

объемов ограждающих конструкций, имеющих вы-
сокое сопротивление теплопередаче ($3 \dots 5 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$) и минимальную массу (170 кг/м^3), в сочетании с использованием экономичного каркаса, простой технологии возведения и отделки.

Варианты объемно-планировочных решений иллюстрируют свободу выбора конфигурации зданий, возможности произвольного размещения проемов в наружных стенах, устройство эркеров с панорамным остеклением, консольных участков этажей.

Список литературы:

1. Баранова Т.И., Пульпинский Я.С., Болдырева О.В. Совершенствование формообразования новых

конструктивных решений стеновых панелей. Сборник материалов Международной научно-технической конференции. "Проблемы современного строительства". - Пенза: ПГУАС, 2009. - 245с.

2. Баранова Т.И., Сильванович Т.Г., Болдырева О.В. Формообразование конструктивных элементов утепленных каркасных зданий (КЭ УКЗ) Сборник материалов IX Международной научно-технической конференции. "Эффективные строительные конструкции: теория и практика". - Пенза: ПГУАС, 2009. - 232с.

3. Сильванович Т.Г., Болдырева О.В. Новые конструктивные решения стеновых панелей. Сборник материалов научно-методической конференции «Магистры – будущая кадровая основа строительной отрасли». - Пенза: - ПГУАС, 2009. - 198с.

О ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЕНСАЦИИ СТРУКТУРНОЙ ПОМЕХИ НА ВЫХОДЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ПРИЕМНИКА

Галев А.В.

канд. техн. наук, доцент кафедры

«Радиоэлектронные системы и устройства» МГТУ им. Н.Э. Баумана,

г. Москва

Юдачев С.С.

канд. техн. наук, доцент кафедры

«Радиоэлектронные системы и устройства»

декан Радиотехнического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана,

г. Москва

[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.58.32-36](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.58.32-36)

АННОТАЦИЯ

В статье показана возможность компенсации структурной помехи на выходе корреляционного приемника широкополосных шумоподобных сигналов с целью повышения его помехоустойчивости. Рассматривалось воздействие модулированных и немодулированных структурных и синусоидальных помех различной мощности при наличии шума и при расстройке несущих частот помехового и информационного сигналов. Результаты работы могут быть использованы для расчета помехоустойчивости систем связи и навигации с широкополосными шумоподобными сигналами в сложной помеховой обстановке.

ABSTRACT

The article shows the possibility of compensation of adjacent – channel interference at the output of the correlation receiver of direct-sequence spread-spectrum system in order to improve its noise immunity. The impact of modulated and unmodulated adjacent – channel and sinusoidal interferences of different power in the presence of noise and in the detuning of carrier frequencies of information signals and interferences was considered. The results can be used to calculate the noise immunity of communication and navigation systems with pseudonoise signals in a complex noise environment.

Ключевые слова: корреляционный приемник, шумоподобный сигнал, структурная помеха, помехоустойчивость, компенсация.

Keywords: correlation receiver, pseudonoise signal, adjacent – channel interference, noise immunity, compensation.

В настоящее время в системах радиосвязи и навигации находят применение широкополосные системы с шумоподобными сигналами (ШПС) [1-3]. При работе таких систем наряду с шумовыми, импульсными, узкополосными и другими могут действовать и так называемые структурные помехи, представляющие собой ШПС такого же типа, как и используемые в системе [4]. Такая помеха возникает в случае, если передатчик мешающего абонента расположен существенно ближе передатчика полезного абонента, имеет достаточно большую мощность и его сигнал сильно коррелирован с принимаемым сигналом. В этом случае можно го-

ворить также и о преднамеренной помехе, назначение которой нарушить работу системы. Структурная помеха по своим статистическим свойствам далека от гауссовского случайного процесса. Анализ ее воздействия на помехоустойчивость системы необходимо проводить с использованием структурных свойств полезного сигнала и помехи и с учетом распределения их энергии. В работе [4] приведены способы исследования влияния структурной помехи и предложена оценка помехоустойчивости приема полезной информации. Повышение помехоустойчивости в таких системах является актуальной задачей.

В [5] исследована помехоустойчивость корреляционного приемника с автокомпенсатором для подавления мощной структурной помехи применительно к шумоподобным сигналам с минимальной частотной манипуляцией. Автокомпенсатор используется на входе корреляционного приемника, оценивает параметры структурной помехи, формирует на этой основе сигнал и вычитает его из смеси полезного сигнала и помехи. Такой подход требует достаточно больших аппаратных затрат и высокой точности. В [6] приведены результаты исследования корреляционного приемника с автокомпенсатором для подавления мощной структурной помехи также на входе корреляционного приемника с формированием копии помехи и использованием бланкирования для управления временным селектором. Реализация такой системы представляется также достаточно сложной.

