

УДК 502/504 (15)+621.739

С. В. КОЗЕЛКОВ, доктор техн. наук, профессор;

В. Ф. ФРОЛОВ, доктор техн. наук, профессор;

И. Н. СРИБНАЯ, канд. техн. наук, доцент;

Н. В. КОРШУН, канд. техн. наук, доцент,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

## Особенности адаптивной компенсации помех, образованных при прохождении радиосигнала через атмосферу

**Рассмотрена возможность адаптивной компенсации помех, образованных при прохождении радиосигнала через различные области атмосферы с учетом их физических состояний и параметров.**

**Ключевые слова:** аддитивные помехи; ионосфера; геостационарная орбита; адаптивная компенсация; спутник.

### Введение

Информация, поступающая со спутников в виде сигналов, особенно находящихся на геостационарной орбите, подвергается искажению и задержке. Это связано с прохождением сигнала через радиационные пояса, ионосферу, тропосферу, стратосферу. Вместе с тем, галактическое излучение, солнечные вспышки, потоки метеоритных частиц также влияют на качество этих сигналов. Искаженный сигнал и задержка его по времени дают неточную информацию для навигационных систем, что обуславливает появление ошибок, приводящих к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, возникает необходимость адаптивной компенсации помех для повышения точности навигационных сигналов.

### Основная часть

По характеру воздействия на отправляемые к потребителю сигналы со спутника различают помехи *аддитивные* и *мультипликативные* [4].

Аддитивные помехи представляют собой электрические возмущения, складывающиеся с основным сигналом. Эти помехи возникают вследствие активных естественных или искусственных электромагнитных комбинаций, образуясь при прохождении радиационных поясов, ионосферы и искажая форму и параметры (амплитуду, частоту, фазу) основного сигнала [1, 2].

Для анализа воздействия этих помех широко используется разработанный аппарат математической статистики гауссовских процессов. После прохождения узкополосного тракта приема со средней частотой  $\omega$  настройки такие помехи можно считать узкополосным случайным процессом:

$$U_{\Pi}(t) = X(t)\cos\omega t + Y(t)\sin\omega t \quad (1)$$

с нормальным законом распределения амплитуд квадратурных составляющих  $X(t)$  и  $Y(t)$  [4].

В настоящее время все более стремительно развиваются цифровые методы передачи информации, которые имеют существенные преимущества по сравнению с аналоговыми.

При использовании цифровых систем информации сообщение (кодированная комбинация) состоит из  $n$  элементов, в которых модулируемый параметр  $V_r$  может принимать  $q_0$  значений ( $q_0$  — основание кода). Эта кодированная комбинация включает в себя  $m$  информационных элементов и  $K$  избыточных, служащих для обнаружения или исправления возникающих ошибок.

Математически сигнал можно записать в виде

$$S(t, x, V_r) = \sum_{i=1}^m S_i(t, x, V_r), \quad (2)$$

где  $S_i(t, x, V_r) = S_i \exp\{-j\omega(t-T) - jV_r - j\phi\}$ ;  $x = [S, T, \phi]$  — вектор непрерывных параметров, определяемый амплитудой  $S$ , временем  $T$  запаздывания и фазой  $\phi$  сигнала;  $\omega$  — частота несущего колебания.

Ввиду того что сигнал от спутника, находящегося на геостационарной орбите, проходит через различные области (ионосферу, мезосферу, тропосферу, стратосферу), имеющие различные физические параметры (плотность, температуру, давление), искажение этого сигнала будет зависеть от конкретного физического состояния каждой из областей, а также от галактического и солнечного излучений, потоков метеоритных частиц. Таким образом, речь идет о многомерной динамической модели с постоянно меняющимися параметрами, а адаптивную компенсацию помех (искажений основного сигнала) необходимо рассчитывать отдельно при прохождении сигналом каждого слоя области атмосферы.

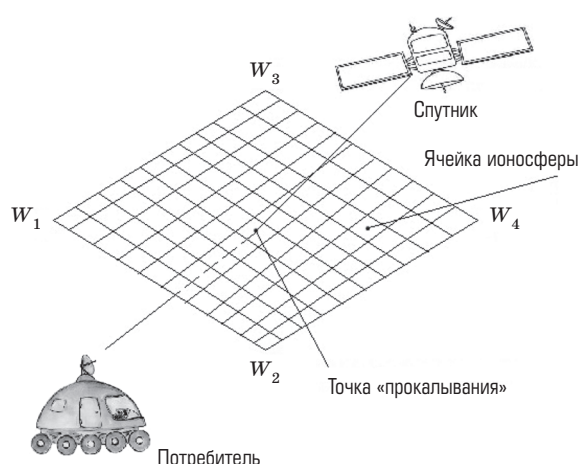
Рассмотрим далее расчет ионосферных поправок при прохождении сигнала через ионосферу. Чтобы оценить ионосферные коррекции, вызванные прохождением радиосигналов навигационных спутников через атмосферу, воспользуемся теорией «ячеек» ионосферы, применив для этого сеточно-точечную модель ионосферы [3].

Модель представляет собой тело вращения, имеющее форму эллипсоида, ограниченного поверхностью эллипсоида и поверхностью на устойчивой высоте над эллипсоидом. Модель разделена по долготе на девять (0...8) диапазонов и по широте на два (9, 10) диапазона. Диапазоны 0...8 и 9, 10 также разделены по долготе и широте через каждые  $5^\circ$ . Диапазоны 0...7 содержат по 201 точке, диапазон 8 — 200 точек, диапазоны 9 и 10 — по 192 точки, называемые точками «прокальвания» ионосферы. Для потребителя (наземной станции) передаются значения вертикальной задержки  $\tau_{vk}$  электромагнитного сигнала.

