Адаптация длительности сигналов и интервала перемежения в станции спутниковой связи при возмущениях ионосферы

Adaptation of signal duration and interleaving interval in satellite communications station under action of ionosphere disturbances

Бибарсов / Bibarsov M.
Марат Рашидович
(BibarsovMR@rambler.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ (ВАС им. С. М. Буденного), доцент.
г. Санкт-Петербург

Потягов / Potjagov D.
Денис Аркадьевич
(dendial@inbox.ru)
кандидат технических наук.
ВАС им. С. М. Буденного,
преподаватель.
г. Санкт-Петербург

Алёшин / Alyoshin S.
Степан Леонидович
(asl.87@mail.ru)
ВАС им. С. М. Буденного,
начальник учебной лаборатории.
г. Санкт-Петербург

Грибанов / Gribanov E.
Евгений Владимирович
(jonoton@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВАС им. С. М. Буденного,
преподаватель.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: адаптация – adaptation; длительность сигнала – signal duration; перемежение – interleaving; замирания – fadings; помехоустойчивое кодирование – noiseless coding.

В статье предложена структурная схема станции спутниковой связи, работа которой основана на адаптации длительности передаваемых сигналов и интервала перемежения при использовании помехоустойчивого кодирования к изменяющимся параметрам возмущённой ионосферы, что позволит обеспечить требуемую достоверность приема сигналов.

In the article, satellite communications station block scheme is proposed, the operation of which station is based on adaptation of transmitted signal duration and interleaving interval with the use of noiseless coding to disturbed ionosphere parameters which will permit to provide required reliability of signal detection.

Известно [1], что в условиях возмущения ионосферы (ВИ) на высотах слоя F (150...300 км) помимо роста максимального среднего значения электронной концентрации (ЭК) ($\overline{N}_m$), происходит образование интенсивных «волокнистых» неоднородностей. Процесс распространения радиоволн (РРВ) через неоднородности ЭК (характеризуемые среднеквадратическим отклонением (СКО) $\sigma_{\Delta N}$ флуктуаций ЭК ΔN) сопровождается рассеянием, появлением многолучевости в канале и, как следствие, возникновением интерференционных замираний принимаемых сигналов, которые почти в 90% случаев описываются обобщенным рэлеевским распределением (Райса), включая случаи чисто рэлеевского распределения. В свою очередь, замирания приводят к существенному уменьшению достоверности приема сигналов (повышению вероятности ошибки $P_{ош}$ при постоянном отношении сигнал/шум на входе приемника $\overline{h^2} = const$, рис. 1 [1]).

Одним из способов устранения влияния рэлеевских (райсовских) замираний является применение помехоустойчивого кодирования.

Эффективность помехоустойчивого кодирования в каналах связи с замираниями существенно зависит от соотношения интервала корреляции замираний ($\tau_{кор}$) с длительностью элементарного символа кодовой комбинации (T_s), которое оценивается коэффициентом корреляции замираний (r) [2].

Довольно точно коэффициент корреляции при интерференционных замираниях представляется выражением [2, 3]:

$$r \approx \exp\left(-|T_s|/\tau_{кор}\right) \quad (1)$$

В условиях ВИ в канале спутниковой связи почти всегда создаются условия возникновения медленных, относительно длительности сигнала ($\tau_{кор} >> T_s$), зами-

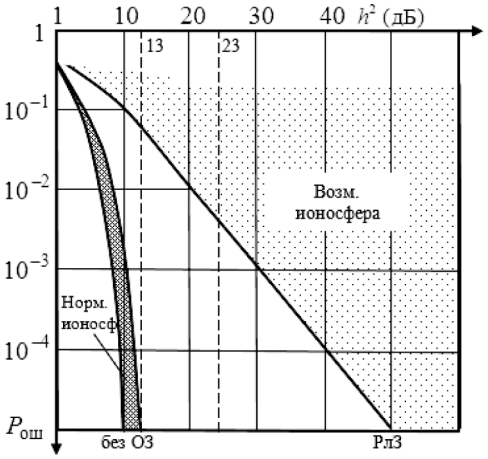

Рис. 1. Помехоустойчивость ССС при нормальной ионосфере и наличии возмущений в слое F

раний райсовского или рэлеевского типа, в результате чего ошибки в канале связи будут иметь тенденцию к группированию в пакеты [2]. Это, в свою очередь, приведет к образованию на входе декодера таких конфигураций ошибок, которые он не сможет исправить, в результате чего существенно уменьшится достоверность приема сигналов.

