

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОНФЛИКТА СЛОЖНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ДИНАМИКА ЗАГРУЗКИ СТОРОН

М. В. Павловский*, Н. А. Тюкачев**

* ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

** Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 30.10.2015 г.

Аннотация. В статье предложен способ формирования и анализа конфликтного взаимодействия потока заявок на обслуживание и потока преднамеренных помех в имитационной модели радиоэлектронного конфликта сложных эргатических систем. Приведены сведения об их реализации в виде алгоритмов и подпрограмм.

Ключевые слова: радиоэлектронный конфликт, система связи и передачи данных, система, осуществляющая подавление, имитационная модель конфликтно взаимодействия.

Annotation. In the article the method of formation and analysis of the conflict interaction flow of service requests and thread jamming in the simulation model of the radio-electronic conflict of complex ergatic systems. Provides information about their implementation in the form of algo-rhythms and routines.

Keywords: radio-electronic conflict, communication system and data transmission system engaged in the suppression, the simulation model of conflict interaction.

ВВЕДЕНИЕ

Задача нахождения инфлюент, позволяющих осуществлять координацию сложных эргатических систем, участвующих в радиоэлектронном конфликте, относится к числу слабо структурированных задач, к которым не применим метод аналитического решения [1]. Поэтому в [2] был предложен метод нахождения инфлюент с помощью имитационной модели конфликтного взаимодействия таких систем, в качестве которых могут рассматриваться различные системы связи и передачи данных (ССПД) в рамках воинских формирований противника и системы, осуществляющие их подавление (СОПД) из состава ВС РФ. Однако в данной работе не указан способ формирования потоков нагрузки: полезной, формируемой ССПД, и помеховой, генерируемой СОПД.

Загрузка двух конфликтующих сторон, рассматриваемых в имитационной модели конфликтного взаимодействия (ИМКВ) [2],

не является постоянной величиной, носит вероятностный характер, что существенно усложняет процесс ее анализа и воспроизведения при проведении кратных прогонов модели, осуществляемых в интересах набора статистических данных. При этом для получения статистически однородных данных [3], обработка которых позволит получить непротиворечивые и обоснованные рекомендации по применению СОПД в составе вышестоящих структур, необходимо обеспечить повторяемость элементарных конфликтов на уровне рассмотрения «отдельное средство в составе ССПД – образец техники в составе СОПД». Такая задача при построении ИМКВ не является тривиальной, так как требует учета различных условий подавления в каждом случае анализа дуэльной ситуации.

Представленная в [2] структура ИМКВ содержит блок генерации трафика (БГТ), в котором выделяются:

модуль расчета полезной нагрузки (МРПН), в котором формируются моменты времени затребования коллективного ресурса элементами ССПД, а по виду источника и

потребителя определяется категория сообщения и количество линий и диапазонов передачи;

модуль формирования пакетов из сообщений (МФП), в котором осуществляется разбиение целого сообщения на отдельные пакеты;

модуль определения преднамеренных помех коллективному радиоканалу (МОПП), в котором формируются моменты времени включения элементов СОПД на излучение;

модуль корректировки моментов затребования (МКМЗ), в котором для конфликтных передач ССПД осуществляется определение момента повторной передачи.

Однако представленное в [2] описание БГТ не позволяет понять используемые процедуры, что приводит к невозможности алгоритмизации (и, как следствие, невозможности программирования) работы всего блока. Следовательно, целью настоящей статьи является описание работы БГТ и всех входящих в него модулей в интересах формирования таблиц, определяющих динамику загрузки ССПД и создания элементами СОПД мешающего трафика.

Модуль расчета полезной нагрузки

Модуль расчета полезной нагрузки (МРПН), определяющий моменты затребования коллективного ресурса ССПД различными органами управления (ОУ) в составе ССПД, работает следующим образом. В ранее опубликованных материалах [4] была описана таблица «**ОУ противника**», которая, кроме всего прочего, содержит:

1) указание на **количество категорий** сообщений, которое может быть сгенерировано на данном ОУ, измеряемое в штуках, но не большее четырех. При этом количество категорий не связано с номерами (или с наименованием, или со статусом, или с уровнями срочности) категорий, задаваемыми в таблице «**Категории**»;