В связи с этим представляет интерес повышение помехоустойчивости приема сигналов на выходе корреляционного приемника при наличии на входе полезного сигнала, структурной помехи и шума. Это явилось результатом проведенных исследований и составило их научную новизну.

Рассмотрим возможность построения приёмного устройств широкополосной системы с компенсацией структурной помехи на его выходе. Немодулированной структурной помехой будем называть такую, для формирования которой используется одна и та же повторяющаяся кодовая последовательность. Модулированной структурной помехой будем называть такую, для формирования которой используются разные кодовые последовательности. В работе [7] исследована помехоустойчивость корреляционного приемника широкополосных шумоподобных сигналов при

действии структурных помех при когерентном приеме, в работе [8] – при некогерентном приеме ортогональных сигналов.

Проанализируем влияние структурных помех на устройство оптимальной обработки в случае когерентного приёма с ортогональными сигналами. Как показал анализ [7], вероятность ошибки p в этом случае есть функция не только h_c , но и P_n , r_1 и r_2 , то есть

$$p = \frac{1}{4} \left\{ \left[1 - \Phi \left(h_c \left\{ 1 - \mu_c \mu_n \sqrt{\frac{P_n}{P_c}} (r_2 - r_1) \right\} \right) \right] + \left[1 - \Phi \left(h_c \left\{ 1 + \mu_c \mu_n \sqrt{\frac{P_n}{P_c}} (r_2 - r_1) \right\} \right) \right] \right\}$$

Здесь h_c^2 - отношение энергии сигнала к спектральной плотности белого шума; P_n/P_c - отношение мощности структурной помехи к мощности сигнала; r_1 и r_2 - коэффициенты взаимной корреляции между используемыми сигналами и структурной помехой.

Из формулы видно, что в выражения, характеризующие напряжения на выходах корреляторов, входят члены, пропорциональные мощности структурной помехи и коэффициенту взаимной корреляции её с каждым из опорных сигналов. Поскольку решающая схема осуществляет операцию вычитания напряжений с двух корреляторов и сравнения этой разности с нулевым порогом (в случае равенства энергий информационных сигналов и равновероятности их появления), то на пороговой схеме появится напряжение Δu , пропорциональное разности напряжений от структурной помехи в каждом из корреляторов (рисунок 1), где $W(u_1)$ и $W(u_2)$ – плотности вероятности напряжений u_1 и u_2 .

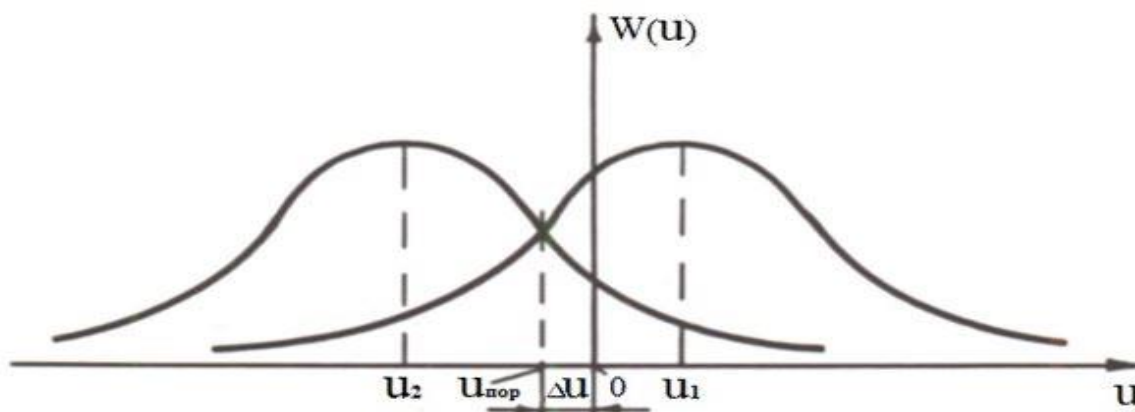


Рисунок 1 – Распределение напряжений на выходах корреляторов

В результате этого порог будет уже не нулевым, что влечёт за собой увеличение вероятности ошибки p . Причём, чем больше будет Δu , тем больше будет смещение порога от нуля, и, таким образом, больше p .

