

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОВЫШЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СКРЫТНОСТЬЮ

ЧИПИГА А.Ф.,
ЛАПИНА М.А.,
ЛЯХОВ А.В.,
ПЕСКОВ М.В.

АННОТАЦИЯ

Обосновано условие выбора в системе спутниковой связи пониженной несущей частоты по требованиям к допустимой энергетической скрытности и вероятности ошибочного приема сигналов. В соответствии с этим условием разработана структурная схема системы спутниковой связи с адаптивными блоками выбора пониженной несущей частоты и параметров приемной антенны.

Ключевые слова: системы спутниковой связи; помехоустойчивость; энергетическая скрытность; пространственно-разнесенный прием сигнала; корреляция замираний.

CONSTRUCTION PRINCIPLE OF SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM WITH ADVANCED ENERGETIC CONCEALMENT

CHIPIGA A.F.,
LAPINA M.A.,
LJAKHOV A.V.,
PESKOV M.V.

ABSTRACT

The selection condition of low-frequency carrier used in a satellite communication system for requirements for allowable energetic concealment and the probability of erroneous reception is justified. Under this condition the structural scheme of a satellite communication system with adaptive blocks of low-frequency carrier selection and the parameters of the receiving antenna are developed.

Keywords: satellite communication systems; noise immunity; energetic concealment; split signal reception; fading correlation.

Известен [1] альтернативный метод защиты информации в системах спутниковой связи (ССС), обеспечивающий повышение энергетической скрытности при близком размещении приемника (ПРМ) радиоперехвата (РПХ).

Согласно [2], применение в ССС пониженной несущей частоты ($f_0 = 30 \dots 100$ МГц) и пространственно разнесенного приема сигналов на 2 антенны (т. е. сдвоенного приема) позволит обеспечить очень высокий коэффициент энергетической скрытности ($\gamma_{\Sigma} > 10 \dots 20$ дБ) при близком размещении ($R_p < 10$ км) ПРМ РПХ от приемника ССС. Суть данного способа повышения энергетической скрытности (ЭСк) ССС состоит в том, что понижение несущей частоты

($f_0 < 100$ МГц) приводит к рассеянию радиоволн на неоднородностях ионосферы и возникновению интерференционных замираний обобщенно-релеевского (т.е. райсовского) типа принимаемых сигналов, что обуславливает значительное снижение помехоустойчивости приема сигналов как в ПРМ ССС, так и в ПРМ РПХ. Однако использование в ПРМ ССС нескольких пространственно – разнесенных антенн обеспечивает значительную компенсацию негативного влияния замираний и существенное повышение помехоустойчивости [3]. Обеспечить последнее в ПРМ РПХ нельзя из-за жестких требований к массогабаритным показателям разведприемников и невозможности применения двух

разнесенных антенн.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что коэффициент энергетической скрытности ($\gamma_{эс}$) ССС будет возрастать по мере увеличения глубины замираний (т.е. приближения их к рэлеевскому типу) и уменьшения их корреляции в пространственно-разнесенных антеннах [4]. Однако коэффициенты глубины и пространственной корреляции замираний в трансionoсферном канале связи сильно зависят от параметров ионосферных неоднородностей. Поэтому задачи обоснованного выбора пониженной несущей частоты и пространственного разнеса антенн в ССС должны решаться на основе адаптации к результатам зондирования ионосферных неоднородностей. Для получения последних целесообразно использовать возможности двухчастотных приемников GPS / ГЛОНАСС, использующихся для измерения полного электронного содержания ионосферы (ПЭС) [5].

Целью статьи является обоснование и разработка принципа построения ССС с использованием адаптивных блоков выбора пониженной несущей частоты и пространственного разнеса приемных антенн по результатам зондирования параметров ионосферных неоднородностей с помощью двухчастотного приемника GPS/ГЛОНАСС.