2) **наименование категорий**, передаваемых с ОУ, которое выбирается из таблицы «**Категории**», а их количество определяется ранее введенной характеристикой «**количе-**

ство категорий». При этом, если на предыдущем шаге задано, например, три категории, то это означает только использование в данном ОУ трех из всех возможных категорий, но не трех подряд категорий из соответствующей таблицы;

3) для каждой категории на ОУ указывается **максимальная длительность** сообщения, формируемая на данном ОУ, которая не должна выходить за рамки соответствующих минимальной и максимальной тактико-технических характеристик (ТТХ) в таблице «**Категории**»;

4) для каждой категории на ОУ указывается его **интенсивность генерирования** на длительности интервала моделирования, раз в единицу времени.

Данная информация позволяет определить полезную нагрузку ССПД, а ее (информации) обработка осуществляется в МРПН. При этом для каждого ОУ, получившего свой собственный «**ID**» формируется двумерный массив «**WER-SOOB-ID**», различаемые по соответствующим номерам «**ID**». При этом в качестве строк такого массива рассматриваются категории «**WER-SOOB-ID_i**», формируемые на данном ОУ, а в качестве столбцов – тактовые моменты времени моделирования. На пересечении строк и столбцов указывается ноль или единица. Если значение «**WER-SOOB-ID_{ij}**» равно единице, то это означает что в данном тактовом окне на ОУ сформировано сообщение, подлежащее передаче по каналам связи. В противном случае считается, что сообщения не сформировано.

Для определения моментов времени, в которые осуществляется формирование сообщений (то есть задание для «**WER-SOOB-ID_{ij}**» j-ой компоненты) требуемой категории (то есть задание для «**WER-SOOB-ID_{ij}**» i-ой компоненты), осуществляется следующая процедура:

1. Выбирается первая из возможных категорий для данного ОУ.

2. Осуществляется деление длительности **интервала моделирования**, выбираемого из таблицы «**Общие свойства модели**», на величину обратную **интенсивности генерирования**, выбираемую из таблицы «**ОУ противни-**

ка» для данного ОУ и для данной категории. Результат перемножения определяет количество временных интервалов, на длительности которых обязательно будет сформировано сообщение заданной категории.

3. Весь **интервал моделирования** делится на количество интервалов, полученных на предыдущем шаге, причем каждый интервал равняется длительности обратной **интенсивности генерирования**.

4. Для каждого полученного временного интервала с помощью датчика случайных чисел (ДСЧ) определяется случайное окно, в котором формируется новое сообщение заданной категории. В массив «**WER-SOOB**» для соответствующего временного окна заносится двумерный вектор «**WS (i; j)**», в котором элемент «i» равен значению «**ID**» ОУ-источника сообщения, а элемент «j» равен значению «**ID**» ОУ-адресата.

5. Повторяется действие по пункту 4 для всех временных интервалов для заданной категории и для данного ОУ.

6. Для каждой другой возможной категории сообщений с данного ОУ осуществляется повторение действий по пунктам 2–5.

7. Осуществляется переход к рассмотрению другого ОУ, то есть к заполнению другого массива «**WER-SOOB-ID**».

Для каждого ОУ и для каждого значения его массива «**WER-SOOB-ID**», равного единице, осуществляется розыгрыш с помощью ДСЧ:

1. Длительности сообщения ($T_{\text{сооб-ij}}$) по формуле (1), в которой значение длительности лежит в пределах минимальной ($T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат}}$) и максимальной ($T_{\text{сооб-ij-макс}}^{\text{кат}}$) длительности из таблицы «**Категории**»:

$$T_{\text{сооб-ij}} = T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат}} + dsch \times (T_{\text{сооб-ij-макс}}^{\text{кат}} - T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат}}), \quad (1)$$

где $dsch$ – случайное число, распределенное по равномерному закону и выдаваемое ДСЧ в интервале [0; 1].

