкин О.Л. Способ передачи данных блоками с динамической границей. *Вестник связи*, 2013, № 3, с. 16–22.
- [2] Валов С.Г., Лихачёв Н.И. *Способ передачи данных блоками с динамической границей*. Патент № 2431234 РФ, МПК Н 04 Н 60/76, 2011, бюл. № 28, 6 с.
- [3] Пичугин С.Б. *Спутниковый ретранслятор*. Патент № 2783202 РФ, МПК Н 04 В 7/185, 2022, бюл. № 31, 21 с.
- [4] Пичугин С.Б. *Спутник-ретранслятор*. Патент № 2793898 С1 РФ, МПК Н 04 В 7/185, 2023, бюл. № 10, 45 с.