

# Моделирование зоны обслуживания одновременно наблюдаемых спутников-ретрансляторов в интересах радиоконтроля

Б.В. Илларионов  
Д.С. Малиев, e-mail: dmaliev@mail.ru  
А.С. Парфенов

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

***Аннотация.** В интересах радиоконтроля систем спутниковой связи проведено моделирование зоны обслуживания одновременно наблюдаемых спутников-ретрансляторов, учитывающее влияние различных дестабилизирующих факторов на параметры тестовых сигналов при их распространении в свободном пространстве, что позволяет воспроизвести процессы обработки тестовых сигналов при реализации математических алгоритмов распознавания принадлежности сигналов линий спутниковой связи излучениям одновременно наблюдаемых спутников-ретрансляторов.*

***Ключевые слова:** радиоконтроль; спутниковая связь; тестовый сигнал.*

## **Введение.**

Целесообразность решения задачи распознавания принадлежности сигналов линий спутниковой связи (СС) излучениям одновременно наблюдаемым геостационарным спутникам-ретрансляторам (СР) способом диагностики трактов ретрансляции спутников связи с использованием специально сформированных тестовых сигналов (ТС) в интересах их радиоконтроля обусловлена большим количеством СР, размещенных на разных орбитах [1,2,3].

Решение задачи распознавания может быть проведено с использованием различий в значениях компонентов векторных параметров положения одновременно наблюдаемых СР  $\vec{P}_{a,b,c}$  [2,4].

В этой связи моделирование зоны обслуживания одновременно наблюдаемых СР, которое учитывает различные дестабилизирующие факторы на распространение радиоволн в свободном пространстве, в интересах радиоконтроля систем СС способом диагностики трактов ретрансляции создает предпосылки для реализации алгоритмов распознавания в имитационной модели, воспроизводящей процессы обработки ТС, и является актуальным.

# 1. Вербальная описательная модель.

В интересах радиоконтроля линий СС обычно рассматривается ствол ретрансляции одного спутника. Решение задачи распознавания принадлежности сигналов линий СС при одновременном наблюдении излучений двух СР с учетом априорной неопределенности о параметрах наблюдаемых трактов ретрансляции, пространственного положения СР и точки наблюдения, дрейфа геостационарного СР позволяет провести вербальную описательную модель трактов ретрансляции и обработки ТС при попарном одновременном наблюдении излучений двух СР, которая представлена на рис. 1 [1,5].

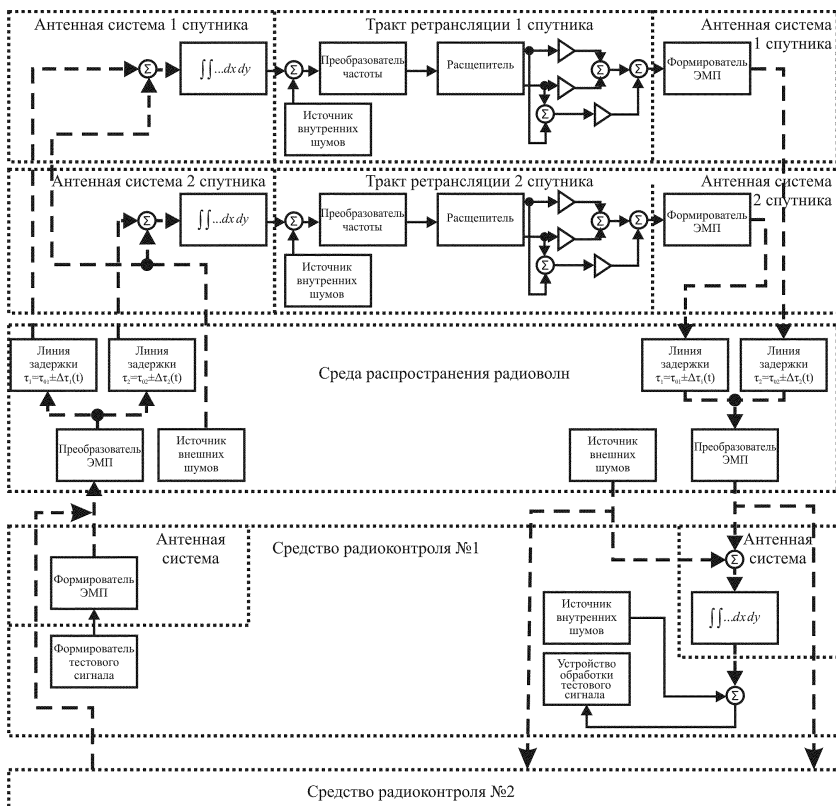


Рис. 1. Вербальная описательная модель трактов ретрансляции и обработки ТС при попарном одновременном наблюдении излучений двух СР

Вербальная модель, включающая в себя блоки оказывающие принципиальное влияние на распространение и обработку ТС с различных точек наблюдения на поверхности Земли, совместно с применением энергетического расчета тракта ретрансляции одного спутника позволяет проводить детерминированные и статистические расчеты в задаче распознавания линий СС применительно к процедурам анализа компонентов векторного параметра положения  $\bar{\Pi}_{a,b,c}$ .