2. Времени оперативной ценности сообщения заданной категории по формуле (2), идентичной формуле (1), но в которой используются минимальное ($T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат-оц}}$) и максимальное ($T_{\text{сооб-ij-макс}}^{\text{кат-оц}}$) значения оперативной

ценности информации, передаваемой в сообщении, также выбираемое из таблицы «**Категории**»:

$$T_{\text{сооб-ij}}^{\text{оц}} = T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат-оц}} + dsch \times (T_{\text{сооб-ij-макс}}^{\text{кат-оц}} - T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат-оц}}). \quad (2)$$

3. Длительность увеличения сообщения, определяющая количество его избыточности, которое рассчитывается добавлением к исходному сообщению дополнительных проверочных и служебных посылок. Для определения данного увеличения в таблице «**WNUTR-SWJAZI**» [5] в пятом столбце указывается общее число дополнительных (проверочных, служебных и других) посылок сообщений в радиосети, лежащее в интервале [1; 2], приводящее к увеличению длительности исходного сообщения, определяемое с помощью ДСЧ и постоянное для выбранной радиосети. В соответствии с этим итоговая длительность сообщения определяется по формуле (3), построенной по принципам формулы (1):

$$T_{\text{сооб-ij}}^{\text{ит}} = [T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат}} + dsch \times (T_{\text{сооб-ij-макс}}^{\text{кат}} - T_{\text{сооб-ij-мин}}^{\text{кат}})] \times d[1; 2], \quad (3)$$

где $d[1; 2]$ – число из пятого столбца таблицы «**WNUTR-SWJAZI**».

Завершает работу МРПН процедура «**ADRESAT**», которая для каждого сообщения из массива «**WER-SOOB**»:

1) методом случайного выбора определяет направление передачи сообщения: «вверх» или «вниз», «соседу справа» или «соседу слева», «взаимодействующему ОУ», «подчиненному ОУ» или «обеспечивающему ОУ»;

2) если выбрано направление «вниз», то из таблицы «**WNUTR-SWJAZI**» случайным выбором осуществляется определение одного из нескольких ОУ, подчиненных данному ОУ (при этом данный ОУ должен быть определен как «главный ОУ» данной радиосети);

3) если выбрано направление «вверх», то из таблицы «**SWJAZN**» случайным выбором осуществляется определение одного из нескольких ОУ, расположенных по иерархии выше данного ОУ (при этом данный ОУ не должен быть определен как «главный ОУ» данной радиосети);

4) если выбрано направление «соседу справа» или «соседу слева», то из таблицы

«WNUTR-SWJAZI» случайным выбором осуществляется определение одного из нескольких ОУ, подчиненных одному (третьему по счету, «главному ОУ» данной радиосети) ОУ из внутренней радиосети;

5) если выбрано направление «взаимодействующему ОУ», «подчиненному ОУ» или «обеспечивающему ОУ», то из таблицы «SWJAZI-WZAIM» (которая формируется аналогично таблице «WNUTR-SWJAZI» только для организации связи между ОУ, не имеющими непосредственной подчиненности) случайным выбором осуществляется определение одного из нескольких ОУ, включенных в данную радиосеть.

Завершает работу процедуры «ADRESAT» процесс формирования одноименной таблицы, в которой для каждого сообщения во взаимно однозначное соответствие поставлены элемент таблицы (массива) «WER-SOOB» и пара «источник сообщения» – «адресат».

Таким образом, осуществляется работа модуля расчета полезной нагрузки для каждого отдельного ОУ, после завершения работы которого для всех ОУ на всей длительности имитационного моделирования осуществляется формирование таблицы «WER-SOOB», в которой записываются в порядке возрастания времени событий значения «ID» ОУ, на которых формируются сообщения.

Модуль формирования пакетов из сообщений

Модуль формирования пакетов из сообщений (МФП), в котором осуществляется разбиение целого сообщения на отдельные пакеты, работает по принципам сетей передачи данных [6], что позволяет алгоритмизировать его работу следующим образом. Для каждого сообщения из таблицы «WER-SOOB» и для каждого значения массива «WER-SOOB-ID», для которого по формуле (3) определено значение $T_{\text{сооб}_{ij}}^{\text{um}}$, по формуле (4) определяется число элементарных пакетов информации ($n_{\text{пак}_{ij}}$), передаваемых по линиям связи ССПД:

$$n_{\text{пак}_{ij}} = \left\lceil \frac{T_{\text{сооб}_{ij}}^{\text{um}}}{sh} \right\rceil, \quad (4)$$

где «sh» – шаг моделирования, соответствующий минимальному времени изменения характеристик радиоэлектронного конфликта (РЭК), измеряемому в миллисекундах, введенному в таблице «Общие свойства модели», а оператор $\lceil \bullet \rceil$ осуществляет округление результатов вычисления до ближайшего целого числа в сторону увеличения.

