

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

А.О. Малофей, А.А. Смирнов
(представил проф. А.В. Королев)

Предложена математическая модель радиоканалов передачи данных. Модель построена с учетом реальной сигнально – помеховой обстановки, возникающей в условиях радиоэлектронного подавления, что позволяет проводить анализ и оценку помехозащищенности радиоканалов.

В условиях радиоэлектронного подавления (РЭП) основной характеристикой радиоканала является его помехозащищенность. Поэтому, обоснованный выбор количественного показателя помехозащищенности играет важную роль в оценке и анализе помехозащищенности каналов радиосвязи. При этом данный показатель должен, с одной стороны, достаточно точно отражать сущность оцениваемого явления, а с другой стороны, по возможности просто вычисляться.

Для систем связи известен общий показатель эффективности – вероятность выполнения поставленной задачи [1]. Очевидно, что для канала радиосвязи такой задачей является вероятность доведения информации $P_{\text{дк}}$ от источника до получателя длительностью T_0 за заданное время $T_{\text{зад}}$. Следовательно, показатель помехозащищенности канала радиосвязи должен оценивать возможность по доведению информации в условиях преднамеренного помехового воздействия.

Предполагается, что особенностью РЭП УКВ радиолиний будет массированное применение забрасываемых передатчиков помех (ЗПП) однократного использования, разбрасываемых в пространстве беспилотными летательными аппаратами в виде эквидистантной решетки [2]. Формируемое такими передатчиками помех поле в точке приема является неравномерным и изменяющимся во времени. Существующие математические модели позволяют рассчитать интегральную мощность помехового воздействия (рис. 1), но недостаточно полно исследуют ее распределение в пространстве и во времени, следствием чего является их работа только в стационарных условиях. В связи с этим для определения количественного показателя помехозащищенности каналов радиосвязи, удовлетворяющего

© А.О. Малофей, А.А. Смирнов, 1998

перечисленным требованиям, необходимо построить модель данного канала.

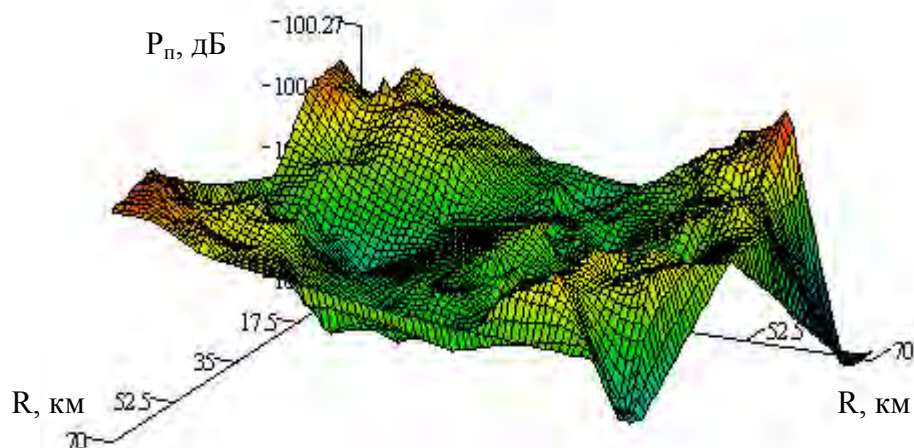


Рисунок 1 - Интегральная мощность помехового воздействия в точке приема

Математическая модель помехового воздействия, содержит три основных уровня. На первом уровне оценивается энергетическое подавление радиоканала прямой видимости в конкретные моменты помехового воздействия. На втором осуществляется сбор статистики ошибок в канале передачи, что позволяет на третьем уровне произвести оценку эффективности различных систем кодирования, которые учитывают нестационарность помеховой обстановки.

Так как время работы передатчиков помех $T_{\text{рп}}$ ограничено, то в данном случае $T_{\text{зад}} = T_{\text{рп}}$. Поскольку целью подавления радиоканала является дезорганизация или снижение эффективности связи, то с точки зрения оценки помехозащищенности, являются два состояния:

- когда эта цель достигнута (канал подавлен);
- когда она не достигнута.

Изменение состояния канала во времени удобно представить в виде дискретного случайного процесса $\Theta(T)$ с двумя состояниями (рис. 2).

