

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ
ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ АГРЕГАТИВНОГО
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ****И. В. Зайцев, А. А. Молев (Воронеж)**

В настоящее время в ведомственных системах (линиях) радиосвязи широко используются методы криптозащиты, обеспечивающие эффективную защиту передаваемой информации от прослушивания и подмены. В качестве наиболее опасного метода несанкционированного доступа к передаваемой информации рассматривается воздействие преднамеренных помех с целью разрушения информации в интересах задержки и срыва ее доставки.

Известные модели функционирования линий радиосвязи в условиях преднамеренных помех [1–2] являются аналитическими и обладают рядом недостатков, присущих любой аналитической модели. Наиболее полное исследование процесса функционирования аналитическими методами [3–4] возможно провести при наличии точного математического описания системы в целом, связывающего искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными модели. Однако такие зависимости удается получить только для сравнительно простых систем. При необходимости учета множества случайных факторов, воздействующих на элементы системы, неопределенности исходной информации, наличия корреляционных связей между большим числом параметров, характеризующих процессы в системах, математическое описание существенно усложняется. В этом случае затруднительно исследовать их аналитическими методами и приходится либо упрощать модель, что дает возможность изучить лишь общие свойства системы, либо использовать численные методы решения, которые, в свою очередь, имеют частный характер.

Использование методов имитационного моделирования при проведении исследований эффективности и при обосновании технических требований к системам радиосвязи в условиях преднамеренных помех позволяет вскрыть закономерности процесса функционирования средств связи, провести обоснование рациональных вариантов структуры, содержания протоколов информационного обмена и алгоритмов функционирования системы радиосвязи.

Целью данной работы является разработка агрегативной имитационной модели функционирования системы радиосвязи в условиях преднамеренных помех, позволяющей оценивать эффективность функционирования различных вариантов ее построения в зависимости от технических характеристик средств связи и создания помех.

Модель функционирования системы радиосвязи в условиях преднамеренных помех состоит из большого количества взаимодействующих моделей подсистем. Для реализации такой модели необходимо иметь общую схему формализации, позволяющую унифицировать математическое описание и алгоритм функционирования всех элементов системы радиосвязи и комплекса радиопротиводействия (КРПД). В качестве такой универсальной схемы выбран метод, основанный на использовании кусочно-линейных агрегатов (КЛА), позволяющий объединить элементы различной степени сложности в единую схему. При этом частные модели элементов системы радиосвязи и КРПД могут быть описаны различными математическими конструкциями – системами массового обслуживания, вероятностными автоматами, конечными автоматами, дифференциальными уравнениями и т. п. Процесс функционирования сводится к обмену сигналами и реакциям агрегатов на поступившие сигналы [3–4].