При этом для каждого полученного таким образом пакета остается неизменным, соответствующим аналогичным данным для сообщения, время формирования, время оперативной ценности, ID ОУ-источника и ID ОУ-адресата. Это позволяет сформировать таблицу «WER-ПАК», в которой отображаются все данные о пакетах, «живущих» в ССПД. При этом каждая строка данной таблицы описывает отдельный пакет, «живущий» в ССПД, а столбцы таблицы (массива) имеют физический смысл:

первый столбец – порядковый номер пакета в ССПД;

второй столбец – порядковый номер сообщения в ССПД;

третий столбец – время формирования сообщения и пакета;

четвертый столбец – время оперативной ценности сообщения;

пятый столбец – ID ОУ-источника сообщения и пакета;

шестой столбец – ID ОУ-адресата сообщения и пакета;

седьмой столбец – количество пакетов в сообщении, то есть результат вычисления по формуле (4);

восьмой столбец – номер пакета в сообщении;

девятый столбец – время жизни пакета в ССПД, вычисляемое как разница между текущим временем моделирования и моментом времени формирования сообщения (данная характеристика заполняется автоматически только после начала всего процесса моделирования и только после превышения текущего времени моделирования момента времени формирования сообщения, то есть она не может быть отрицательной);

десятый столбец – логическая переменная: «Да» – если значение девятого столбца

меньше значения четвертого столбца (то есть если значение времени жизни пакета меньше времени оперативной ценности); «Нет» – в противном случае;

одиннадцатый столбец – **ID ОУ**, в котором в данный момент машинного времени моделирования находится пакет на пути маршрута от источника до адресата;

двенадцатый столбец – **ID ОУ**, в который в данный момент машинного времени моделирования надлежит передать пакет на пути маршрута от источника до адресата по итогам выполнения сетевого алгоритма маршрутизации, то есть после завершения очередного (адаптивного) расчета маршрута.

При этом заполнение одиннадцатого и двенадцатого столбцов таблицы «**WER-PAK**» осуществляется, соответственно, после каждого признанного удачным процесса передачи на предыдущем шаге моделирования, то есть после завершения удачной попытки передачи на пути от источника к адресату.

Таким образом, завершается работа **модуля формирования пакетов из сообщений**, результаты которого автоматически фиксируются в таблице «**WER-PAK**».

Модуль определения преднамеренных помех

Модуль определения преднамеренных помех коллективному радиоканалу (МОПП), используемому ССПД, в котором формируются моменты времени включения элементов СОПД на излучение, предназначен для розыгрыша моментов формирования преднамеренных помех (ПНП), создаваемых образцами из состава СОПД в коллективном радиоканале (КРК). Для формирования указанных моментов из таблицы «**Общие свойства модели**» выбираются:

1) **время начала подавления** ($T_{НП}$), определяющее момент времени, с которого осуществляется разведка и подавление информации в ССПД;

2) **интервал доразведки** ($t_{ДРВ}$) – начальная стадия любого цикла подавления, представляющая собой постоянную величину, определяемую видом комплекса подавления;

3) **интервал подавления** ($t_{ПД}$) – переменная величина в пределах от минимального ($t_{ПД}^{мин}$) до максимального ($t_{ПД}^{макс}$) значения, изменяемого с **шагом подавления** ($sh_{ПД}$), на который накладывается условие:

$$sh_{ПД} \geq sh.$$

При этом предполагается, что:

все образцы техники из состава СОПД функционируют в едином цикле «Доразведка – Контроль – Подавление», причем момент окончания подцикла «Доразведка» (постоянной величины в едином цикле) соответствует началу подцикла «Контроль – Подавление», по окончании которого опять формируется подцикл «Доразведка»;

синхронизация образцов техники из состава СОПД в едином цикле «Доразведка – Контроль – Подавление» обеспечивает их функционирование с учетом разнесения на местности позиций и позиционных районов; максимальное количество подциклов «Контроль – Подавление» ($n_{макс}$) на интервале подавления является целым и определяется по формуле (5):

$$n_{макс} = \frac{(t_{ПД}^{макс} - t_{ПД}^{мин})}{sh_{ПД}}. \quad (5)$$

Общая формула расчета времени единого цикла «Доразведка – Контроль – Подавление» определяет специфику процесса радиоподавления:

$$T_{ц} = t_{ДРВ} + t_{ПД}^{мин} + sh_{ПД} \times dsch[0; n_{макс}], \quad (6)$$

где $dsch[0; n_{макс}]$ – случайное целое число, равномерно распределенное в интервале от «0» до « $n_{макс}$ ».