## 2. Модель изменения частотно-временных параметров ТС.

Наличие дрейфа СР вокруг подспутниковой точки на геостационарной орбите обуславливает появление меняющейся дальности от точки наблюдения и доплеровского сдвига частоты ретранслированного ТС. В этой связи конкретизация вербальной описательной модели трактов ретрансляции и обработки ТС при попарном одновременном наблюдении излучений двух СР по оценке времени распространения сигналов  $\tau_3$ , вследствие меняющейся дальности от точки наблюдения до СР, и доплеровского сдвига частоты ретранслированных ТС  $f_o$ , обусловленного движением СР и его пространственным положением относительно точки наблюдения, проведена с использованием модели изменения частотно-временных параметров ТС при нестабильности орбиты контролируемого геостационарного СР [3,4].

Модель изменения частотно-временных параметров ТС разработана в рамках сферической тригонометрии применительно к условиям априорной неопределенности о виде фигуры дрейфа спутника в пространстве в виде множества сечений аксонометрических овалов Кассини, при различных скоростных режимах дрейфа спутника как производных от траектории движения спутника по времени и его положения относительно средства радиоконтроля в любой точке на поверхности Земли [3]:

$$\rho_{CP}^2 = c^2 \cos 2\varphi_{CP} + \sqrt{c^4 \cos 2\varphi_{CP} + (a^4 - c^4)}, \quad (1)$$

где  $\rho_{CP}$ ,  $\varphi_{CP}$  – координаты нахождения геостационарного СР;  $c$  – фокусное расстояние;  $a$  – произведение расстояний от фокусов до любой точки кривой.

Модель позволяет оценить величины задержек ТС  $\tau_3$ , прошедших различные тракты ретрансляции, как функции дальности, меняющейся в зависимости от характера дрейфа спутников, модули  $|f_o|$  и знаки

доплеровских сдвигов частот  $\downarrow f_o$  ТС, как функции скорости смещения СР по траектории дрейфа [4]:

$$\tau_3 = \frac{2}{c} \sqrt{d_0^2 + \rho_{CP}^2 - 2d_0\rho_{CP} \times \cos \left[ \varphi_{CP} - \arccos \left( \frac{H + R \xi^2 + d_0^2 - R \xi^2}{2d_0(H + R \xi)} \right) \right]} \cos \gamma_{CP}, \quad (2)$$

где  $d_0$  – расстояние от точки наблюдения до позиции геостационарного СР;  $\xi, \beta$  – географическая координаты точки наблюдения;  $R$  – радиус Земли;  $H$  – высота ГСО;  $\gamma_{CP}$  – угол вращения плоскости овала Кассини вокруг оси ОУ;  $c$  – скорость света;

$$f_d = \pm (2f_{TC} - \Delta f_R) \frac{d\varphi_{CP}}{dt} \left( \frac{\rho_{CP}^2 + L^2 - r^2}{2\rho_{CP}L} \right) \times \sin \left( \arccos \left( \frac{d_{CP}^2 + d^2 - L^2}{2d_{CP}d} \right) \right) + f_{TC} \left( \frac{d\varphi_{CP}}{dt} \left( \frac{\rho_{CP}^2 + L^2 - r^2}{2\rho_{CP}L} \right) \sin \left( \arccos \left( \frac{d_{CP}^2 + d^2 - L^2}{2d_{CP}d} \right) \right) \right)^2, \quad (3)$$

где  $f_{TC}$  – частота ТС;  $\Delta f_R$  – частотная подставка ствола ретрансляции;  $d\varphi_{CP}/dt$  – производная полярного угла, позволяющая определить мгновенную скорость движения спутника по трехмерной фигуре;  $d, r, L$  – расчетные значения расстояний, необходимых для определения углов, под которыми просматривается СР, движущийся по трехмерной фигуре.

### 3. Моделирование зоны обслуживания СР

Основная особенность линий спутниковой связи – наличие больших потерь сигнала, обусловленных затуханием его энергии на трассах большой физической протяженности. Так, для СР, размещенных на геостационарной орбите, затухание сигнала может достигать 200 дБ. Помимо основного затухания при распространении в пространстве, сигнал в линиях СС подвержен влиянию большого числа других факторов, таких как поглощение сигнала в газах атмосферы, фарадеевское вращение плоскости поляризации, рефракция, деполяризация и т.д. С другой стороны, на приемное устройство спутника кроме собственных шумов воздействуют разного рода помехи

в виде излучения космоса, Солнца и планет, а также мешающие радиосигналы от земных станций, не являющихся абонентами данной системы. Внешние факторы, учитываемые при моделировании, представлены на рис. 2.