Известно [2] приближенное аналитическое выражение для оценки коэффициента энергетической скрытности ($\gamma_{эс}$) ССС при использовании пониженной несущей частоты и сдвоенного ($n=2$) приема сигналов в зависимости от коэффициентов глубины замираний γ^2 (иначе – параметра Райса) и пространственной корреляции замираний на выходах разнесенных антенн (R):

$$\gamma_{эс} \approx \left(\frac{1-R^2}{3P_{\text{ош доп}}} \right)^{0,5} \exp\left(-\frac{\gamma^2 R}{1+R}\right) \Gamma^{-1}, \quad (1)$$

где Γ – энергетический (системный) запас ССС.

Анализ (1) показывает, что величина $\gamma_{эс}$ возрастает по мере увеличения глубины замираний ($\gamma^2 \rightarrow 0$), снижения их корреляции

в антеннах ($R \rightarrow 0$) и допустимой вероятности ошибки в ПРМ ССС ($P_{\text{ош доп}} \rightarrow 0$).

Входящие в (1) параметры замираний (γ^2, R) в трансionoсферном канале определяются величиной среднеквадратического отклонения (СКО) флуктуаций фазового фронта волны на выходе неоднородной ионосферы (σ_ϕ) согласно известным [2, 6] выражениям:

$$\gamma^2 = 1/[\exp(\sigma_\phi^2) - 1]; \quad (2)$$

$$R = \exp(-\Delta\rho_A^2/\Delta\rho_K^2) = \exp[-\Delta\rho_A^2\sigma_\phi^2(H_{\text{ИСЗ}} - h_1)^2/L_0^2H_{\text{ИСЗ}}^2]. \quad (3)$$

где $\Delta\rho_A$ – пространственный разнос антенн; $\Delta\rho_K = H_{\text{ИСЗ}}L_0/(H_{\text{ИСЗ}} - h_1)\sigma_\phi$ – интервал пространственной корреляции замираний в трансionoсферном канале связи (зависящий от высоты траектории ИСЗ относительно нижней границы ионосферы ($H_{\text{ИСЗ}} - h_1$), а также масштаба ионосферных неоднородностей L_0).

Величина σ_ϕ зависит от выбора несущей частоты (f_0) в ССС и параметров ионосферных неоднородностей как

$$\sigma_\phi = (80,8\pi/c)\sqrt{(L_0/\Delta h_u)\text{cosec}\alpha(\bar{N}_T\beta/f_0)}, \quad (4)$$

где β – интенсивность неоднородностей, \bar{N}_T – среднее значение ПЭС, Δh_u – толщина ионосферы, α – угол места.

Условие поддержания допустимого значения коэффициента корреляции замираний в ($R = R_{\text{доп}} = 0,7$) в разнесенных антеннах согласно (3) можно записать как

$$\begin{aligned} \Delta\rho_{A\text{доп}} &= \Delta\rho_K \sqrt{\ln R_{\text{доп}}^{-1}} = \Delta\rho_K \sqrt{\ln(0,7)^{-1}} \approx 0,71 \Delta\rho_K = \\ &= H_{\text{ИСЗ}}L_0/(H_{\text{ИСЗ}} - h_1)\sigma_\phi. \end{aligned} \quad (5)$$

С учетом выражения (1), а также зависимости (2,4) величины γ^2 от частоты f_0 при постоянстве допустимого значения коэффициента корреляции замираний в антеннах ($R = R_{\text{доп}} = 0,7$) условие обеспечения энергетической скрытности ССС не хуже допустимого значения $\gamma_{эс}(f_0) \geq \gamma_{эс\text{доп}}$ принимает вид

$$\gamma_{эс}(f_0) = \left(\frac{1-R_{\text{доп}}^2}{3P_{\text{ош доп}}} \right)^{0,5} \exp\left[-\frac{\gamma^2(f_0)R_{\text{доп}}}{1+R_{\text{доп}}}\right] \Gamma \geq \gamma_{эс\text{доп}}. \quad (6)$$