На основе этого анализа, а также с учетом того, что на входе приёмного устройства действует нормальный белый шум и полезные сигналы, можно

синтезировать приёмное устройство с компенсацией на его выходе структурной помехи, схема которого приведена на рисунке 1.

Оно отличается от обычного устройства оптимальной обработки тем, что в него входит ещё одна схема вычитания, интегратор с временем интегрирования T_Φ и инвертор. Напряжения с выходов каждого из интеграторов поступают на схему вычита-

ния, затем разность этих напряжений интегрируется за время T_ϕ ($T_\phi \gg T$), инвертируется и поступает на пороговую схему.

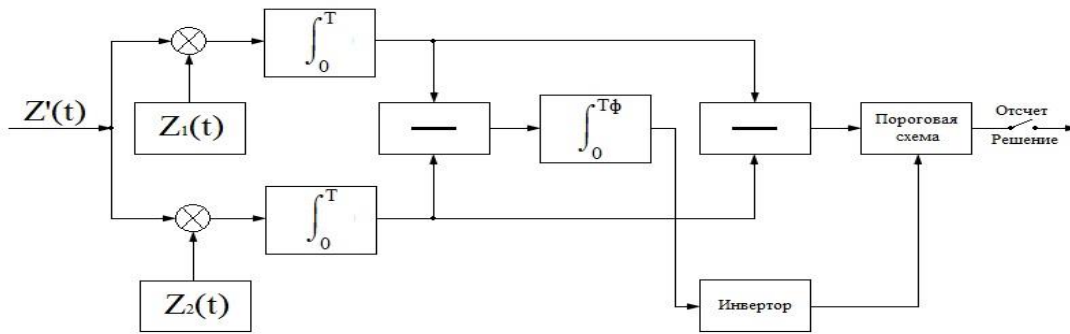


Рисунок 2– Структурная схема корреляционного приемника с компенсацией помехи

Поскольку напряжение на выходе коррелятора от нормального белого шума имеет нулевое математическое ожидание, то разность двух таких напряжений будет иметь также нулевое математическое ожидание и на выходе интегратора с временем интегрирования T_ϕ даст ноль. С учётом того, что информационные символы равновероятны и $T_\phi \gg T$, напряжение от них на выходе интегратора также будет равно нулю. А так как напряжения от структурной помехи на выходе каждого коррелятора будут постоянны от периода к периоду, то схема вычитания выявит их разность и на выходе интегратора получится напряжение Δu . Далее оно с противоположным знаком поступит на пороговую схему, где скомпенсирует напряжение Δu в решающей схеме, и, таким образом, восстановит оптимальный нулевой порог.

В принципе возможна оптимизация приёмного устройства в зависимости от поведения структурной помехи, то есть от скорости изменения разности ФВК. Заключается она в следующем. Предположим, что нам были бы известны статистические характеристики скорости изменения разности ФВК или даже наиболее полная характеристика – закон распределения. Тогда были бы известны наиболее вероятные значения скорости изменения ФВК. Зная их, можно так выбрать T_ϕ , чтобы отслеживание было наилучшим. Здесь, однако, нужно учесть тот факт, что нижний предел времени интегрирования ограничен, то есть оптимизация возможна до опре-

деленного нижнего предела T_ϕ . Реально же оптимизация приёмника осложняется тем, что нет сведений о статистике скорости изменения разности ФВК. Можно сделать интегратор с плавно регулируемым T_ϕ и на основе каких-либо априорных сведений выставлять оптимальное T_ϕ . Если же таких априорных сведений нет, то, как уже исследовалось ранее, лучше выбирать T_ϕ возможно меньше.

При синтезе приёмника с компенсатором предполагалось, что символы структурной помехи передаются приблизительно равновероятно. Но даже если они передаются не равновероятно, а с какими-то априорно известными весовыми коэффициентами, то и тогда можно построить приёмник с компенсатором, который будет содержать ещё дополнительное устройство формирования напряжения, пропорционального разности весовых коэффициентов. Это напряжение необходимо суммировать с напряжением на выходе интегратора (с учётом знака), в результате чего получится напряжение, пропорциональное действию структурной помехи.

Для проверки работоспособности и эффективности предложенного варианта компенсатора были проведены исследования на экспериментальном стенде, в состав которого входила широкополосная система с шумоподобными сигналами (на основе M – последовательностей) с приёмным устройством, содержащим такой компенсатор в виде приставки. Структурная схема стенда приведена на рисунке 3.



