

УДК 621.371.3: 621.396.96

**А.Ф. Чипига**

### **АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СКРЫТНОСТИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ОТ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ**

*Показано, что при использовании в системах спутниковой связи (ССС) традиционно-го диапазона несущих частот допустимое отношение сигнал/шум (С/Ш) на входе приемника (ПРМ) ССС составляет 13 дБ. Поэтому условие обеспечения энергетической скрытности ССС не выполняется. Если в ССС использовать пониженные частоты от 60 до 80 МГц, обуславливающие возникновение замираний принимаемого сигнала рэлеевского типа, и схему пространственно-разнесенного приема на четыре антенны, то допустимое отношение С/Ш на входе ПРМ ССС составляет 16 дБ. При этом допустимое значение отношения С/Ш на входе ПРМ обнаружения при отсутствии замираний составляет 30 дБ. Поэтому коэффициент энергетической скрытности составляет 14 дБ, т.е. условие обеспечения энергетической скрытности ССС выполняется. Таким образом, если в ССС использовать пониженные несущие частоты от 60 до 80 МГц, обуславливающие рэлеевские замирания принимаемых сигналов, и пространственно-разнесенный прием на четыре антенны, то можно обеспечить достижение высокой энергетической скрытности ССС при близком размещении приемника обнаружения сигнала сигналов.*

*Спутниковая связь; пониженная частота; разнесенный прием; энергетическая скрытность; обнаружение сигналов; поглощение в ионосфере.*

**A.F. Chipiga**

### **STEALTH ENERGY ANALYSIS OF LOW FREQUENCY SYSTEM OF SATELLITE COMMUNICATIONS FROM SIGNAL DETECTION**

*It is shown that when used in a range of traditional SCS carriers allowable signal / noise ratio (S / N) at the receiver input of the SCS is 13 dB. Therefore, the condition of ensuring the energy stealth SCS is not satisfied. If the use of lower frequencies SCS 60 to 80 MHz, causing the occurrence of the Rayleigh fading of the received signal type and the spatial diversity by receiving antennas is 4, the acceptable S / N ratio at the receiver input of SCS is 16 dB. In this case the allowable value of the ratio S / N at the input PRM detection in the absence of fading is 30 dB. Therefore, the energy ratio is 14 dB secrecy, ie, the condition of ensuring the energy stealth SCS running. Thus, if the use of lower SCS carrier frequencies from 60 to 80 MHz, causing the Rayleigh fading of the received signals and spatial-diversity reception by the antenna 4, it is possible to achieve high energy stealth SCS receiver placed at a close signal detection signal.*

*Satellite communications; reduced frequency; diversity reception; energy stealth; signal detection; absorption in the ionosphere.*

Известна [1–3] проблема повышения помехозащищенности систем радиосвязи (СРС), функционирующих в условиях радио- и радиотехнической разведки (РРТР) и радиоэлектронного противодействия. Определяется помехозащищенность СРС помехоустойчивостью (ПУ) и скрытностью.

Количественным показателем ПУ цифровых СРС является вероятность ошибки ( $P_{\text{ош}}$ ) при приеме информационных символов или связанное с ней известной функциональной зависимостью  $P_{\text{ош}} = \psi(h^2)$  отношение  $h^2 = E_r / N_0$  энергии сигнала на входе приемника (ПРМ) к спектральной плотности мощности шума:  $h^2 = \psi^{-1}(P_{\text{ош}})$ .