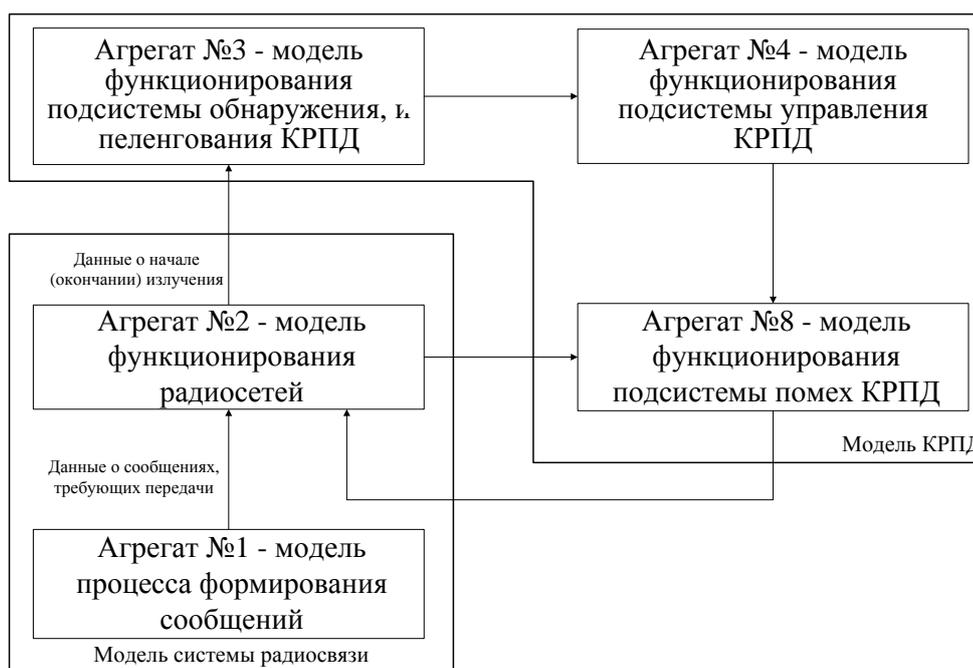


Рис. 1. Структурная схема модели функционирования системы радиосвязи в условиях преднамеренных помех

Модель функционирования системы радиосвязи в условиях преднамеренных помех представлена на рис. 1. Модель включает 5 взаимосвязанных по входам и выходам кусочно-линейных агрегатов, формализующих алгоритмы функционирования системы радиосвязи и комплекса радиопротиводействия.

Агрегат 1 представляет собой частную модель процесса формирования заявок на передачу сообщений в системе радиосвязи. Предполагается, что каждая радиосеть состоит из одной главной радиостанции и $N_{\text{абоні}}$ подчиненных. При наступлении паузы в радиосети следующее сообщение передает любая радиостанция в соответствии с распределением вероятности выхода в эфир корреспондентов этой сети (вероятность выхода главной радиостанции принята равной 0,5, остальных – $0,5/N_{\text{абоні}}$).

Агрегат 2 воспроизводит процесс функционирования системы радиосвязи в условиях помех как совокупности симплексных радиосетей. Основной мерой помехозащиты радиосети считается смена группового набора (рабочей частоты) и повторная передача искаженной части (если искажено менее половины сообщения) или всего сообщения (фрагмента) целиком заново. Решение о повторной передаче принимается по окончании передачи сообщения, после чего происходит перестройка и вхождение в связь на новой частоте.

Агрегат 3 моделирует процесс функционирования подсистемы обнаружения и пеленгования КРПД. Он воспроизводит погрешности измерения параметров обнаруженных источников, а также временные задержки на выполнение операций по обработке информации аппаратурой обнаружения.

Агрегат 4 моделирует процесс функционирования подсистемы помех КРПД путем воспроизведения процедур контроля наличия излучения в системе радиосвязи, текущего целераспределения, начала (окончания) «излучения» помехи.

Агрегат 5 представляет собой частную модель процесса функционирования подсистемы управления комплекса радиопротиводействия, обеспечивающего выполнение функций по анализу и обобщению данных радиоэлектронной обстановки, выявлению объектов воздействия, формированию команд на создание помех.

Формализация поведения каждого из описанных выше агрегатов осуществляется путем задания:

множества входных сигналов $X^l = \{X_n^l\}$, где $n = 1 \dots N$ – номера входов l -го агрегата;

множества выходных сигналов $Y^l = \{Y_m^l\}$, где $m = 1 \dots M$ – номера выходов l -го агрегата,

множества состояний $Z^l = \{V^l, Z_v^l, S^l\}$, где V^l – основное состояние l -го агрегата; Z_v^l – вектора дополнительных координат размерности V^l ; S^l – вектора параметров состояния V^l ;

пяти операторов:

скачкообразного изменения состояния l -го агрегата под действием сигнала на входе n : $Z^l(t+0) = W_n^l(Z^l(t), X_n^l)$;

скачкообразного изменения состояния l -го агрегата при выходе на границу (и соответствующем формировании сигнала на выходе m): $Z^l(t+0) = V_m^l(Z^l(t), Y_m^l)$;

линейного изменения состояния l -го агрегата в интервале между действием входных и формированием выходных сигналов: $Z^l(t+\tau) = U^l(Z^l(t), \tau)$;

формирование сигнала на выходе m l -го агрегата $Y_m^l = G_m^l(Z^l(t))$;

выбора номера активного выхода l -го агрегата $M = H^l(Z^l(t))$.

Множество состояний $Z_{ik}(t)$ для каждого агрегата системы представляет собой время, оставшееся до наступления очередного особого состояния, где i – номер агрегата, k – номер компоненты вектора Z для данного агрегата. В процессе убывания величина $Z_{ik}(t)$ достигает границы, в этот момент i -й агрегат выдает выходной сигнал и происходит скачок состояния – формирование временного интервала выдачи очередного сигнала.

