

Модель канала спутниковой связи в условиях непреднамеренных импульсных помех

П. А. Маслаков, И. С. Александров, Т. А. Хаиров

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

maslakov345@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается модель воздействия непреднамеренных импульсных помех на канал спутниковой связи. Представлена модель канала спутниковой связи стандарта DVB-S2, функционирующая в условиях воздействия непреднамеренных импульсных помех. В качестве показателя вредности воздействия импульсных помех используется вероятность битовой ошибки в зависимости от коэффициента времени существования помехи. Проведен анализ воздействия импульсных помех разной интенсивности на канал спутниковой связи.

Ключевые слова: моделирование, импульсная помеха, канал спутниковой связи, DVB-S2

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач при проектировании системы связи является оценивание ее помехоустойчивости в условиях воздействия помех разных типов. Для анализа помехоустойчивости системы связи, в том числе спутниковой, широко используется модель канала с аддитивным белым гауссовым шумом. В таком канале основными источниками ухудшения характеристик является тепловой шум, генерируемый в приемнике, а также естественные и искусственные источники стационарных шумов и помех. В то же время наземные станции спутниковой связи зачастую располагаются в районах со сложной радиоэлектронной обстановкой и вынуждены функционировать в условиях воздействия помех разного типа, в том числе импульсных [1–3].

В качестве источников непреднамеренных импульсных помех могут выступать радиолокационные станции кругового обзора наземного и воздушного базирования.

В настоящее время вопрос воздействия импульсных помех на широкоэвещательные системы спутниковой связи первого поколения достаточно хорошо изучен. Однако на современном этапе в системы спутниковой связи активно внедряются интегрированные телекоммуникационные технологии на основе транспортных протоколов MPEG-2 и IP/DVB, которые нашли свое отражение в распространенном стандарте DVB-S2. В то же время вопросы воздействия импульсных помех на системы спутниковой связи, использующие стандарт DVB-S2, не исследовались, поэтому оценивание помехоустойчивости систем спутниковой связи, применяющих данный стандарт, в условиях воздействия импульсных помех является актуальной задачей.

Цель статьи – оценивание помехоустойчивости отдельного канала спутниковой связи, использующего стандарт DVB-S2, при воздействии непреднамеренных импульсных помех.

II. СТРУКТУРА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАНАЛА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

Обобщенная структурная схема модели функционирования канала спутниковой связи включает в себя следующие элементы: модель наземной передающей станции, модель наземной приемной станции, модель спутникового ретранслятора и модель источника непреднамеренных импульсных помех. Кроме того, в состав радиолинии входят и два участка пространства распространения радиоволн: восходящий участок – от передающей станции до спутникового ретранслятора и нисходящий участок – от ретранслятора до приемной станции. Для математического описания импульсной помехи, образованной одним или несколькими источниками, используем аддитивную смесь из N импульсов с угловой модуляцией $\psi_{УМ}(t)$ и случайными параметрами: амплитудой A_n , длительностью τ_n , временем появления t_n и частотой f_n [8].

Информационное сообщение i , проходя через канал сигналообразования, преобразуется в полезный сигнал $S(i, t)$. С учетом воздействия гауссовских и импульсных помех на вход приемника поступает аддитивная смесь

$$U(t) = S(i, t) + \xi_N(t) + n(t), \quad (1)$$

где $S(i, t)$ – полезный сигнал;

$\xi_N(t)$ – импульсная помеха;

$n(t)$ – белый гауссовский шум.

Последовательность импульсов записывается в виде

$$\xi_N(t) = \sum_{n=1}^N A_n v\left(\frac{t-t_n}{\tau_n}\right) \sin(2\pi f_n t + \psi_{УМ}(t)), \quad (2)$$

где $v(x)$ – финитная функция, описывающая форму импульса и тождественно равная нулю вне интервала $0 \leq x \leq 1$.

Ущерб переданной информации i^* от воздействия импульсных помех оценивается вероятностью битовой ошибки $P_{\text{ош}}$.

Математические выражения, применяемые в модели для описания характеристик скремблера, помехоустойчивого кода, перемежителя и модуляционного кодирования детально описаны в технической документации консорциума DVB Project – организации, занимающейся разработкой стандартов в области цифрового телевидения для Европы [3].

Вследствие невозможности аналитического решения задачи оценивания помехоустойчивости системы спутниковой связи к воздействию импульсных помех для ее решения в программной среде Matlab разработана имитационная модели спутниковой радиолинии в условиях помех.

В стандарте DVB-S2 реализован механизм адаптивного помехоустойчивого кодирования и модуляции. Это позволяет оптимизировать параметры передачи для каждого пользователя в режиме вещания «точка-точка». Для реализации компромисса между излучаемой мощностью и спектральной эффективностью в DVB-S2 предусматривается расширенный набор скоростей кодирования (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 и 9/10) при различных видах модуляции (QPSK, 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK). Следует подчеркнуть, что скорости кодирования 1/4, 1/3 и 2/5 введены для работы в комбинации с модуляцией QPSK для самых плохих условий связи, когда уровень сигнала меньше уровня шума [3].