Выбор количественного показателя скрытности СРС зависит от назначения системы РРТР [1, 2]: обнаружение сигналов; радиоперехват; измерение параметров; 4) пеленгация направления прихода сигналов. Для количественной оценки

энергетической скрытности СРС при решении системой РРТР задачи радиоперехвата сообщений (сигналов) используется показатель вероятности ошибки при приеме сигнала СРС приемником радиоперехвата  $P_{\text{ошр}} = \psi(h_p^2)$  при заданном отношении энергии сигнала на входе разведприемника к спектральной плотности мощности шума  $h_p^2 = E_{r,p}/N_0$ , или показатель энергетического отношения сигнал/шум (С/Ш) на входе ПРМ радиоперехвата  $h_p^2 = \psi^{-1}(P_{\text{ошр}})$  при заданной  $P_{\text{ошр}}$  [2, 4]. Согласно [4] в качестве показателя энергетической скрытности СРС выбирают отношение  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{допр}}^2/h_p^2$  допустимого (необходимого) отношения С/Ш на входе ПРМ радиоперехвата ( $h_{\text{допр}}^2$ ) к фактическому ( $h_p^2$ ). Величина  $h_{\text{допр}}^2$  определяется по функциональной зависимости  $P_{\text{ошр}} = \psi(h_p^2)$  вероятности ошибки от отношения С/Ш на входе ПРМ радиоперехвата при вероятности ошибки, равной допустимому значению  $P_{\text{ошр}} = P_{\text{ошр допр}}$ .

Условием обеспечения энергетической скрытности ССС при решении системой РРТР задачи радиоперехвата ( $h_p^2 < h_{\text{допр}}^2$ ) является снижение фактически достижимого на входе ПРМ радиоперехвата энергетического отношения С/Ш  $h_p^2$  по сравнению с допустимым значением  $h_{\text{допр}}^2$ , или обеспечение коэффициента энергетической скрытности  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{допр}}^2/h_p^2 > 1$ .

Представляется очевидным, что для систем спутниковой связи (ССС) выполнение условия обеспечения ПУ (т. е. реализация фактического отношения С/Ш на входе ПРМ не ниже допустимого значения  $h^2 \geq h_{\text{доп}}^2$ ) и энергетической скрытности  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{допр}}^2/h_p^2 > 1$  сложнее всего реализовать в случае, когда ПРМ радиоперехвата расположен на близком (меньше 10 км) расстоянии от ПРМ ССС.

Известен [5] способ обеспечения высокой энергетической скрытности ССС (т.е.  $\gamma_{\text{эс}} \gg 1$ ) при близком размещении приемника радиоразведки, предназначенного для решения задачи радиоперехвата, за счет понижения несущей частоты до  $f_0 = 60 \dots 80$  МГц и применения пространственно-разнесенного приема на несколько (четыре и более) антенн ( $n \geq 4$ ). Реализация данного способа при использовании четырех антенн ( $n = 4$ ) обеспечивает возможность повышения коэффициента энергетической скрытности низкочастотной ССС до величины  $\gamma_{\text{эс}} = 34$  дБ.

Однако в системе РРТР задача радиоперехвата сообщений обычно решается на втором этапе, т. е. после обнаружения факта наличия (прихода) сигнала на входе ПРМ разведки.

Для количественной оценки энергетической скрытности СРС при решении системой РРТР задачи обнаружения сигналов используется такой показатель, как вероятность правильного обнаружения  $P_{\text{по}} = \psi(h_p^2, P_{\text{лт}})$  при заданных энергетическом отношении С/Ш на входе ПРМ разведки ( $h_p^2$ ) и вероятности ложной тревоги ( $P_{\text{лт}}$ ) [1–3]. Кроме показателя  $P_{\text{по}} = \psi(h_p^2, P_{\text{лт}})$  часто используется энергетический

показатель: отношение С/Ш на входе ПРМ обнаружения  $h_p^2 = \psi^{-1}(P_{\text{по}}, P_{\text{лт}})$  при заданной вероятности правильного обнаружения сигнала  $P_{\text{по}}$  и вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  [2, 4].