Схема сопряжения задается в виде совокупности трех взаимосвязанных массивов:

$P [l, m]$, характеризующего количество агрегатов, подключенных к m -му выходу l -го агрегата,

$C [l, m, p]$, характеризующего номера агрегатов, подключенных к m -му выходу l -го агрегата, где $p = 0 \dots P$ – порядковый номер агрегата в совокупности агрегатов, подключенных к m -му выходу l -го агрегата,

$D [l, m, p]$, характеризующего номера входов агрегатов, подключенных к m -му выходу l -го агрегата.

Основными исходными данными модели являются: технические характеристики средств радиосвязи, структура системы радиосвязи, технические характеристики комплекса радиопротиводействия.

Алгоритм моделирования описанной конфликтной системы (рис. 2) построен в соответствии с принципом «особых» состояний. При этом под «особыми» понимаются состояния агрегата в моменты времени получения входного или выдачи выходного сигнала. Физический смысл особых состояний различен для разных агрегатов и определяется содержанием поступающих входных и формирующихся выходных сигналов.

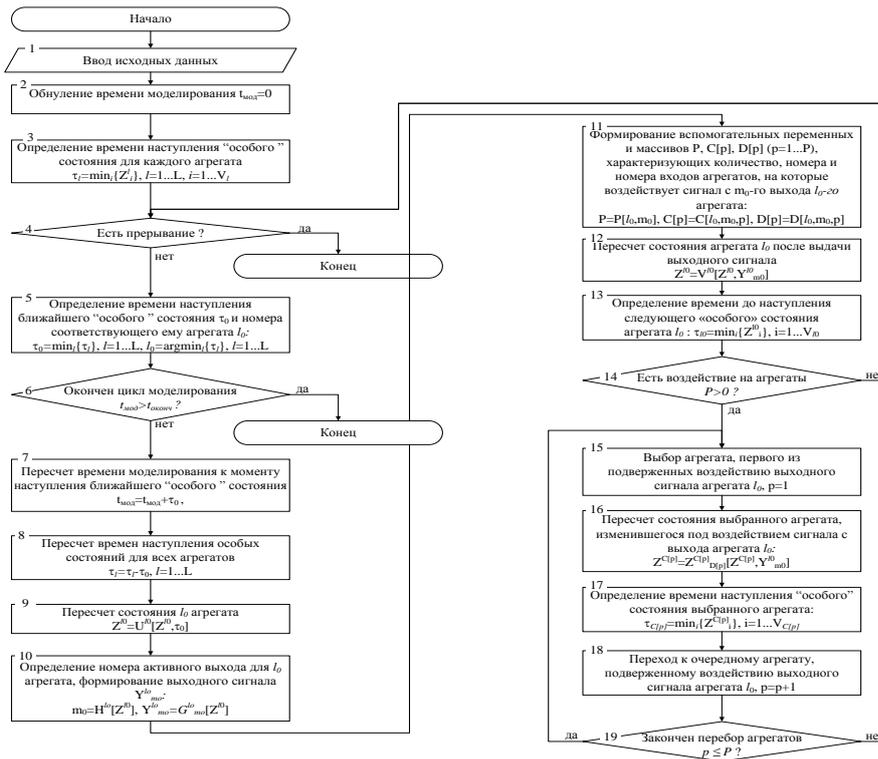


Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования

Взаимодействие элементов в описываемой агрегативной системе сводится к обмену сигналами в опорные моменты времени и реакциям агрегатов на поступившие сигналы (скачки состояний). В интервалах времени между опорными моментами моделируемая система «разбивается» на отдельные элементы, функционирующие независимо друг от друга, но с учетом влияния сигналов, поступивших в предыдущие опорные моменты времени.

Пересчет состояний модели происходит циклично, до окончания времени моделирования. В начале каждого цикла определяется время до наступления ближайшего особого состояния τ_0 и номер соответствующего агрегата l_0 . Далее пересчитывается текущее состояние агрегата l_0 , происходит выход на границу пространства состояния и формируется выходной сигнал; в том случае, если есть агрегаты, подверженные воздействию сигнала с выхода агрегата l_0 , пересчитываются их состояния.