По данным расчета по формулам (5) и (6) заполняется таблица «**WER-PNP**», в которой указываются временные интервалы подциклов «Доразведки» и «Контроля – Подавления». При этом строки соответствуют временным моментам процесса моделирования, а в столбцах записываются:

в первом – номер цикла «Доразведка – Контроль – Подавление»;

во втором – момент начала очередного подцикла «Доразведка», равного моменту окончания предыдущего подцикла «Контроль – Подавление», во всех случаях, кроме

первого цикла, в котором записывается время начала подавления ($T_{\text{НП}}$) из таблицы «Общие свойства модели»;

в третьем – момент начала очередного подцикла «Контроль - Подавление», определяемого как сумма значений первого столбца таблицы и значения длительности интервала доразведки ($t_{\text{ДРВ}}$);

в четвертом – момент окончания очередного подцикла «Контроль - Подавление», вычисляемого по формуле (6).

Пример заполнения таблицы «WER-PNP» представлен табл. 1.

Таблица 1

Пример заполнения таблицы «WER-PNP»

1	$T_{\text{НП}}$	$T_{\text{НП}} + t_{\text{ДРВ}}$	T_{u-1}
2	T_{u-1}	$T_{u-1} + t_{\text{ДРВ}}$	T_{u-2}
3	T_{u-2}	$T_{u-2} + t_{\text{ДРВ}}$	T_{u-3}
...
n	$T_{u-(n-1)}$	$T_{u-(n-1)} + t_{\text{ДРВ}}$	T_{u-n}
...

Заполнение таблицы «WER-PNP» прекращается только в том случае, если значение, записываемое в третий или четвертый столбцы, превысит значение «интервал моделирования» из таблицы «Общие свойства модели».

Таким образом, завершается работа модуля определения преднамеренных помех, результаты которого автоматически фиксируются в таблице «WER-PNP».

Модуль корректировки моментов затребования

Модуль корректировки моментов затребования (МКМЗ), в котором для конфликтных передач ССПД осуществляется определение момента повторной передачи, предназначен для розыгрыша кратных моментов попыток передач ОУ конфликтовавших с ПНП пакетов информации. Исходной информацией для работы данного модуля являются результаты вычисления в блоке анализа элементарного конфликта пакета полезной нагрузки ССПД и преднамеренной помехи, сформированной ММСВР

(БАЭК). Обращение к работе данного модуля осуществляется только в том случае, если в одном и том же ДРЧ произошло временное совпадение пакета и ПНП или двух пакетов. В составе БАЭК выделяют три модуля: модуль оценки электромагнитной доступности (МЭМД), модуль оценки взаимных помех (МОВП), а также модуль оценки энергетической доступности (МОЭД).

Модуль оценки электромагнитной доступности

Модуль оценки электромагнитной доступности (МЭМД) предназначен для расчета возможности обнаружения факта передачи пакета с одного ОУ на другой ОУ в составе ССПД с помощью аппаратуры радиоразведки, устанавливаемой на образцах техники из состава СОПД. Для этого для всех возможных пар «ОУ в составе ССПД – образец техники в составе СОПД», для которых выполняется условие их работы в одном и том же обобщенном диапазоне, осуществляется расчет:

расстояния между двумя элементами модели по формуле Евклида

$$d_{\text{геом}} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (7)$$

где x_1 и x_2 – соответственно, координаты по оси «Х» ОУ в составе ССПД, осуществляющего передачу в анализируемом окне, и образца техники из состава СОПД; y_1 и y_2 – соответственно, аналогичные координаты по оси «У»;

дальности связи между двумя элементами модели по упрощенной формуле дальности связи

$$d_c = \sqrt{\frac{P_{\text{рндy-ОУ}} \times G_{\text{рндy-ОУ}} \times G_{\text{рпny-ОТР}}}{P_{\text{min-ОТР}}}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{рндy-ОУ}}$ – текущая выходная мощность передатчика на ОУ, выбираемая из таблицы «Шаблоны средств связи» [4] для выбранного РЭС на ОУ источнике сообщения; $G_{\text{рндy-ОУ}}$ и $G_{\text{рпny-ОТР}}$ – соответственно, коэффициент усиления передающей (на ОУ) и приемной (у образца техники из состава СОПД) антенны, предполагаемый равным коэффициенту усиления антенны из таблицы «Шаблоны средств связи», $P_{\text{min-ОТР}}$ – чувствительность

аппаратуры радиоразведки на образце техники из состава СОПД.