Условием обеспечения энергетической скрытности ССС при решении системной разведки задачи обнаружения сигнала является непревышение  $h_p^2 < h_{\text{доп р}}^2$  достижимого на входе ПРМ обнаружения энергетического отношения С/Ш  $h_p^2$  над допустимым значением  $h_{\text{доп р}}^2$ , или обеспечение коэффициента энергетической скрытности  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{доп р}}^2 / h_p^2 > 1$  [6]. В отличие от задачи радиоперехвата, здесь величина  $h_{\text{доп р}}^2$  определяется по функциональной зависимости  $P_{\text{по}} = \psi(h_p^2, P_{\text{лт}})$  вероятности правильного обнаружения сигнала от отношения С/Ш на входе ПРМ обнаружения при допустимых значениях вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{по}} = P_{\text{подп}}$  и ложной тревоги  $P_{\text{лт}} = P_{\text{лт доп}}$ .

Цель статьи состоит в обосновании способа обеспечения энергетической скрытности ССС (т.е.  $\gamma_{\text{эс}} > 1$ ) при близком размещении приемника обнаружения сигнала за счет понижения несущей частоты до  $f_0 = 60 \dots 80$  МГц и применения пространственно-разнесенного приема на четыре антенны ( $n = 4$ ).

Модель размещения радиосредств ССС и близко (менее 10 км) расположенного ПРМ радиоперехвата (РПХ), а также способ обеспечения скрытности ССС за счет понижения несущей частоты (до  $f_0 = 30 \dots 100$  МГц) и применения пространственно-разнесенного приема (на  $n = 4$  антенны) иллюстрируется на рис. 1.

Теоретическую основу для реализации указанного способа составляют следующие закономерности изменения условий распространения радиоволн (РРВ) и модели транссионосферного канала связи (КС) [5, 7–9].

При РРВ с пониженной частотой (до  $f_0 = 30 \dots 100$  МГц) через ионосферу, в которой всегда присутствуют флуктуации ( $\Delta N_i$ ) электронной концентрации (ЭК)  $N_i = \langle N \rangle + \Delta N_i$  относительно их среднего значения ( $\langle N \rangle = \bar{N}$ ), к ПРМ ССС приходит множество ( $i = 1 \dots M$ ) рассеянных неоднородностями ( $\Delta N_i$ ) лучей с относительными фазовыми сдвигами  $\Delta \varphi_i \sim \Delta N_i / f_0$  [7, 8]. Значения  $\Delta \varphi_i$  определяют условия возникновения быстрых замираний (БЗ) райсовского типа ( $0 < \Delta \varphi_i \ll 2\pi$ ) или рэлеевского ( $\Delta \varphi_i \gg 2\pi$ ).

При традиционно используемых в ССС несущих частотах  $f_0 = 1 \dots 10$  ГГц относительные фазовые сдвиги лучей отсутствуют (так как  $\Delta \varphi_i \sim \Delta N_i / f_0 = 0$ ) и поэтому интерференционные быстрые замирания (БЗ) не возникают. Поэтому параметр Райса, характеризующий отношение мощностей регулярной и флуктуационной составляющих принимаемого сигнала, равен  $\gamma^2 = P_p^2 / P_{\text{фл}}^2 = \infty$ . По мере понижения несущей частоты до  $f_0 = 80 \dots 60$  МГц относительные фазовые сдвиги

лучей  $\Delta\varphi_i \sim \Delta N_i / f_0$ , приходящих в точку приема, возрастают до значений  $\Delta\varphi_i \gg 2\pi$  и параметр Райса уменьшается до  $\gamma^2 = P_p^2 / P_{\text{фл}}^2 = 0$ , что соответствует наибольшей глубине БЗ принимаемых сигналов.