Определяется время наступления особых состояний агрегата l_0 и агрегатов, получивших входной сигнал. Далее процесс повторяется заново, при этом каждый раз перед началом обсчета модели проверяется условие превышения времени, прошедшего с начала моделирования, того времени, в течение которого необходимо проводить моделирование, в случае выполнения данного условия процесс моделирования завершается.

В соответствии с общепринятым подходом [1] эффективность функционирования системы радиосвязи может оцениваться средним временем передачи и вероятностью своевременной передачи сообщения P_{cn} , под которой понимается вероятность того, что время пребывания сообщения в системе не превысит времени ценности информации $P_{cn} = P(T_{np} \leq T_{ци})$.

Для проверки адекватности разработанной имитационной модели построены зависимости выбранных показателей эффективности от интенсивности передаваемых в линиях радиосвязи сообщений для различных значений времени ценности информации. Графики зависимостей приведены на рис. 3. На этих же графиках пунктирными линиями изображены зависимости, полученные с использованием аналитической модели [2].

Из приведенных зависимостей видно, что результаты имитационного эксперимента и аналитического расчета близки в пределах 3–5%, что свидетельствует об адекватности разработанной модели.

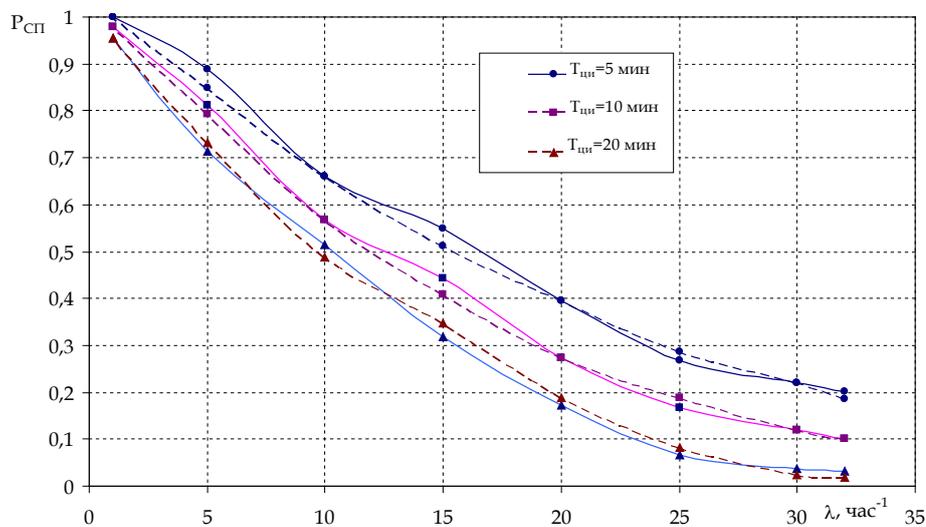


Рис. 3. Зависимости вероятности своевременной передачи сообщения от интенсивности сообщений для различных значений времени ценности информации (пунктирные линии – аналитическая модель, сплошные – имитационная)

Таким образом, разработана агрегативная имитационная модель функционирования системы радиосвязи в условиях преднамеренных помех, позволяющая проводить оценку эффективности функционирования систем радиосвязи в зависимости от технических характеристик средств связи и создания помех. С использованием разработанной модели может оцениваться эффективность различных вариантов построения системы радиосвязи. При этом размерность системы может быть сколь угодно большой, ограниченной лишь временем на вычисление показателей.

Литература

1. Зайцев И. В., Обухов А. Н., Демиденко В. Т., Мешкова А. Ф. Оценка эффективности защиты информации в линиях радиосвязи в условиях преднамеренных помех//Информация и безопасность. Вып. 3. Воронеж: ВГТУ, 2002. С. 115–118.
2. Зайцев И. В., Лисовский В. С. Использование методов теории массового обслуживания для оценки эффективности линий радиосвязи в условиях помех//Научно-практическая конференция ВВШ МВД России: Тезисы докладов. Часть 2. Воронеж: ВВШ МВД России, 1997. 104 с.
3. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем/Н.П. Бусленко. М.: Наука, 1978. 400 с.
4. Шелухин О. И. Моделирование информационных систем/О. И. Шелухин, А. М. Тенякшев. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.