

# ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «С Е В Е Р Н А Я К О Р О Н А»

## Автоматизация расчета межспутниковых линий радиосвязи

При проектировании межспутниковых линий радиосвязи МЛС (Inter-Satellite Links) необходимо учитывать, что оборудование МЛС будет эксплуатироваться непосредственно на космических аппаратах (КА). Это означает, что к нему предъявляются дополнительные требования как по потребляемой мощности, так и по массово-габаритным характеристикам.

Структурно, блок МЛС включает: передатчик, приемник и антенно-фидерную систему. Если при работе МЛС угловые девиации одного КА относительно другого превышают ширину диаграммы направленности (по уровню половинной мощности) антенны, то дополнительно в блок МЛС включают систему поиска, наведения и сопровождения (СН) смежного КА.

Использование в блоке МЛС системы наведения заметно усложняет работу системы, при этом возрастают массово-габаритные характеристики и энергопотребление в целом. Уйти от использования СН в ряде случаев можно, если увеличить ширину диаграммы направленности антенны (или использовать несимметричную антенну, как, например, в системе Iridium). Однако в этом случае для поддержания энергопотенциала радиолинии придется увеличить мощность передатчика, что может оказаться неприемлемым.

Следовательно, задача расчета МЛС является комплексной, а для ее решения целесообразно использовать специализированное программное обеспечение.

Одной из таких программ является модуль «Расчет МЛС», входящий в программный комплекс «Спутниковые технологии». Внешний вид программы представлен на рис. 1.

Модуль «Расчет МЛС» предназначен для расчета межспутниковой линии связи, организуемой между парой КА на любых типах околоземных орбит.

Модуль позволяет провести оценку:

- граничных значений дальности между парой КА на участках работы МЛС;
- расчетного значения отношения сигнал/шум ( $E_b/N_0$ ) на линии;
- требований к системе наведения и сопровождения антенных систем МЛС;
- значения задержки при распространении сигнала и доплеровского сдвига частоты.

Модуль позволяет выполнить расчет отношения  $E_b/N_0$  межспутниковой линии связи при заданных энергетических характеристиках передатчика, приемника, системы сопровождения, а также параметрах среды. Оценка параметров МЛС может быть выполнена для спутниковых систем любой сложности, включая многоспутниковые орбитальные группировки, КА которых поддерживают одновременную работу по нескольким МЛС, так как каждая из МЛС может быть рассмотрена в паре между КА.

Модуль условно разбит на два блока. В первом анализируется динамика изменения основных параметров, связан-