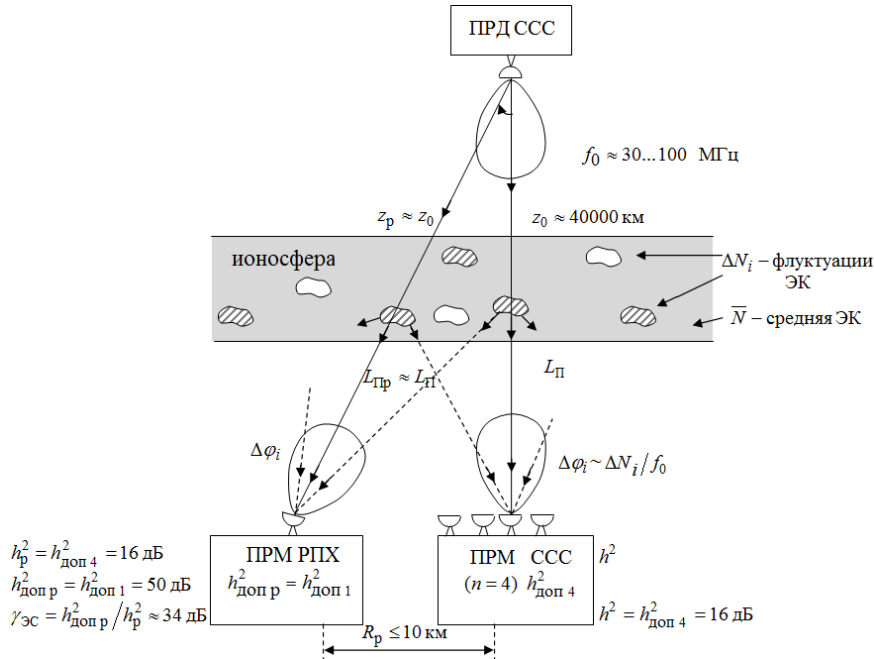


Рис. 1. Способ обеспечения скрытности ССС при близком размещении приемника радиоперехвата за счет применения пониженной частоты разнесенного приема на четыре антенны

Анализ возможности обеспечения в ССС требуемой ПУ при использовании пониженной несущей частоты и пространственно разнесенного приема сигналов показывает следующее [5, 7–9]:

1) при использовании в ССС традиционного диапазона несущих частот  $f_0 = 1...10$  ГГц трансionoсферный канал связи описывается моделью с полностью известными параметрами, поскольку в нем отсутствует многолучевость и быстрые замирания ( $\Delta\varphi_i \sim \Delta N_i / f_0 = 0$ ,  $\gamma^2 = P_p^2 / P_{\text{фл}}^2 = \infty$ ). Для такой модели канала связи и, например, некогерентной (НК) схемы обработки ортогональных сигналов функциональная зависимость  $\psi$  и значение  $h_{\text{доп}}^2$  при  $P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$  имеют вид:

$$P_{\text{ош}} = \psi(h^2) = 0,5 \exp(-0,5h^2), \quad (1)$$

$$h_{\text{доп}}^2 = -2 \ln(2P_{\text{ош доп}}) \approx 13 \text{ дБ}; \quad (2)$$

2) если в ССС использовать пониженные несущие частоты в диапазоне  $f_0 = 30...100$  МГц, то процесс РРВ сопровождается многолучевостью ( $\Delta\varphi_i \sim \Delta N_i / f_0 > 0$ ) и интерференционными быстрыми замираниями принимаемых сигналов. Для частот  $f_0 = 60...80$  МГц, обеспечивающих выполнение усло-

вия  $\Delta\varphi_i \sim \Delta N_i / f_0 \gg 2\pi$ , трансноосферный КС описывается моделью с рэлеевскими замираниями (РлЗ), характеризуемыми  $\gamma^2 = P_p^2 / P_{\text{фл}}^2 = 0$ . В этом случае при использовании той же НК схемы обработки ортогональных сигналов существенно изменятся по сравнению с (1, 2) как функциональная зависимость ( $\psi_1$ ) между  $P_{\text{ош}}$  и  $h^2$ , так и значение  $h_{\text{доп}}^2$ :

$$P_{\text{ош}} = \psi_1(h^2) = 1/(2 + h^2) \approx 1/h^2, \quad (3)$$

$$h_{\text{допБЗ}}^2 = P_{\text{ошдоп}}^{-1} - 2 \approx P_{\text{ошдоп}}^{-1} \approx 50 \text{ дБ}; \quad (4)$$