Полученные по формулам (7) и (8) значения сравниваются между собой, по результатам сравнения принимается решение о возможности радиоразведки ОУ с помощью аппаратуры радиоразведки на образце техники из состава СОПД. Если значение, полученное по формуле (7), не больше значения, полученного по формуле (8), то считается, что радиопередача с данного ОУ в предстоящем подцикле «Контроль – Подавление» будет назначена на подавление и она подлежит оценке в МОЭД. При этом, автоматически, для данного ДРЧ в предстоящем подцикле «Контроль – Подавление» осуществляется увеличение на единицу количества учитываемых целей подавления, а данный ОУ в рассматриваемом ДРЧ больше не подвергается оценке электромагнитной доступности. В противном случае считается, что радиопередача с данного ОУ именно с этого образца техники из состава СОПД не может быть обнаружена. После анализа электромагнитной доступности ОУ в фиксированном ДРЧ с данного образца техники из состава СОПД осуществляется переход к анализу следующей пары элементов модели.

Модуль оценки энергетической доступности

Модуль оценки энергетической доступности (МОЭД) предназначен для оценки уровня (по мощности) ПНП на входе радиоприемного устройства ОУ, которому в данном окне осуществлены передача информационного пакета. Исходными данными для расчета являются:

количество учитываемых целей подавления в каждом ДРЧ ($n_{\text{ц}}^{\text{ДРЧ}}$), в котором осуществляется подавление, получаемое (автоматически) в МЭМД;

количество возможных каналов подавления в каждом ДРЧ ($n_{\text{КПД}}^{\text{ДРЧ}}$), в котором осуществляется подавление, получаемое суммированием характеристики образца техники из состава СОПД «число каналов связи» из таблицы «Шаблоны средств связи», эквива-

лентной рассмотрению числа возможных каналов подавления;

данные о коэффициентах подавления ($K_{\text{ПД}}$), выбираемые из таблицы «Коэффициенты подавления» [4] для заданных видов связи¹.

При этом расчет производится по формулам (7) и (9):

$$d_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{P_{\text{рндю-ОТР}} \times G_{\text{рндю-ОТР}} \times G_{\text{рнру-ОУ}}}{K_{\text{ПД}} \left(\frac{n_{\text{КПД}}^{\text{ДРЧ}}}{n_{\text{ц}}^{\text{ДРЧ}}} \right) \times P_{\text{min-ОТР}}}}. \quad (9)$$

Полученные по формулам (7) и (9) значения сравниваются между собой, по результатам сравнения принимается решение о наличии внешнесистемного конфликта, результатом которого является необходимость кратной передачи законфликтовавшего пакета информации. Если значение, полученное по формуле (7), не больше значения, полученного по формуле (9), то считается, что радиопередача с данного ОУ подавлена и она подлежит кратной передаче с данного ОУ. В противном случае считается, что радиопередача с данного ОУ осуществлена бесконфликтно, применение образца техники из состава СОПД не эффективно. После анализа энергетической доступности ОУ в фиксированном ДРЧ с данного образца техники из состава СОПД осуществляется переход к анализу следующей пары элементов модели.

Модуль оценки взаимных помех

Модуль оценки взаимных помех (МОВП) предназначен для принятия решения о наличии внутрисетевого конфликта, требующего проведения кратных передач каждым из законфликтовавших ОУ. В данном модуле проводятся расчеты по формулам (7) и (8), но

¹ Особенностью некоторых образцов техники из состава СОПД является наличие двух усилителей мощности, что позволяет увеличивать для них скважность подавления без ущерба для процесса подавления. Для таких образцов (выделяемых в таблице «Шаблоны средств связи» наличием символа «*» после указания «конкретизации РЭС») уровень выходной мощности указывается для одного усилителя мощности, а скважность подавления уменьшается вдвое с округлением в сторону увеличения до ближайшего целого числа.