Для обеспечения требуемой достоверности приема сигналов при ВИ, когда создаются условия группирования ошибок, рекомендуется совместно с помехоустойчивым кодированием использовать устройства перемежения. Идея перемежения сводится к тому, что кодовые символы передаются в канале связи (КС) не в том порядке, в котором они возникают на выходе кодера, а после перестановки, причем такой, чтобы близлежащие по моментам возникновения символы различались по времени передачи в КС не менее, чем на интервал корреляции замираний $\tau_{кор}$, что позволяет полностью декоррелировать ошибки на входе декодера. Основной проблемой, возникающей при перемежении, оказывается дополнительная задержка в передаче информации. Выбор интервала перемежения ($I_{пер}$) зависит от двух факторов. С одной стороны, чем больше расстояние между соседними символами, тем большей длины пакет ошибок может быть исправлен. С другой стороны, чем больше $I_{пер}$, тем сложнее аппаратно-программная реализация оборудования и больше задержка сигнала.

Тем не менее, зачастую обеспечить требуемую вероятность ошибки $P_{ош}$ возможно и при некоторой степени корреляции замираний. На рис. 2 [4] представлены графики зависимости вероятности битовой ошибки P_b от отношения сигнал/шум h_0^2 для сверточного кода $(23,35)_8$ при различных степенях ВИ, характеризуемых значениями СКО флуктуаций электронной концентрации $\sigma_{\Delta N}$, и коэффициентах корреляции замираний r. Из рисунков видно, что вероятность битовой ошибки существенно зависит от степени ВИ ($\sigma_{\Delta N}$) и от коэффициента корреляции замираний (r), при этом требуемая $P_b = 10^{-5}$ при $h_0^2 \le 23$ дБ даже при сильных ВИ достигается при коэффициенте корреляции замираний отличном от нуля.

Из вышесказанного следует, что желательно обеспечить минимально возможный интервал перемежения, при котором бы выполнялись требования по помехоустойчивости ССС ($P_b = 10^{-5}$ при $h_0^2 \le 23$ дБ) и который бы выбирался в зависимости от параметров ионосферы, а именно СКО электронной концентрации $\sigma_{\Delta N}$ и интервала корреляции замираний $\tau_{кор}$.

В связи с этим целью статьи является разработка схемы станции спутниковой связи (СтСС) с адаптивными перемежением и длительностью сигнала, которая позволит изменять T_s и $I_{пер}$ в зависимости от параметров ВИ для обеспечения требуемой достоверности приема сигналов.

Структурная схема такой СтСС показана на рисунке 3. В отличие от известной схемы, представленной в работе [5], здесь добавлены следующие блоки и устройства: устройство измерения полосы когерентности трансионосферного канала связи (УИПК), устройство измерения интервала корреляции замираний (УИИК) [6], блок вычисления СКО электронной концентрации (БСКО), блок определения допустимого коэффициента корреляции замираний (БДКК), блок вычисления интервала перемежения (БВИП).

Принцип работы СтСС заключается в следующем: в устройстве измерения полосы когерентности трансионосферного канала связи [7], на основе величины среднеквадратического отклонения (СКО) полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы ($\sigma_{\Delta I}$), оперативно (с шагом $T = 0,02$ с) определяется значение полосы когерентности трансионосферного канала связи ($\Delta F_к$) с учетом мелкомасштабных неоднородностей ионосферы. Измеренное значение полосы когерентности $\Delta F_к$ поступает на демодулятор приемника и передатчик СтСС. В передатчике СтСС в соответствии с