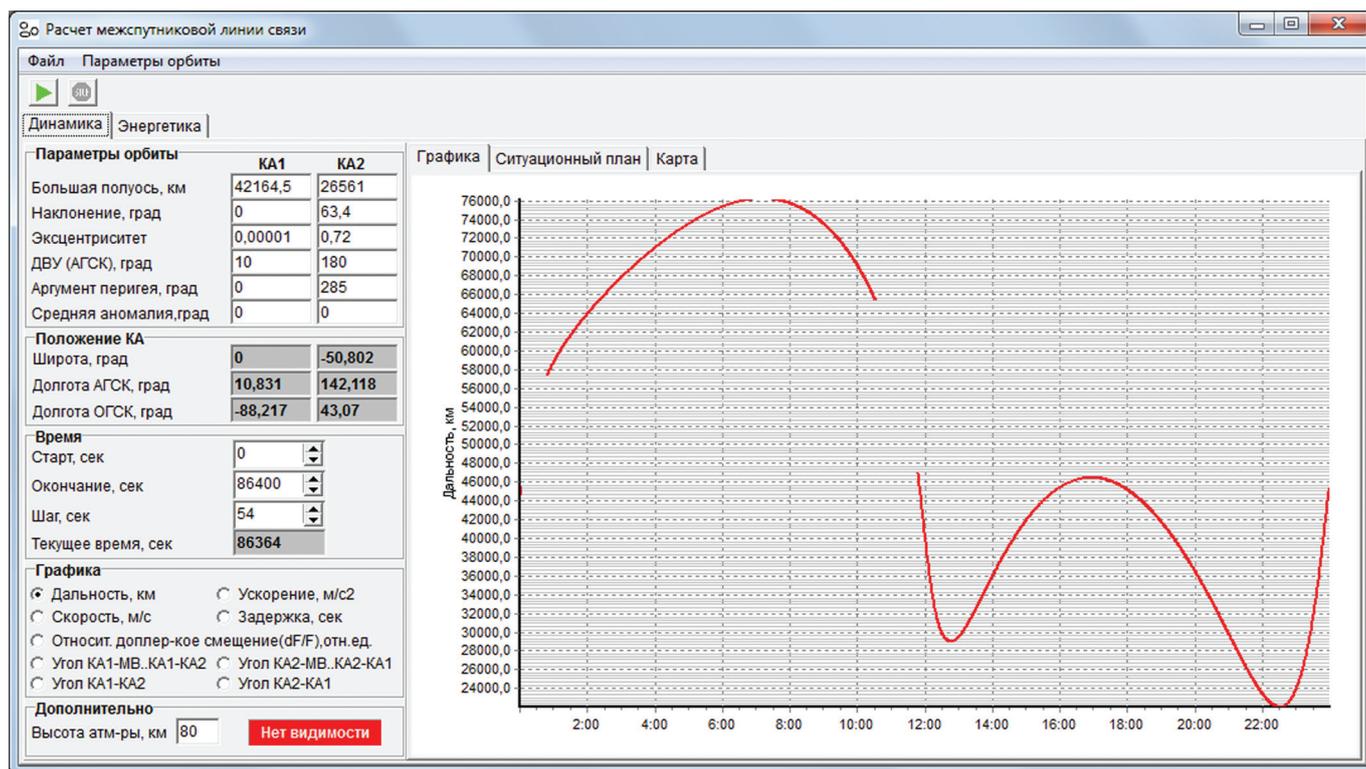


Рис.1 Оценка изменения дальности и углов визирования

ных с движением каждого из КА по орбите. Во втором выполняется энергетический расчет, в качестве исходных данных которого могут выступать данные первого блока (в частности, значение максимальной дальности между КА).

Для оценки динамики изменения основных параметров выполняется моделирование движения каждого КА по орбите с одновременной выдачей графиков изменения параметров в функции времени (рис. 1).

Модель движения КА соответствует модели движения тела в центральном гравитационном поле Земли (достаточно для решения данного класса задач). Движение каждого из КА рассматривается в Абсолютной геоцентрической системе координат (АГСК). Параметры орбиты задаются в виде Кеплеровских параметров, где долгота восходящего узла задается в АГСК. Положение КА на орбите задается параметром «Средняя аномалия», что достаточно удобно при выборе начального положения каждого из спутников.

Моделирование движения КА осуществляется от начальной точки положения на орбите до конечной. Начальная и конечная точки задаются временным интервалом в секундах, прошедших от исходного положения КА, заданного параметром «Средняя аномалия». Шаг моделирования задается в секундах и может меняться пользователем.

Предполагается, что атмосфера Земли является абсолютно непрозрачной для МЛС. Соответственно, в случае, если Земля или ее атмосфера перекрывает линию прямой видимости между КА, то загорается транспарант «Нет видимости». Высота атмосферы Земли может быть задана пользователем (по умолчанию 80 км).

Важным аспектом является получение расчетных значений угловых девиаций КА относительно друг друга для обоснования требований к системе поиска, наведения и сопровождения КА при работе МЛС.

Для решения этой задачи принимается, что на борту КА обеспечивается построение орбитальной системы координат (ОСК). Начало ОСК совпадает с центром масс КА, ось Y совпадает с местной вертикалью (линия, соединяющая центры масс КА и Земли) и направлена вверх, ось X направлена по нормали к оси Y, лежит в плоскости орбиты и направлена в

сторону вектора скорости КА, ось Z дополняет систему до правой. Предполагается также, что система угловой ориентации и стабилизации (СУС) КА обеспечивает непрерывное совмещение орбитальной СК со связанной с КА системой координат.

Тогда угловое положение «смежного» КА можно задать двумя углами:

- «угол смещения» от местной вертикали (угол между направлением местной вертикали и направлением на «смежный» КА);

- «угол разворота» (угол между плоскостью орбиты и плоскостью, проходящей через два КА и центр Земли).

Оценка диапазона значений по «углу смещения» позволяет определить требования к системе наведения в вертикальной плоскости связанной с КА СК. Оценка диапазона значений по «углу разворота» позволяет определить требования к системе наведения в горизонтальной плоскости связанной с КА СК. Следует отметить, что в зависимости от ситуации, указанные углы могут отличаться в варианте «от КА1» и «от КА2».

Визуализация пространственного движения КА по орбитам с отображением линии МЛС осуществляется на закладке «Ситуационный план» (рис. 2).

Выполнение энергетического расчета осуществляется на закладке «Энергетика» (рис. 3). Предполагается, что в МЛС на двух КА используются антенные системы с идентичными характеристиками. Антенна задается двумя параметрами: диаметр (м) и коэффициент использования поверхности (КИП). При выполнении расчета автоматически вычисляются: усиление антенны по электрической оси (дБи) для заданного значения рабочей частоты и ширина диаграммы направленности (угл. мин.) по уровню половинной мощности.

Параметры передатчика задаются двумя параметрами: выходная мощность усилителя мощности (УМ), выраженная в Вт и потери в тракте передачи (от выходного фланца УМ до входа антенны).