Состояние $\Theta_1 = 1$ соответствует сигнально - помеховой обстановке, при которой отношение мощности помехи к мощности сигнала $K = P_{\Pi}/P_c$ на входе приемника подавляемого канала радиосвязи меньше заданного коэффициента подавления K_{Π} ($P_{\Pi} / P_c < K_{\Pi}$) [2], при этом время, в течение которого $K < K_{\Pi}$ называется временем неподавления $T_{\text{нп}}$. Состояние $\Theta_2 = 0$ соответствует сигнально - помеховой обстановке, когда

$K \geq K_{\text{п}}$, а время, в течение которого $K \geq K_{\text{п}}$, называется временем подавления $T_{\text{п}i}$.

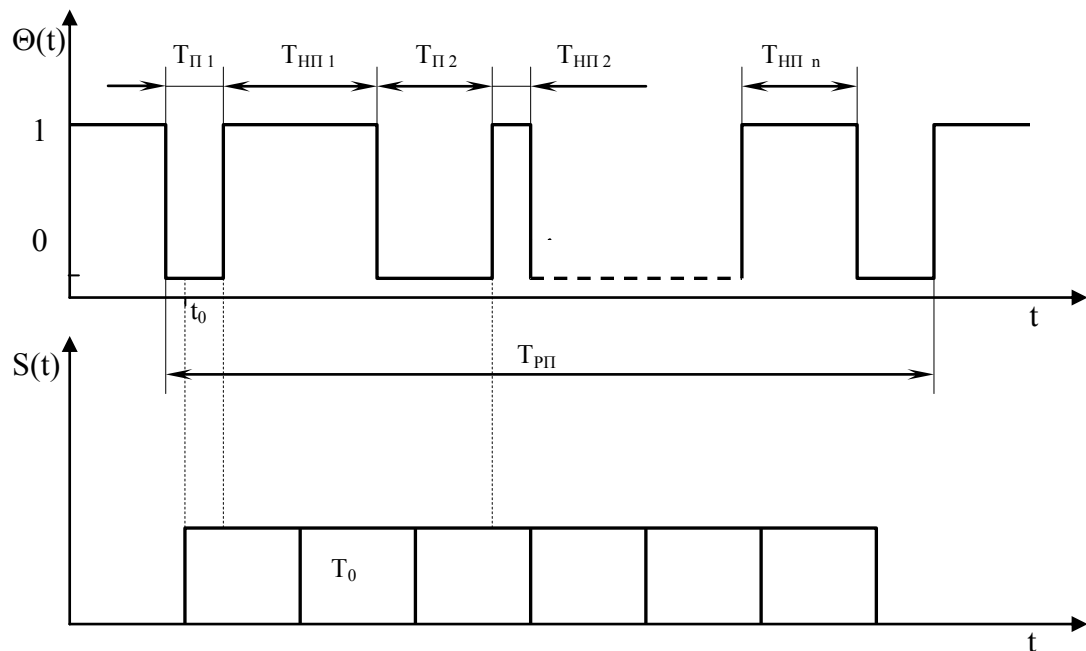


Рисунок 2 - Состояние канала и периодический процесс передачи $S(t)$ с периодом (длительностью команды) T_0

Таким образом, модель канала радиосвязи представляет собой функцию $\Theta(t)$ стационарности радиоканала.

$$\Theta(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } K(t) < K_{\text{п}}; \\ 0 & \text{при } K(t) \geq K_{\text{п}}. \end{cases} \quad (1)$$

Характер функции $\Theta(t)$ зависит от взаимного пространственного расположения радиоэлектронных средств (РЭС) и ЗПП (высоты полета ЗПП, с которой они начинают работу, расстояния от РЭС до траверса ближайшего ЗПП и расстояния между ЗПП в эквидистантной решетке), средней скорости и направления ветра, специфической траектории движения ЗПП, диаграммы направленности приемной антенны и вида модуляции.

Рассмотренный подход в полной мере оправдан ввиду антагонистического характера целей враждующих сторон. Математически это отражается двумя противоположными неравенствами $K \geq K_{\text{п}}$ и $K < K_{\text{п}}$, к достижению которых стремятся стороны. Очевидно, что времена $T_{\text{нп}i}$ и

$T_{\text{ни}}$ статистически независимы, поскольку характеризуют различные технические средства и организационно - технические мероприятия.