Рис. 2. Учитываемые при моделировании внешние факторы воздействия

На основе полученной в модели изменения частотно-временных параметров ТС при нестабильности орбиты контролируемого геостационарного СР дальности от точки наблюдения до геостационарного спутника, движущегося по трехмерной фигуре дрейфа (2), и усиления ДН антенны СР производится расчет суммарного ослабления ТС  $L_{\Sigma}$ , характерного для распространения радиоволн на участках линий СС «вверх», «вниз», и учитывает поглощения энергии сигнала в атмосфере  $L_0 + L_a$ , потерь из-за рефракции  $L_{rf}$  и фазовых эффектов в атмосфере  $L_f$ , ослабления сигнала в условиях рассогласования поляризационных характеристик антенн  $L_p$ , деполяризации  $L_{dp}$  и при малых углах места  $L_{\beta}$ :

$$L_{\Sigma} = L_a + L_0 + L_{rf} + L_f + L_p + L_{dp} + L_{\beta}. \quad (4)$$

Учет суммарного ослабления ретранслированного ТС лежит в основе построения зоны обслуживания наблюдаемого СР, которая

задается координатами спутника на орбите и точкой прицеливания в центр зоны обслуживания и представляет из себя линии равного уровня формируемые на поверхности Земли с использованием эллиптичности аппроксимируемой ДН и геометрии взаимного положения спутника и точки прицеливания. Моделирование ситуаций одновременного наблюдения сигналов (излучений) пространственно-разнесенных СР обеспечивается посредством задания координат разнесенных центров зон обслуживания близко расположенных спутников, пересечения которых и характеризует эту возможность – рис. 3 (а – спутник №1; б – спутник №2; пунктирные линии – наложение зоны обслуживания спутника №2 (спутника №1) соответственно).

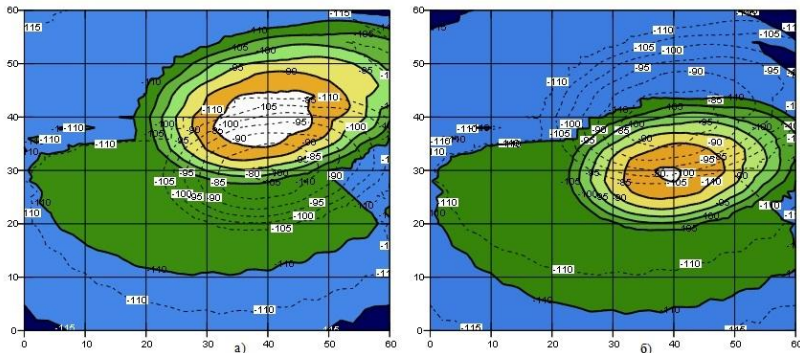


Рис. 3. Зоны обслуживания одновременно наблюдаемых СР

### Выводы

Энергетический расчет пересекающихся зон обслуживания пространственно-разнесенных СР, учитывающих влияние различных дестабилизирующих факторов на параметры ТС при их распространении на участках линий СС «вверх», «вниз» в свободном пространстве, позволяет воспроизвести процессы обработки ТС при реализации математических алгоритмов распознавания принадлежности сигналов линий СС излучениям одновременно наблюдаемых СР.

### Литература

1. Илларионов, Б.В. Оценка возможности распознавания излучений одновременно наблюдаемых спутников-ретрансляторов / Б.В. Илларионов, Д.С. Малиев // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – Вып. 659. – С.46–54.

2. Илларионов, Б.В. Характеристики распознавания излучений одновременно наблюдаемых спутников-ретрансляторов в условиях коррелированных помех / Б.В. Илларионов, Р.И. Буров, Д.С. Малиев // Радиотехника. – 2018. – № 8. – С. 48-51.

3. Илларионов, Б.В. Подход к распознаванию излучений одновременно наблюдаемых спутников - ретрансляторов на основе моделирования пространственного дрейфа / Б.В. Илларионов, Д.С. Малиев // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVII международной научно-методической конференции: в 5 т. / под ред. Н.А. Тюкачева, А.А. Крыловецкого, Воронеж, ВГУ, 9-10 февраля 2017 г. – Воронеж: Научно-исследовательские публикации. – 2017. – Т.3. – С. 89-95.

4. Малиев, Д.С. Моделирование частотно-временных параметров тестовых сигналов при нестабильности орбиты контролируемого геостационарного спутника-ретранслятора / Б.В. Илларионов, Д.С. Малиев, Д.А. Червань // Телекоммуникации. – 2020. – № 6. – С. 8-13.

5. Илларионов, Б.В. Модели распознавания сигналов линий спутниковой связи при одновременном наблюдении нескольких спутников-ретрансляторов / Б.В. Илларионов, Д.С. Малиев // Сб. научн. ст. по материалам V Всероссийской науч.-практ. конф. «Академические Жуковские чтения» (22-23 ноября 2017г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. – С. 146–152.