Рисунок 3– Структурная схема экспериментального стенда

В процессе эксперимента для иллюстрации были сняты некоторые осциллограммы, характеризующие работу компенсатора, которые показаны на рисунках 4 (а-е). Верхние осциллограммы на рисунках снимались на выходе интегратора со сбросом, нижние – на входе интегратора со сбросом. На рисунке 4а показаны осциллограммы, когда на входе приёмника действовал только информационный сигнал; на рисунке 4б – информационный сигнал вместе с нормальным белым шумом при $h_c = 12$; на рисунках 4(в-д) – информационный сигнал, нормальный белый шум и структурная помеха в три разных момента времени при $h_c = 12$, $P_{\Pi}/P_c = 9$ и $\gamma = 0,25$ (компенсатор выключен); и, наконец, на рисунке 4е – при действии всех перечисленных помех и включенного компенсатора. Структурная помеха была когерентной и немодулированной. Из

этих осциллограмм видно, что при $h_c = 12$ информационный сигнал искажается шумом незначительно, однако при действии структурной помехи эти искажения становятся очень сильными (на осциллограммах видно, что имеет место значительные преобладания одних уровней напряжения на интеграторе в момент отсчёта) и приводит к тому, что появляются ошибки. Рисунок 4е наглядно иллюстрирует работу компенсатора, когда происходит смещение сигнала на интеграторе на уровень, пропорциональный действию структурной помехи. Хотя структурная помеха была когерентной, однако за счёт работы схемы синхронизации и действия нормального белого шума корреляция между сигналом структурной помехи и опорным менялась, поэтому уровень сигнала (рисунки 4(в-е)) менялся.

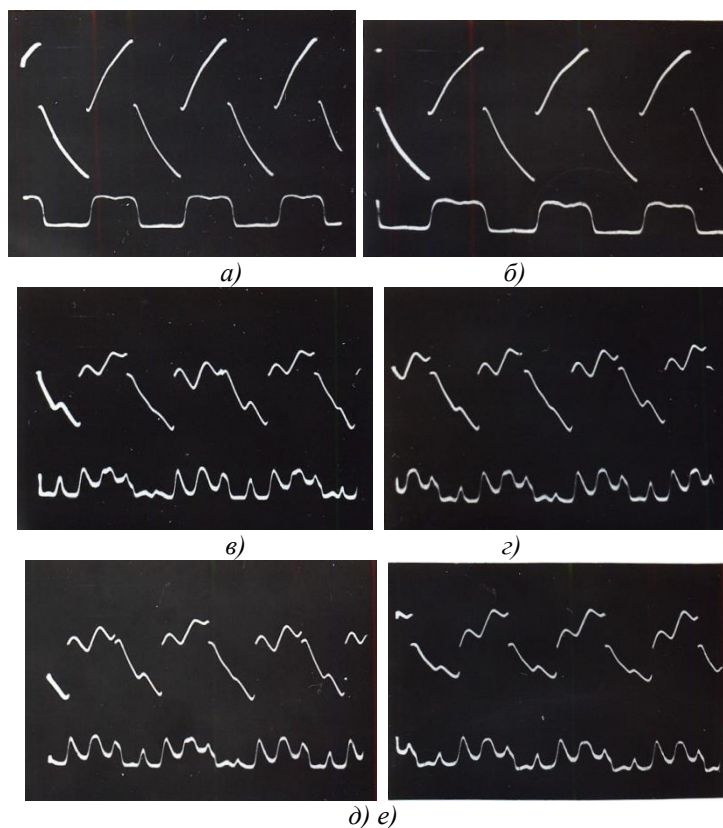


Рисунок 4– Осциллограммы, характеризующие работу компенсатора

Представляют интерес зависимости выигрышей в достоверности приёма от расстройки Δf несущих частот различных видов помех относительно несущей частоты информационного сигнала f_n , которые приведены на рис.10 (p – вероятность ошибки при приёме информационного символа без компенсации; p_K – вероятность ошибки при приёме информационного символа с компенсацией структурной помехи).

На этом же графике приведены зависимости выигрышей от расстройки для помехи в виде чи-

стой синусоиды с частотой, равной несущей частоте сигнала (при $P_{\Pi}/P_c = 4$), и синусоиды, равной несущей и модулированной также синусоидой с частотами $F_{\Pi} = 16F_c$ и $F_{\Pi} = 128F_c$. Это исследование было проведено с целью проверки возможности компенсации сосредоточенных по спектру помех. Необходимо отметить, что уменьшение выигрыша в достоверности приёма в последних случаях (в зависимости от $\Delta f/f_n$) обусловлено в основном тем, что при расстройке несущих частот помеховых сигналов резко падало их влияние на информационные сигналы в приёмнике.