3) Если в ССС использовать пониженные частоты  $f_0 = 60 \dots 80$  МГц, обуславливающие возникновение замираний принимаемого сигнала рэлеевского типа ( $\Delta\varphi_i \sim \Delta N_i / f_0 \gg 2\pi$ ;  $\gamma^2 = P_p^2 / P_{\text{фл}}^2 = 0$ ) и схему пространственно-разнесенного приема на несколько ( $n$ ) антенн, то произойдет существенное изменение по сравнению с (3, 4) как функциональной зависимости ( $\psi_2$ ) между  $P_{\text{ош}}$  и  $h^2$ , так и значения  $h_{\text{доп}}^2$ :

$$P_{\text{ош}} = \psi_2(h^2) = C_{2n-1}^n / (h^2)^n, \quad (5)$$

$$h_{\text{доп}n}^2 = (C_{2n-1}^n P_{\text{ош}}^{-1})^{1/n} \approx 16 \text{ дБ (при } n = 4). \quad (6)$$

Отметим, что при использовании одиночного приема ( $n = 1$ ) выражения (5, 6) сводятся к виду (3), (4).

Сравнительный анализ выражений (1), (3) и (5) и построенных по ним графиков зависимостей  $P_{\text{ош}} = \psi_i(h^2)$  на рис. 2 показывает, что при использовании в ССС пониженных частот  $f_0 = 60 \dots 80$  МГц и появлении РлЗ принимаемых сигналов для достижения  $P_{\text{ошдоп}} = 10^{-5}$  в ПРМ РПХ со схемой НК обработки (и одиночной ( $n = 1$ ) антенной) потребуется обеспечить входное отношение С/Ш  $h_{\text{доп}1}^2 = h_{\text{допБЗ}}^2 \approx 50$  дБ, а в ПРМ ССС со схемой некогерентной обработки и пространственно-разнесенного приема на  $n = 4$  антенны – всего  $h_{\text{доп}4}^2 \approx 16$  дБ.

Таким образом, при использовании в ССС пониженных частот  $f_0 = 60 \dots 80$  МГц и появлении РлЗ (рэлеевские замирания) принимаемых сигналов для достижения  $P_{\text{ошдоп}} = 10^{-5}$  в ПРМ ССС со схемой НК обработки и использованием  $n = 4$  разнесенных антенн потребуется обеспечить входное отношение С/Ш всего  $h_{\text{доп}4}^2 \approx 16$  дБ и условие обеспечения ПУ принимает вид  $h^2 \geq h_{\text{доп}4}^2 \approx 16$  дБ.

Теперь проанализируем с помощью рис. 1 выполнение условия обеспечения энергетической скрытности ССС ( $h_p^2 < h_{\text{доп}p}^2$ , или  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{доп}p}^2 / h_p^2 > 1$ ) при решении системой разведки задачи обнаружения сигнала, когда вместо ПРМ РПХ используется ПРМ обнаружения сигналов.

Согласно рис. 1 при близком размещении приемников разведки и ССС (на расстоянии  $R_p \leq 10$  км) фактическое отношение С/Ш на входе ПРМ обнаружения  $h_p^2$  будет практически таким же, как на входе ПРМ ССС,  $h_p^2 \approx h^2 = h_{\text{доп}4}^2 \approx 16$  дБ.