Параметры приемника определяются следующим набором данных:

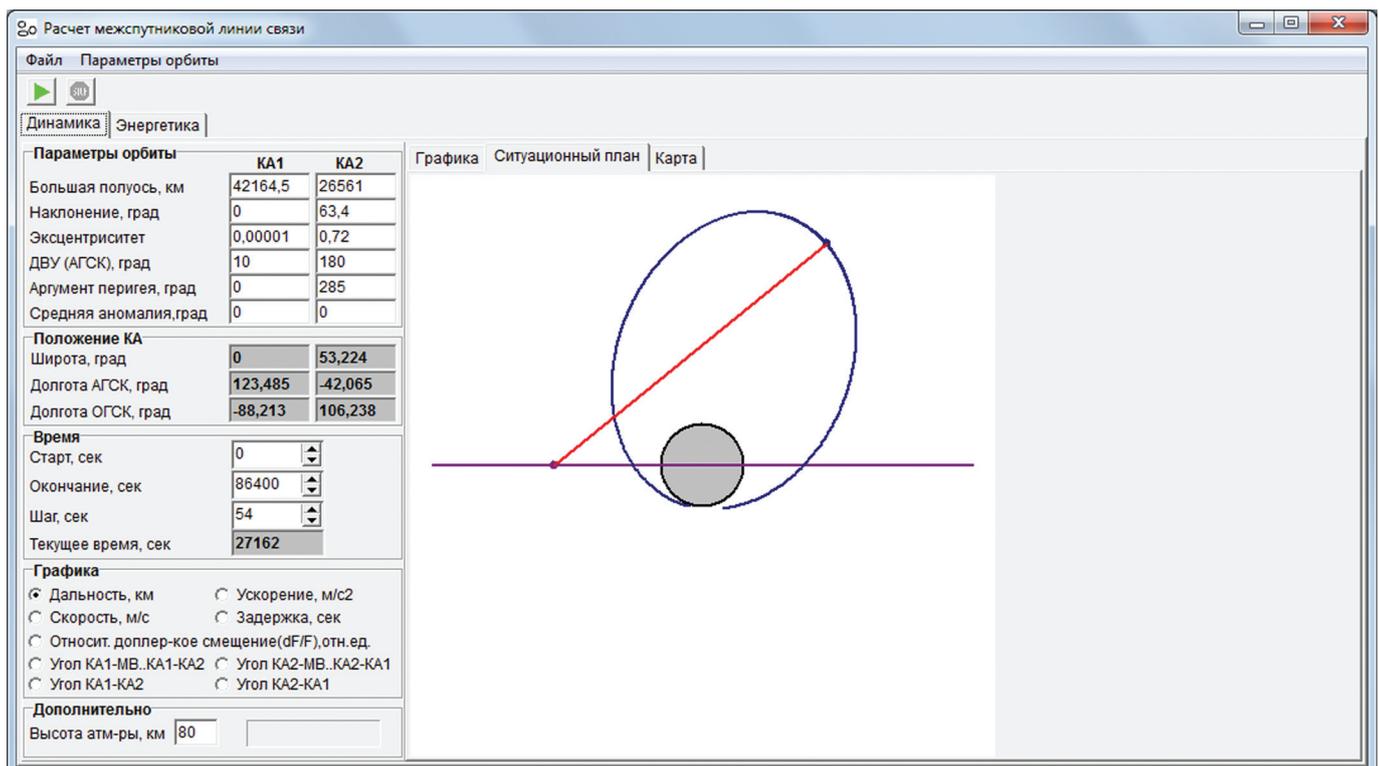


Рис. 2 Ситуационный план (КА на ГСО и орбите типа «Молния»)