В соответствии с (6) условие обеспечения энергетической скрытности ССС не хуже допустимого значения $\gamma_{эс}(f_0) \geq \gamma_{эс доп}$ можно записать как

$$\gamma^2(f_0) = \frac{1}{\exp[\sigma_p^2(f_0) - 1]} \geq C_{эс}; \quad (7)$$

где
$$C_{эс} = \frac{1 + R_{эс}}{R_{эс}} \ln \left[\left(\frac{1 - R_{эс}}{3P_{эс доп}} \right)^{0.5} (\Gamma \gamma_{эс доп})^4 \right]. \quad (8)$$

Исходя из (8) условие выбора пониженной несущей частоты для обеспечения энергетической скрытности ССС принимает вид

$$f_0 \leq A \frac{\bar{N}_T \beta \sqrt{\operatorname{cosec} \alpha}}{\sigma_{эс}} = f_{0 доп}, \quad (9)$$

где A – постоянный коэффициент

$$A = (80,8\pi/c) \sqrt{(L_0/\Delta h_u)}, \quad (10)$$

а допустимое значение СКО флуктуаций фазового фронта волны на выходе неоднородной ионосферы определяется согласно (8) и зависит от требований к помехоустойчивости и энергетической скрытности ССС и корреляции замираний ($\gamma_{эс доп}, P_{эс доп}, R_{доп}$) как

$$\sigma_{ф доп} = \sqrt{\ln(C_{доп}^{-1} + 1)} = \psi(\gamma_{эс доп}, P_{эс доп}, R_{доп}). \quad (11)$$

В соответствии с условием выбора пониженной несущей частоты (8) и поддержания допустимой корреляции замираний в антеннах (5) для обеспечения требуемой энергетической скрытности и помехоустойчивости ССС ее структурная схема с адаптивными блоками выбора пониженной несущей частоты (БВПНЧ) и параметров приемной антенны (БВПА) будет иметь вид, показанный на рисунке 1.

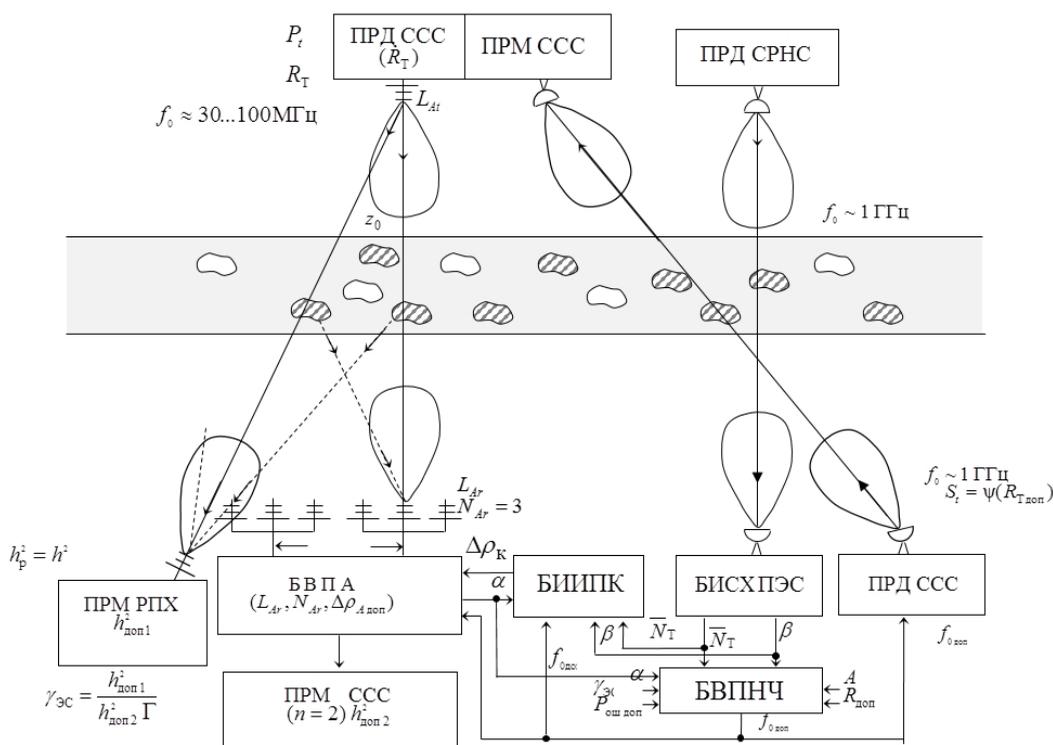


Рисунок 1 – Структурная схема ССС с адаптивными блоками выбора пониженной несущей частоты и параметров приемной антенны по результатам измерения ПЭС ионосферы с помощью СРНС