Из модели видно, что количественным показателем помехозащищенности канала радиосвязи является среднее время неподавления

$$\bar{T}_{\text{ни}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{ни}i}}{n}, \quad (2)$$

где n – число временных интервалов неподавления. Однако известно, что в общем случае помехозащищенность зависит от технических характеристик радиоканала, взаимного расположения радиоприемника и передатчика помех, от тактики использования канала радиосвязи и средств подавления, от времени их работы. Сочетание этих условий носит случайный характер. Наличие априорной неопределенности делает задачу моделирования канала радиосвязи вероятностной [3]. Поэтому в создаваемой модели производился расчет интегральной помеховой обстановки в точке приема в зависимости от времени. По полученной временной зависимости отношения сигнал - помеха $K(t)$ (рис. 3) рассчитывалось среднее время неподавления $\bar{T}_{\text{ни}}$, в течении которого вероятность ошибки приема сигналов, вычисляемая по формуле [4]

$$P_{\text{ош}}(t) = \frac{1}{2} (1 - \Phi(\gamma \cdot K(t))), \quad (3)$$

была не хуже заданной (рис. 4), где γ - параметр, зависящий от вида модуляции.

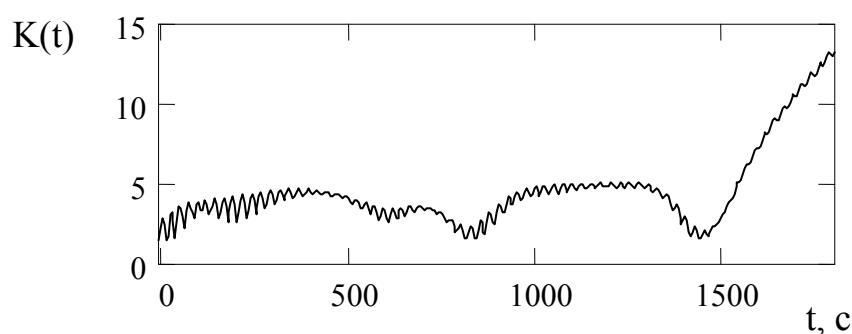


Рисунок 3 - Отношение сигнал-шум на входе приемника в зависимости от времени

Анализируя результаты математического моделирования, можно сделать вывод об эффективности применения тех или иных видов коди-

рования для достижения требуемого значения вероятности доведения информации $P_{\text{дк}}$.

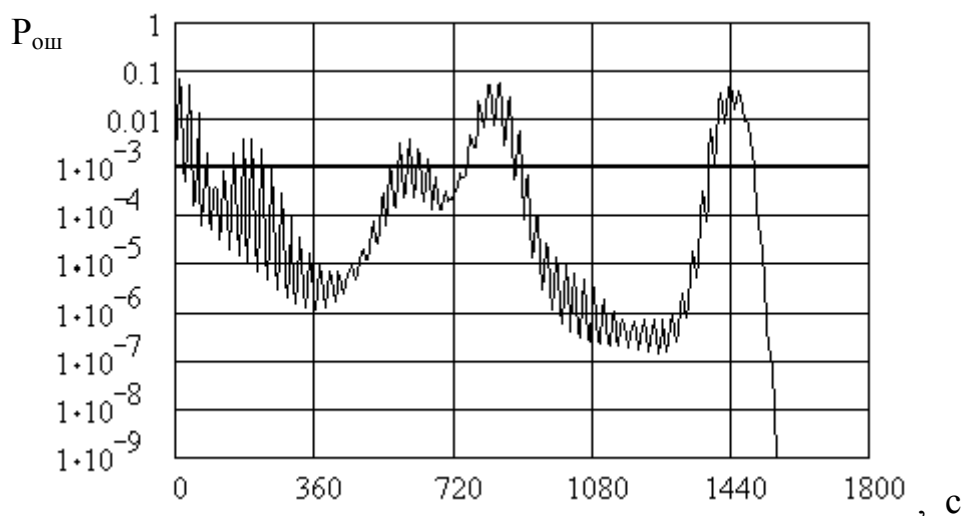


Рисунок 4 - Вероятность ошибочного приема сигнала с частотной модуляцией

Таким образом, данная математическая модель канала УКВ радиосвязи построена с учетом реальной сигнально - помеховой обстановки, возникающей в условиях РЭП. Это позволит производить анализ и оценку помехозащищенности УКВ радиоканалов военных систем радиосвязи, а так же эффективность мероприятий по ее повышению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность и радиоэлектронная защита систем военной связи / Под ред. В. Ф. Комаровича. – Л.: ВКАС, 1980. - 275 с.
2. Палий А. М. Радиоэлектронная борьба: средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем. – М.: Воениздат, 1981. – 320 с.
3. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Курс статистического моделирования. – М.: Наука, 1976. – 320 с.
4. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Советское радио, 1963. – 576 с.