В разработанной модели блок помехоустойчивого кодирования представлен в виде каскада из внешнего кода БЧХ и внутреннего LDPC-кода. В качестве ограничений при моделировании принято, что размер блока после кодирования имеет длину 64800 бит, который и является кадром физического уровня. Кроме того, моделирование проводилось применительно к условиям идеального функционирования систем фазовой и символической синхронизации и отсутствия изменений в видах модуляции и скорости кодирования от кадра к кадру.

III. ОЦЕНИВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА КАНАЛ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Оценим помехоустойчивость канала спутниковой связи для исследуемого вида помех. Для этого рассмотрим следующую ситуацию. Пусть некоторая станция помех генерирует импульсы шума с равномерной плотностью I в полосе частот сигнала. При этом импульсная мощность источника помех во время передачи импульса может превышать это значение. Исходя из предположения, что мощность помех может быть увеличена за счет уменьшения времени передачи (допускается использование части от полного времени передачи, обозначенное p , $0 < p < 1$). В течение используемого времени спектральная плотность мощности постановщика помех возрастет до I_0/p , а усредненное по времени значение мощности будет постоянным.

Для рассмотренного случая средняя вероятность битовой ошибки для модуляции DS/BPSK без канального кодирования определяется следующим выражением [4]

$$P_{\text{ош}} = (1 - p)Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) + pQ\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0 + J_0/p}}\right), \quad (3)$$

где E_b – энергия бита; N_0 – спектральная плотность мощности шума; p – коэффициент условно названный

«временем существования помехи»; $Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$ – функция, определяющая вероятность ошибки для данного вида модуляции.

В работе [4] доказано, что для выражения (4) существует такое значение p , при котором вероятность битовой ошибки $P_{\text{б}}^{\text{ош}}$ будет максимальной, т. е.

$$P_{\text{ош}} \approx \begin{cases} 0,709 \frac{E_b}{J_0} & \text{для } \frac{E_b}{J_0} > 0,709; \\ 1 & \text{для } \frac{E_b}{J_0} \leq 0,709. \end{cases} \quad (4)$$

С учетом описанной выше особенности работы передатчика был проведен анализ влияния удельной длительности импульсных помех с постоянной средней мощностью источника питания на достоверность приема сигнала. На рис. 1 представлена зависимость вероятности битовой ошибки для разных коэффициентов времени существования помехи.

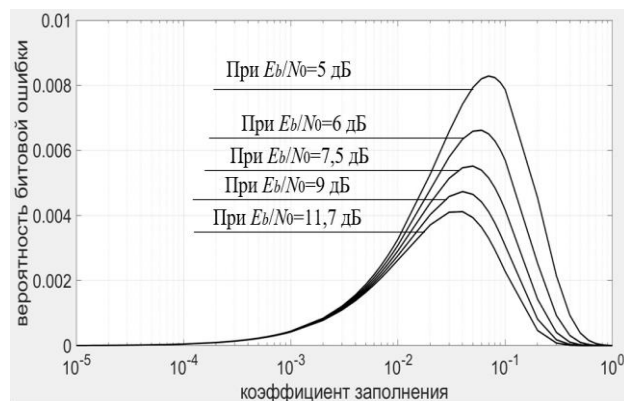


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки от коэффициента времени существования помехи

Анализируя полученное семейство зависимостей, можно прийти к выводу, что ущерб передаваемой информации по каналу связи, наносимый импульсными помехами, может меняться в зависимости от коэффициента времени существования помех повышая вероятность битовой ошибки с 10^{-8} до почти 0,01.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель функционирования канала спутниковой связи отличается от известных учетом влияния импульсных помех на достоверность передачи информации. Имитационная модель позволяет исследовать помехоустойчивость канала в реальных условиях воздействия разных видов импульсных помех. На частном примере воздействия импульсных помех на линию связи без помехоустойчивого кодирования показано, что при низких соотношениях средних мощностей сигнал/шум импульсные помехи более опасны, чем стационарные, резко увеличивая вероятность ошибки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Вознюк В.В., Зайцев С.А., Фомин А.В. Оценивание качества преднамеренных помех цифровым системам передачи информации методом компьютерного моделирования // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. Вып.645. С. 78–87.
- [2] Мырова Л.О., Грибанов А.С., Рязановский Т.Л. Обеспечение помехоустойчивости систем спутниковой связи // Электросвязь. 2012. № 8. С. 32–36.
- [3] URL: <http://web.itu.edu.tr/pazarci/DVB-S2.htm>/Дата обращения: 20.08.2023.
- [4] Скляр Бернад. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.: пер. с англ. 2-е изд. испр. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1103 с.