Пример формирования точки «прокальвания» изображен на рисунке.

Коэффициент отклонения сигнала со спутника при прохождении через ионосферу определяется соотношением

$$F_{pp} = \left[ 1 - \left( \frac{R_e \cos \Theta_i}{R_e + h_e} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (3)$$



### Формирование точки «прокальвания» ионосферы

где  $R_e$  — радиус Земли,  $R_e = 6378,1363$  км;  $\Theta_i$  — угол положения спутника;  $h_e$  — средняя высота ионосферы,  $h_e = 350$  км.

Если со спутника, находящегося на геостационарной орбите, информация передается для четырех углов ионосферы, то интерполированная оценка вертикальной ионосферной задержки  $\tau_{vpp}$ , обусловленная количеством точек интерполяции (четыре или три), равна:

$$\tau_{vpp} = \sum_{k=1}^4 W_k \tau_{vk}, \quad (4)$$

где коэффициенты  $W_k$  рассчитываются через координаты точек  $X_{pp}$ ,  $Y_{pp}$  по формулам:

$$\begin{aligned} W_1 &= X_{pp} Y_{pp}; \\ W_2 &= (1 - X_{pp}) Y_{pp}; \\ W_3 &= (1 - X_{pp})(1 - Y_{pp}); \\ W_4 &= X_{pp}(1 - Y_{pp}). \end{aligned} \quad (5)$$

Для ячейки ионосферы, расположенной между  $85^\circ$  северной и  $85^\circ$  южной широт, имеем:

$$X_{pp} = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}; \quad (6)$$

$$Y_{pp} = \frac{\varphi_{pp} - \varphi_1}{\varphi_2 - \varphi_1}, \quad (7)$$

где  $\lambda_{pp}$  и  $\varphi_{pp}$  — координаты соответственно долготы и широты местоположения потребителя.

Если со спутника информация передается для трех точек ячейки ионосферы, то значение  $\tau_{vpp}$  рассчитывается для точек,

которые расположены между  $75^\circ$  северной и  $75^\circ$  южной широт по формуле [4] для  $k = 1, 2, 3$ . При этом

$$\begin{aligned} W_1 &= Y_{pp}; \\ W_2 &= 1 - X_{pp} - Y_{pp}; \\ W_3 &= X_{pp}. \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь  $X_{pp}$  и  $Y_{pp}$  рассчитываются по формулам (6) и (7) с учетом того, что вторая точка ячейки ионосферы всегда имеет координаты  $\lambda_1$  и  $\varphi_1$ .

Известно, что на процессы ионизации ионосферы влияет солнечная активность [1; 2]. Значительный рост ионизации в этом слое обусловлен тем, что с увеличением уровня солнечной активности на высоте около 300 км заметно возрастают плотность и температура атмосферы. Это приводит к увеличению высоты слоя ионосферы и вызывает дополнительное повышение электронной концентрации, оцениваемой критической частотой радиозондирования, при которой прекращается отражение радиоволн от ионосферы.

### Выводы

Предложенная методика адаптивной компенсации помех, образованных при прохождении радиосигнала через ионосферу, может быть использована и для адаптивной компенсации помех, проходящих через другие области атмосферы. Зная среднюю высоту конкретной области, через которую проходит радиосигнал со спутника, а также физические параметры данной среды, возможно формирование «ячеек» этих областей с дальнейшим определением коэффициента отклонения, который будет являться начальным условием адаптивной компенсации выходного сигнала спутника.

Данная методика может быть использована для разработки алгоритмов адаптивной компенсации помех, образованных при прохождении радиосигнала через атмосферу от спутника до потребителя.

### Список использованной литературы

1. Козелков С. В., Фролов В. Ф., Кирпач Л. А. Аналіз впливу космічної погоди та космічного сміття на якість роботи телекомунікаційних систем // Зв'язок. 2017. Т. 129, № 5. С. 3–5.
2. Фролов В. Ф., Срібна І. М., Власенко Г. М. Вплив іоносфери на якість роботи супутникових навігаційних систем // ДУТ. 2017. № 5.
3. Бабак В. П., Конін В. В., Харченко В. П. Супутникова радіонавігація. Київ: Техніка, 2004. 328 с.
4. Адаптивна компенсація помех в каналах зв'язи / Ю. И. Лосев, А. Г. Бердников, Э. Ш. Гойхман, Б. Д. Сизов. М.: Радио и связь, 1988. С. 207.

**Рецензент:** доктор техн. наук, профессор **Е. С. Козелкова**, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

*С. В. Козелков, В. Ф. Фролов, І. М. Срібна, Н. В. Коршун*

### ОСОБЛИВОСТІ АДАПТИВНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ ЗАВАД, УТВОРЕНИХ ПІД ЧАС ПРОХОДЖЕННЯ РАДІОСИГНАЛУ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ

Розглянуто можливість адаптивної компенсації завад, які сформувалися під час проходження радіосигналу через різні області атмосфери з урахуванням їх фізичного стану та параметрів.

**Ключові слова:** адитивні завади; іоносфера; геостационарна орбіта; адаптивна компенсація; супутник.

*S. V. Kozelkov, V. F. Frolov, I. M. Sribna, N. V. Korshun*

### FEATURES OF ADAPTIVE COMPENSATION FOR INTERFERENCE GENERATED DURING PASSAGE OF RADIOSIGNAL THROUGH THE ATMOSPHERE

The article deals with the possibility of adaptive compensation for interference generated during passage of radiosignal through different atmospheric regions, taking into account their physical states and parameters.

**Keywords:** additive interference; ionosphere; geostationary orbit; adaptive compensation; satellite.