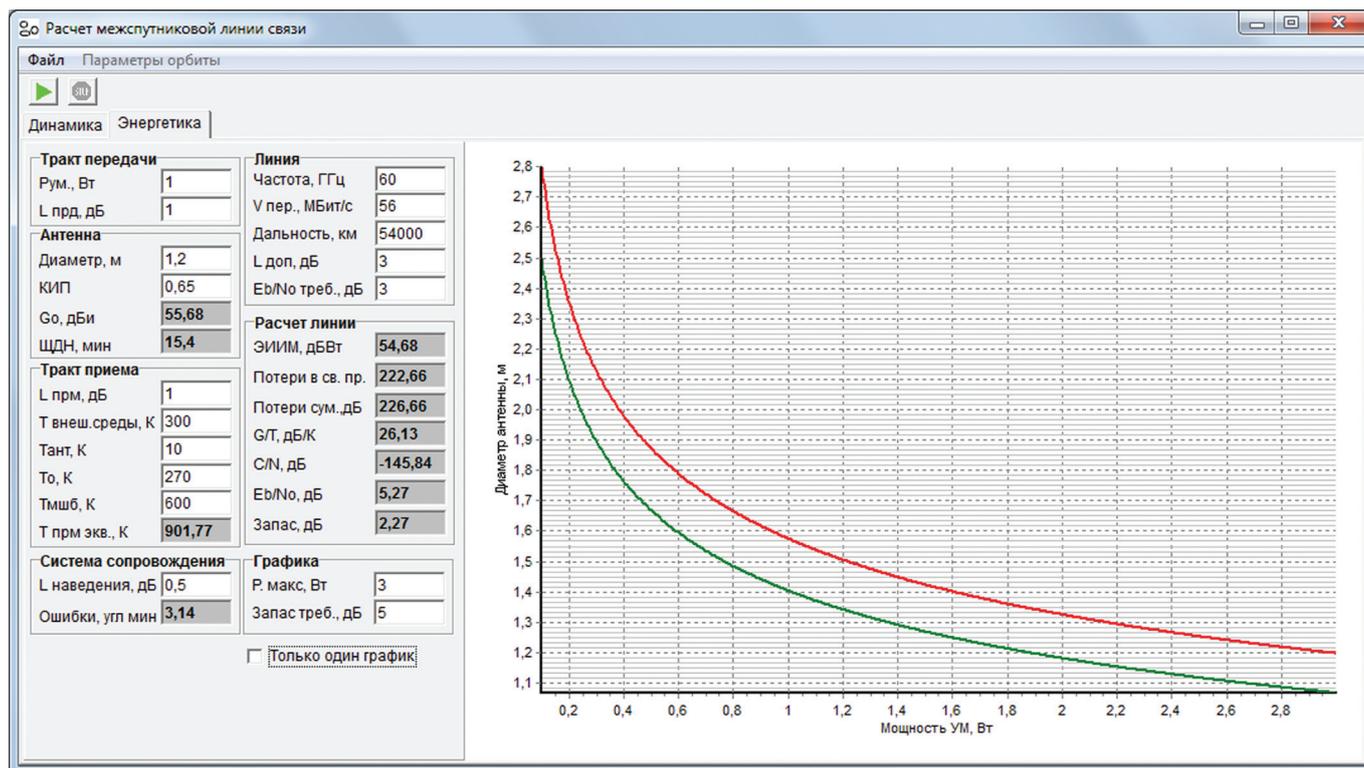


Рис.3 Расчет энергетики МЛС

- потери в тракте приема (от выхода антенны до входа малошумящего блока МШБ);
- суммарная эквивалентная шумовая температура среды для рабочего частоты МЛС (К);
- шумовая температура антенны (К);
- шумовая температура окружающей среды (К);
- шумовая температура малошумящего блока МШБ (К).

При выполнении расчета на основании указанных выше данных будут вычислены суммарная эквивалентная температура и добротность приемной системы МЛС.

В параметрах линии необходимо указать:

- рабочую частоту излучения, ГГц;
- информационную скорость передачи, Мбит/сек;
- максимальную дальность между КА, км (оценку этого параметра выполняют на закладке «Динамика»);
- дополнительные потери на линии, вводимые пользователем (например, учет деполяризации или др.);
- требуемое отношение сигнал/шум  $E_b/N_0$  (дБ), которое будет использовано при определении запаса на линии.

Система наведения и сопровождения задается обобщенным параметром – допустимые ошибки наведения (дБ), которые будут учтены при выполнении расчета (рис. 3).

Основные и промежуточные результаты расчета отображаются в разделе «Расчет линии». В том числе:

- ЭИИМ передатчика, дБВт;
- потери в свободном пространстве, дБ;
- суммарные потери на линии, включающие потери в свободном пространстве, дополнительные потери на линии и ошибки системы наведения КА1 и КА2;

- расчетное значение добротности приемной системы, дБ/К;
- расчетное значение отношения несущая/шум (C/N), дБ;
- расчетное значение отношения сигнал/шум ( $E_b/N_0$ ), дБ;
- расчетный запас на линии, дБ.

Кроме того, будет выдано требуемое значение угловой точности системы сопровождения (параметр «Ошибки, угл. мин.»).

Учитывая, что:

- требуемое значение  $E_b/N_0$  может быть обеспечено комбинацией параметров «Диаметр антенны» и «Мощность передатчика»;
  - увеличение диаметра антенны приводит к усложнению системы наведения;
  - повышение мощности передатчика приводит к увеличению потребляемой мощности МЛС,
- модуль позволяет построить кривую зависимости требуемого диаметра антенны в зависимости от мощности передатчика, при котором выполняется заданное отношение  $E_b/N_0$  и обеспечивается требуемый запас при введенных исходных данных.

В совокупности, модуль «Расчет МЛС» позволяет проектировщику оперативно найти оптимальное решение по техническим характеристикам оборудования МЛС, удовлетворяющим заданным требованиям к линии.

*Юрьев Роман Николаевич,  
заместитель начальника отдела*