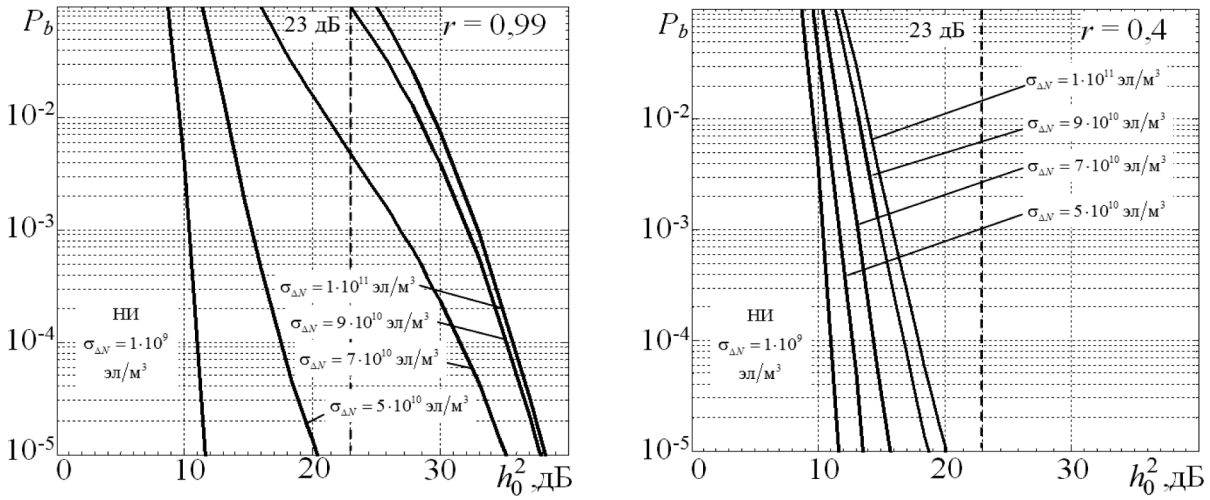

Рис. 2. Зависимости $P_b = \psi(h_0^2)$ при различных значениях $\sigma_{\Delta N}$ и r

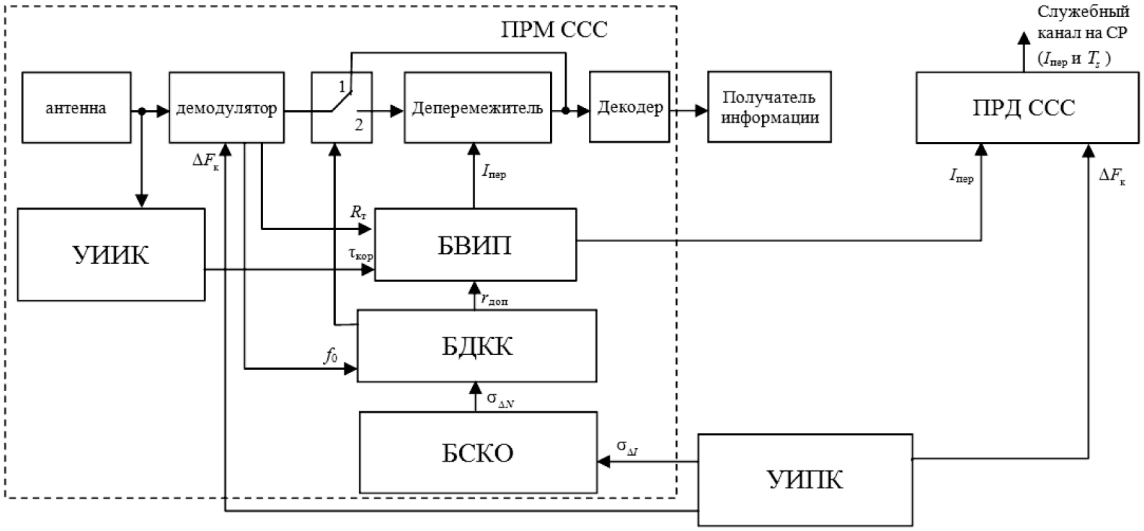

Рис. 3. Схема СтСС с адаптивными перемежением и длительностью сигнала

измеренным значением $\Delta F_к$ выбирается длительность сигнала T_s, при которой выполняется условие отсутствия частотно-селективных замираний (2)

$$T_s >> 1/\Delta F_к \text{ (т.е. } 1/T_s\Delta F_к << 1) \quad (2)$$

после чего формируется служебный сигнал, переносящий сообщение $x\ (T_s)$ о выбранном значении длительности сигнала на искусственный спутник земли (ИСЗ). В демодуляторе результаты измерения $\Delta F_к$ используются для адаптации T_s к изменению передаваемых с ИСЗ сигналов.

Со второго выхода устройства измерения полосы когерентности трансионосферного канала связи значение СКО ПЭС ($\sigma_{\Delta I}$) поступает в блок вычисления СКО электронной концентрации, где согласно выражения (3) определяется значение СКО электронной концентрации (ЭК) [1]

$$\sigma_{\Delta N} = \sigma_{\Delta I} \Big/ \pi^{1/4}\sqrt{l_s h_э}\,. \quad (3)$$

Здесь $l_s = 400$ м – характерный размер ионосферных неоднородностей в слое F ионосферы; $h_э = 450$ км – эквивалентная толщина слоя F ионосферы.