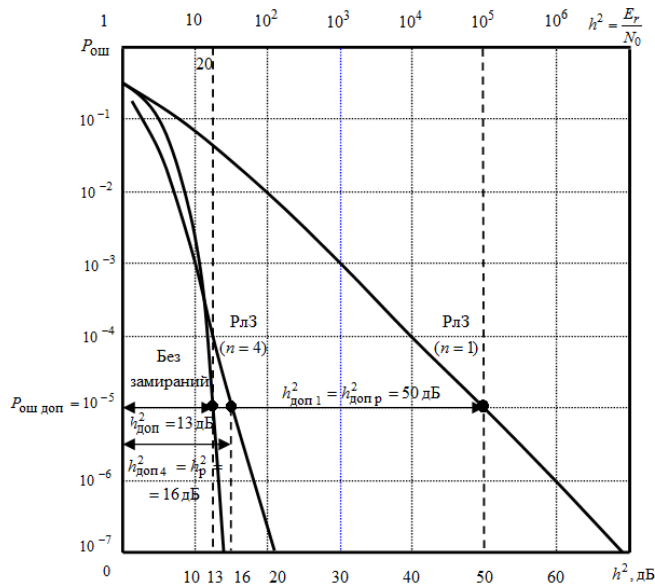


Рис. 2. Зависимости  $P_{\text{ош}} = \psi_i(h^2)$  для некогерентной обработки сигналов без замираний и с релеевскими замираниями (РлЗ) при одиночном и разнесенном приеме на  $n = 4$  антенны

Напомним, что величина  $h_{\text{доп}}^2$  определяется по функциональной зависимости  $P_{\text{по}} = \psi(h_r^2, P_{\text{лт}})$  вероятности правильного обнаружения сигнала от отношения С/Ш на входе ПРМ обнаружения при допустимых значениях вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{по}} = P_{\text{подоп}}$  и ложной тревоги  $P_{\text{лт}} = P_{\text{лтдоп}}$ .

Будем считать, что в ПРМ обнаружения используется схема не автокорреляционного (энергетического) приема, а оптимальной некогерентной обработки сигналов.

Известна [10] зависимость вероятности правильного обнаружения сигналов со случайной начальной фазой (т.е. без замираний,  $\gamma^2 = \infty$ ) оптимальной некогерентной схемой обработки на фоне гауссовских шумов:

$$P_{\text{по}} = Q(g, h_0) = Q\left[(2h^2)^{1/2}, \sqrt{2\ln(1/P_{\text{лт}})}\right], \tag{7}$$

где

$$Q(y, x) = \int_x^\infty p \exp\left(-\frac{p^2 + y^2}{2}\right) I_0(y p) dp \tag{8}$$

– функция Маркума;  $g = \sqrt{2E_r/N_0} = \sqrt{2h^2}$  – амплитуда сигнала на выходе оптимальной схемы обработки, определяемая отношением  $h^2 = E_r/N_0$  энергии принимаемого (входного) сигнала  $E_r$  к спектральной плотности мощности шума  $N_0$ ;  $h_0 = (2\ln(1/P_{\text{лт}}))^{1/2}$  – нормированное значение порога обнаружения, определяемое вероятностью ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$ .

Вероятность правильного обнаружения оптимальной НК схемой обработки сигналов со случайной начальной фазой и амплитудой, распределенной по релевскому закону (т.е.  $\gamma^2 = 0$ ), описывается выражением [10]:

$$P_{\text{по}} = Q(0, h_{01}) = \exp(-0,5 h_{01}^2) = P_{\text{лт}} \frac{1}{(1+E_r/N_0)} = P_{\text{лт}} \frac{1}{(1+h^2)}, \quad (9)$$

где  $g = 0$ ;  $h_{01} = h_0 / (1 + h^2)^{1/2}$ ;  $h^2 = E_r / N_0$ .

Графики зависимости  $P_{\text{по}} = \psi(h^2, P_{\text{лт}})$ , построенные согласно выражениям (7) и (9) для допустимой вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт доп}} = 10^{-4}$  приведены на рис. 3.

Анализ этих графиков показывает, что при высоких требованиях к вероятности правильного обнаружения сигналов  $P_{\text{по}} = P_{\text{по доп}} = 0,99$  допустимое отношение С/Ш на входе ПРМ обнаружения должно достигать величины  $h_{\text{доп}}^2 \approx 20$  (т.е. 13 дБ) при отсутствии замираний ( $\gamma^2 = \infty$ ) и  $h_{\text{доп}}^2 \approx 10^3$  (т.е. 30 дБ) при наличии релевских замираний ( $\gamma^2 = 0$ ) принимаемых сигналов.