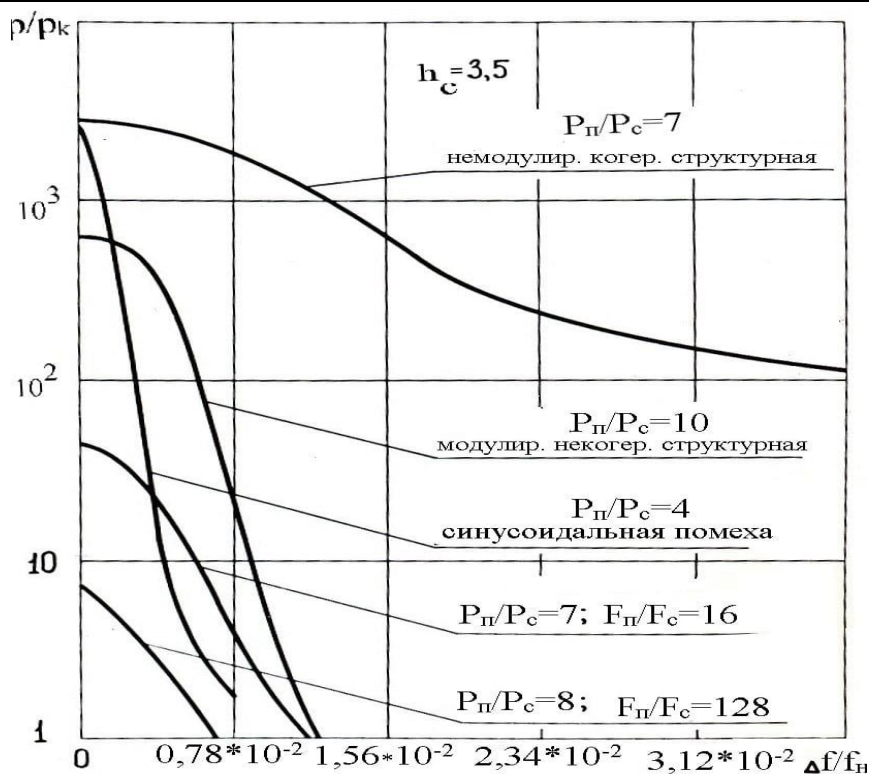


Рисунок 5– Выигрыш в достоверности приема от расстройки для различных помех

Из рисунка 5 видно, что выигрыш в достоверности для немодулированной когерентной структурной помехи (при $r = 0,21$ и $P_{\Pi}/P_c = 7$) достигает $\sim 10^2$ раз по сравнению с модулированной некогерентной структурной помехой (при $r = 0,21$ и $P_{\Pi}/P_c = 10$), и $\sim 10^3$ раз по сравнению с синусоидальной помехой при расстройке $\Delta f/f_n$ порядка $\sim 0,78 \cdot 10^{-2}$.

Список литературы

1. Системы сотовой и спутниковой связи / В.В. Калмыков, И.Б. Федоров, С.С. Юдачев. Изд. – во «Рудомино», 2010. 280с.
2. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104с.
3. Proakis J.G., Digital Communications, 4-th ed. New York: McGraw – Hill, 2000.
4. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985.- 384 с.
5. Бондаренко В.Н., Краснов Т.В. Помехоустойчивость корреляционного приемника шумо-

подобного сигнала с автокомпенсатором структурной помехи. Известия вузов России. Серия “Радиоэлектроника”, 2012, вып.1,с.58.

6. Бондаренко В.Н., Гарифуллин В.Ф., Краснов Т.В., Галеев Р.Г. Эффективность подавления структурной помехи корреляционным приемником шумоподобного сигнала с автокомпенсатором. Известия вузов России. Серия “Радиоэлектроника”, 2013, вып.5,с.18.

7. Галев А.В., Косолапов А.С. Исследование влияния структурных помех на помехоустойчивость систем с широкополосными шумоподобными сигналами при когерентном приеме. Наука и образование: электронное научно-техническое издание. Эл. № ФС 77-30569/400050.04, 2012. <http://technomag.edu.ru/doc/400050.html>.

8. Галев А.В., Юдачев С.С. Помехоустойчивость некогерентного приема широкополосных сигналов при структурных помехах. Вестник воздушно – космической обороны: Научно – технический журнал / ПАО «НПО «Алмаз», 2018 г., №2(18), с. 55-60.