Полученное значение $\sigma_{\Delta N}$ подается в блок определения допустимого коэффициента корреляции замираний, на второй вход которого из демодулятора поступает значение рабочей частоты f_0. В блоке определения допустимого коэффициента корреляции замираний ($r_{доп}$) в ячейках памяти хранятся значения $\sigma_{\Delta N}$ и соответствующие им $r_{доп}$ для возможных рабочих частот f_0. Когда в блок определения допустимого коэффициента корреляции замираний поступает значение $\sigma_{\Delta N}$, большее либо равное наименьшему значению $\sigma_{\Delta N_{min}}$, записанному в таблицу соответствия $\sigma_{\Delta N}$ и $r_{доп}$, выбранную в зависимости от f_0, происходит определение значения допустимого коэффициента корреляции $r_{доп}$, соответствующего измеренному СКО ЭК $\sigma_{\Delta N}$.
В случае если поступающее значение $\sigma_{\Delta N} \geq \sigma_{\Delta N_{min}}$ отсутствует в таблице, то выбирается ближайшее большее значение $\sigma_{\Delta N}$ из таблицы и соответствующее ему $r_{доп}$ которое подается на первый вход блока вычисления интервала перемежения. Со второго выхода блока определения допустимого коэффициента корреляции замираний подается сигнал на замыкание ключа в положение 2, подключая тем самым деперемежитель, который в исходном состоянии отключен от демодулятора (ключ в положении 1).

На второй и третий входы блока вычисления интервала перемежения поступают значения длительности сигнала (T_s) и интервала корреляции замираний ($\tau_{кор}$), определенного в устройстве измерения интервала корреляции замираний [6].

В блоке вычисления интервала перемежения в соответствии с выражением (4) определяется значение интервала перемежения $I_{пер}$.

$$I_{пер} = \ln(r_{доп}) \cdot \left(-T_s / \tau_{кор}\right). \quad (4)$$

С первого и второго выходов блока вычисления интервала перемежения значение $I_{пер}$ поступает на ПРД СтСС, где формируется служебный сигнал, переносящий сообщение $x\ (I_{пер})$ о выбранном значении интервала перемежения, и на перестраиваемый деперемежитель, в котором устанавливается соответствующее значение $I_{пер}$.

Когда значение $\sigma_{\Delta N}$, поступающее на вход блока определения допустимого коэффициента корреляции, становится меньше минимального значения $\sigma_{\Delta N_{min}}$, записанного в таблице соответствия $\sigma_{\Delta N}$ от $r_{доп}$, со второго выхода данного блока поступает сигнал на замыкание ключа в положение 1, отключая тем самым деперемежитель.

Выводы

Таким образом, в статье разработана схема адаптивной СтСС, позволяющая в зависимости от параметров ионосферы выбирать длительность передаваемых сигналов и интервал перемежения, что обеспечивает требуемую достоверность приема сигналов в условиях ВИ.

Литература

1. Маслов, О. Н. Модели трансионосферных радиоканалов и помехоустойчивость систем космической связи. Приложение к журналу «Инфокоммуникационные технологии». Выпуск 4 / О.Н. Маслов, В.П. Пашинцев. – Самара: ПГАТИ, 2006. – 357 с.

2. Волков, Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики / Л.Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М.: Эко-Тренз, 2005. – 392 с.

3. Финк, Л. М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. – М.: Советское радио, 1970. – 728 с.

4. Методика оценки вероятности битовой ошибки в каналах спунтиковой связи при возмущениях ионосферы / В.П. Пашинцев [и др.] // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2012. – № 2. – С. 62–67.

5. Спутниковая связь и вещание / Под ред. Л.Я. Кантора – М.: Радио и связь, 1988. – 344 с.

6. Устройство для оценки интервала корреляции / И.И. Волков, С.А. Прохоров, В.И. Батищев. Патент СССР № 522507, опубликован 25.07.76. – Патентообладатель – Куйбышевский политехнический институт им. В.В. Куйбышева.

7. Устройство двухчастотного измерения полосы когерентности трансионосферного канала связи / В.П. Пашинцев [и др.]. Патент РФ на полезную модель № 110501, опубликован 20.11.2011.