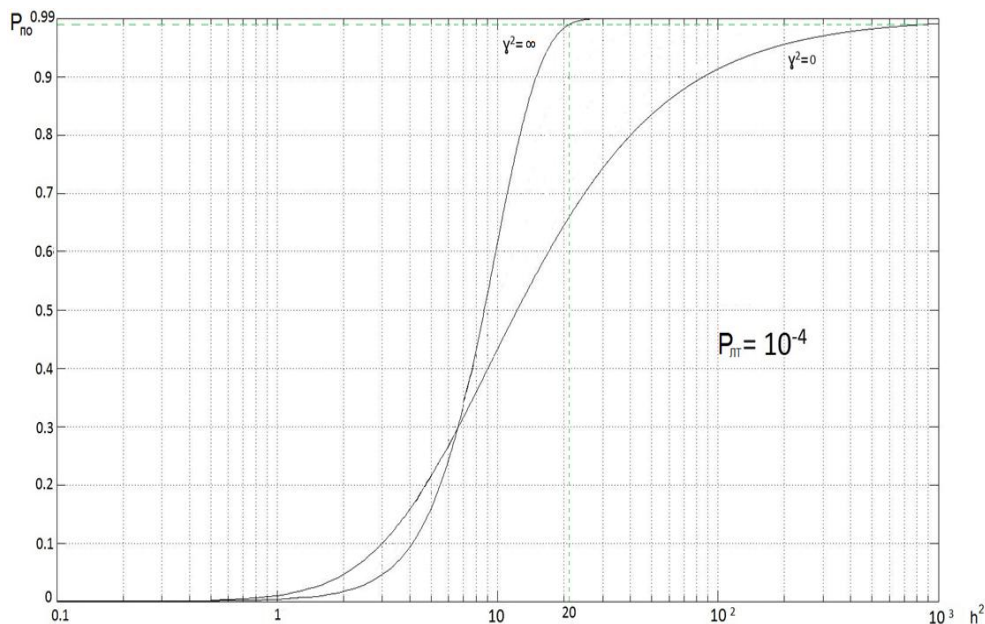


Рис. 3. Вероятности правильного обнаружения сигналов при отсутствии замираний и релевских замираниях принимаемого сигнала

Это позволяет сделать следующие выводы:

1) при использовании в ССС традиционного диапазона несущих частот  $f_0 = 1 \dots 10$  ГГц, когда трансферный канал связи описывается моделью без замираний ( $\gamma^2 = \infty$ ), допустимое отношение С/Ш на входе ПРМ ССС согласно (2) составляет  $h_{\text{доп}}^2 \approx 13$  дБ. Поэтому при близком размещении ПРМ разведки (обнаружения сигналов) на его входе обеспечивается почти такое же фактическое отношение С/Ш  $h_p^2 = h_{\text{доп}}^2 \approx 13$  дБ. При этом допустимое значение отношения

С/Ш на входе ПРМ обнаружения (для обеспечения  $P_{\text{по доп}} = 0,99$ ;  $P_{\text{лт доп}} = 10^{-4}$ ) при отсутствии замираний составляет  $h_{\text{допр}}^2 \approx 20$  (т.е. 13 дБ). Поэтому коэффициент энергетической скрытности составляет  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{допр}}^2 / h_{\text{р}}^2 \approx 1$ , т.е. условие обеспечения энергетической скрытности ССС ( $h_{\text{р}}^2 < h_{\text{доп р}}^2$ , или  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{допр}}^2 / h_{\text{р}}^2 > 1$ ) не выполняется.