На рисунке показано, что блок выбора пониженной несущей частоты (БВПНЧ) адаптируется по результатам блок измерения статистических характеристик ПЭС (БИСХПЭС) с помощью СРНС. Адаптация блока

выбора параметров (разноса $\Delta\rho_A$) приемных антенн (БВПА) осуществляется с помощью блока измерения интервала пространственной корреляции (БИИПК) замираний.

Таким образом, обосновано условие (8) выбора в системе спутниковой связи пониженной несущей частоты по требованиям к допустимым значениям энергетической скрытности, вероятности ошибочного приема сигналов и корреляции замираний в антеннах. В соответствии с (8) и условием (5) поддержания допустимой корреляции замираний в антеннах разработана структурная схема ССС с адаптивными блоками выбора пониженной несущей частоты и параметров приемной антенны, приведенная на рисунке 1.

Список литературы

1. Чипига А.Ф., Пашинцев В.П. Повышение энергетической скрытности систем спутниковой связи при близком размещении приемника радиоперехвата // *Нелинейный мир*. – 2013. – Т. 11, № 9. – С. 659-671.
2. Цимбал В.А., Пашинцев В.П., Чипига А.Ф. Аналитическая зависимость энергетической скрытности спутниковой связи от выбора несущей частоты // *Труды 18 Международной научно-технической конференции «Радиолокация навигация связь»*, г. Воронеж 17-19 апреля 2012 г., – С. 2113-2120.
3. Чипига А.Ф., Сенокосова А.В. Способ обеспечения энергетической скрытности систем спутниковой связи // *Космические исследования*. – 2009. – Т. 47, № 5. – С. 428-433.
4. Чипига А.Ф., Сенокосова А.В. Защита информации в системах космической связи за счет изменения условий распространения радиоволн // *Космические исследования*. – 2007. – Т. 45, № 1. – С. 59-66.
5. Пашинцев В.П., Коваль С.А., Стрекозов В.И., Бессмертный М.Ю. Обнаружение искусственных ионосферных неоднородностей с помощью спутниковых радионавигационных систем // *Теория и техника радиосвязи*. – 2013. – №1. – С. 112-117.
6. Чипига А. Ф., Дагаев Э. Х. Оценка интервала пространственной корреляции замираний в трансionoсферном канале связи // *Теория и техника радиосвязи*. – 2013. – №1. – С. 112-117.
7. Пашинцев В.П., Чипига А.Ф., Лапина М.А., Малсугенов О.В., Хохлов И.Е. Применение метода вращений для оценки помехоустойчивости разнесенного приема сигналов. – Ставрополь, Современная наука и инновации. – №1. – 2013.
8. Пашинцев В.П., Чипига А.Ф., Лапина М.А., Хохлов И.Е. Алгоритм расчета вероятности ошибки в радиоканалах с замираниями с помощью метода вращений. – Ставрополь, Вестник СКФУ. – 2013 – №2.
9. Чипига А.Ф., Киселев Д.П., Меденец В.В., Песков М.В. Мощность шума на входе приемника спутниковой связи, использующего пониженную несущую частоту // *Научно-практический журнал «Приволжский научный вестник»*. – 2013 – № 7 (23). С 62-64.
10. Чипига А.Ф., Киселев Д.П., Меденец В.В., Песков М.В. Обоснование значений параметров технических средств систем спутниковой связи, работающих на пониженных частотах // VII Международная заочная научно-практическая конференция «Естественные и математические науки в современном мире», г. Новосибирск, 4-9 июля 2013 г. – Новосибирск, 2013. – С 29-34.