при этом учитываются только ОУ, осуществляющие передачу информационных пакетов в одном ДРЧ и в одно и то же время. При этом в формуле (8) учитываются характеристики радиопередающих и радиоприемных устройств на ОУ в интересах:

оценки слышимости каждым передающим ОУ другого передающего ОУ: если ОУ может обнаружить занятие коллективного радиоканала другим ОУ, то, в соответствии с протоколом доступа, данный ОУ откладывает свою попытку передачи, при этом другой ОУ может не «слышать» своего оппонента, что не требует для него проведения кратной попытки передачи;

оценки каждым ОУ-получателем информации наличия непреднамеренной помехи от другого передающего ОУ: при этом оценка непреднамеренного воздействия осуществляется по формуле (9) и пояснениям к ней.

По итогам работы модулей в составе БАЭК осуществляется работа МКМЗ. В ИМКВ принято (в соответствии с данными [6]), что расчет момента кратного занятия КРК для законфликтовавших пакетов осуществляется в соответствии с законом разряжения потока заявок по экспоненциальному закону:

$$t_{\text{крат}} = t_{\text{тек}} + sh \times \left[\exp \{ n_{\text{крат}} - 1 \} \right], \quad (10)$$

где $t_{\text{тек}}$ – текущее время моделирования; $n_{\text{крат}}$ – количество кратных попыток передачи после первой попытки передачи не заданного пакета информации, не учитываемой в формуле (10), $[\bullet]$ – оператор округления до ближайшего целого числа в сторону увеличения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье рассмотрены задачи, решаемые в двух блоках ИМКВ:

в блоке генерации трафика коллективного радиоканала, содержащем четыре модуля (расчета полезной нагрузки, формирования пакетов из сообщений, определения преднамеренных помех коллективному радиоканалу, корректировки моментов затребования);

в блоке анализа элементарного конфликта пакета полезной нагрузки РССПД и предна-

меренной помехи, сформированной ММСВР, содержащем три модуля оценки: электромагнитной доступности, взаимных помех и энергетической доступности.

Эти блоки позволяют симитировать загрузку коллективного радиоканала ССПД полезной нагрузкой, преднамеренными помехами и кратными попытками передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трухаев Р. И. Инфлюентный анализ и принятие решений (детерминированный анализ) / Р. И. Трухаев. – М. : Наука, 1984. – 235 с.

2. Павловский М. В. Имитационное моделирование радиоэлектронного конфликта сложных эргатических систем: структура модели / М. В. Павловский // Материалы XV Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» 12–13 февраля 2015 года. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. – Т. 1. – С. 490. (с. 369–373)

3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. Издание седьмое, стереотипное. – М. : «Высшая школа», 1999. – 479 с.

4. Павловский М. В. Имитационное моделирование радиоэлектронного конфликта сложных эргатических систем: исходные данные. / М. В. Павловский, Н. А. Тюкачев // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2015. – № 3. С. 17–23.

5. Павловский М. В. Имитационное моделирование радиоэлектронного конфликта сложных эргатических систем: динамика структур сторон конфликта / М. В. Павловский, Н. А. Тюкачев // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2015. – № 3. – С. 24–32.

6. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. Пер. с английского под ред. д.т.н. Цыбакова Б.С. – М. : Мир, 1989. – 544 с.

Павловский Максим Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры Боевого применения средств радиоэлектронной борьбы (с наземными системами управления) Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж).
Тел.: 8-915-548-32-39
E-mail: pmv-160570@yandex.ru

Pavlovsky Maxim Viktorovich – Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of Combat use of electronic warfare (with ground control systems) Military training and research center of the air force «Air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh).
Tel.: 8-915-548-32-39
E-mail: pmv-160570@yandex.ru

Тюкачев Николай Аркадиевич – кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой программирования и информационных технологий факультета компьютерных наук ВГУ.
Тел.: 8-903-854-78-97
E-mail: nik.tuykchev@gmail.ru

Tyukachev Nikolay A. – Candidate of Phys.-MD, Head of Programming and information technology Chair in computer science Department in Voronezh state University.
Tel.: 8-903-854-78-97
E-mail: nik.tuykchev@gmail.ru