2) если в ССС использовать пониженные частоты  $f_0 = 60 \dots 80$  МГц, обуславливающие возникновение замираний принимаемого сигнала рэлеевского типа ( $\gamma^2 = 0$ ), и схему пространственно-разнесенного приема на  $n=4$  антенны, то согласно (6) допустимое отношение С/Ш на входе ПРМ ССС составляет  $h_{\text{доп4}}^2 \approx 16$  дБ. Поэтому при близком размещении ПРМ разведки (обнаружения сигналов) на его входе обеспечивается почти такое же фактическое отношение С/Ш:  $h_{\text{р}}^2 = h_{\text{доп}}^2 \approx 16$  дБ. При этом допустимое значение отношения С/Ш на входе ПРМ обнаружения (для обеспечения  $P_{\text{по доп}} = 0,99$ ;  $P_{\text{лт доп}} = 10^{-4}$ ) при отсутствии замираний составляет  $h_{\text{допр}}^2 \approx 30$  дБ. Поэтому коэффициент энергетической скрытности составляет  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{допр}}^2 / h_{\text{р}}^2 \approx 14$  дБ, т. е. условие обеспечения энергетической скрытности ССС ( $h_{\text{р}}^2 < h_{\text{доп р}}^2$ , или  $\gamma_{\text{эс}} = h_{\text{допр}}^2 / h_{\text{р}}^2 > 1$ ) выполняется.

Очевидно, что в ПРМ обнаружения (в отличие от ПРМ ССС) применение пространственно-разнесенного приема на  $n = 4$  антенны проблематично, т. к. одним из основных требований к приемникам радиоразведки, размещаемым вблизи от приемников ССС, являются их малые массогабаритные показатели.

**Выводы.** Таким образом, если в ССС использовать пониженные несущие частоты  $f_0 = 60 \dots 80$  МГц (обуславливающие рэлеевские замирания принимаемых сигналов) и пространственно-разнесенный прием на  $n = 4$  антенны, то можно обеспечить, наряду с требуемой помехоустойчивостью ( $P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$ ), достижение высокой энергетической скрытности ССС ( $\gamma_{\text{эс}} = 14$  дБ) при близком размещении приемника обнаружения сигнала сигналов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов В.И., Зинчук В.М. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход. – 2-е изд. исправленное. – М.: РадиоСофт, 2008. – 260 с.
2. Курьянов А.И., Сахаров А.В. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. – М.: Вузовская книга, 2003. – 528 с.
3. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. и др. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
4. Буга Н.Н. Основы теории связи и передачи данных. Ч. I. – Л.: ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1968. – 548 с.
5. Чипига А.Ф., Сенокосова А.В. Способ обеспечения энергетической скрытности систем спутниковой связи // Космические исследования. – 2009. – Т. 47, № 5. – С. 428-433.
6. Телицын А.М. Синтез и разработка радиотехнических систем передачи дискретной информации. – М.: МО СССР, 1978. – 195 с.



7. *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.
8. *Вимберг Г.П., Виноградов Ю.В., Фомин А.Ф.* Энергетические характеристики космических радиолиний. / Под. ред. О.А. Зенкевича. М.: Советское радио, 1972. – 436 с.
9. *Пенин П.И.* Системы передачи цифровой информации. – М.: Сов. радио, 1976. – 364 с.
10. *Коростелев А.А., Клюев Н.Ф., Мельник Ю.А. и др.* Теоретические основы радиолокации / Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор О.Б. Макаревич.

**Чипига Александр Федорович** – Северо-Кавказский федеральный университет; e-mail: director\_iitt@ncfu.ru; 355000, г. Ставрополь, ул. Десантников, 25; тел.: 88652956546; к.т.н.; профессор; директор института информационных технологий и телекоммуникаций.

**Chipiga Alexander Fyodorovich** – North Caucasus Federal University; e-mail: director\_iitt@ncfu.ru; 25, Desantnikov street, Stavropol, 355000, Russia; phone: +78652956546; dr. of eng. sc.; professor; director of the Institute of information technology and telecommunications.