

# Имитационное моделирование и анализ показателей эффективности аппаратуры радиотехнического мониторинга

Д. С. Акиньшин, email: ads199011romeo@gmail.com

С. Н. Разиньков, email: razinkovsergey@rambler.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА»), г. Воронеж, Россия

**Аннотация.** На основе имитационного моделирования потоков сигналов радиоэлектронных средств и процессов их обработки в приемно-анализирующей аппаратуре проведен анализ показателей эффективности радиотехнического мониторинга. Найдены показатели эффективности совместной и несовместной оценки характеристик радиоэлектронных средств при наличии и отсутствии перестройки частотных и временных параметров сигналов при использовании поисковых и беспоисковых модулей определения направления их прихода и частоты. Исследованы закономерности и определены рациональные варианты построения и тактико-технические характеристики аппаратуры для повышения эффективности мониторинга.

**Ключевые слова:** радиотехнический мониторинг, имитационное моделирование приемно-анализирующей аппаратуры, модули оценки частоты и направления прихода сигналов.

## Введение

Технические средства мониторинга являются компонентами системы сбора и обработки информации об обстановке и объектах, состояние и характер деятельности которых подлежат контролю. Радиотехнический мониторинг (РТМ) представляет собой комплекс информационных технологий для систематического добывания требуемой информации по результатам обнаружения и технического анализа излучений радиоэлектронных средств (РЭС) [1, 2].

Ввиду многообразия факторов, влияющих на процессы добывания информации, рациональные варианты построения аппаратуры РТМ находятся по результатам имитационного моделирования протекающих в ней процессов и анализа показателей эффективности. Согласно [2], в качестве интегральных показателей эффективности РТМ используются вероятности правильной  $P_{\text{пр}}$  и ложной  $P_{\text{лр}}$  разведки целей,

вычисляемые как отношения математических ожиданий правильно и ложно классифицированных РЭС соответственно к общему количеству объектов, демаскирующие признаки которых проявились в области мониторинга.

В [3] разработана технологическая схема анализа средств РТМ, устанавливающая взаимосвязи тактико-технических характеристик (ТТХ) приемно-анализирующей аппаратуры с показателями эффективности обработки сигналов и добывания информации о заданной номенклатуре объектов [2]. В [4] с использованием объектно-ориентированного языка программирования C++, среды разработки Qt Creator и системы управления базами данных PostgreSQL построена имитационная модель аппаратуры мониторинга. По результатам статистических испытаний модели установлены зависимости интенсивности потоков обрабатываемых сигналов от времени наблюдения числа, плотности размещения и режимов работы РЭС.

В предлагаемой работе по результатам имитационного моделирования проведен анализ эффективности средств РТМ при различных вариантах их исполнения.

Цель работы – исследование закономерностей и оценка влияния ТТХ приемно-анализирующей аппаратуры на эффективность РТМ.

## **1. Имитационное моделирование аппаратуры радиотехнического мониторинга**

Имитационное моделирование обработки сигналов в процессе РТМ проведено для комбинированных вариантов построения приемно-анализирующей аппаратуры с поисковыми и беспойсковыми модулями определения частоты (МОЧ) и направления (МОН), реализующими способы несовместной и совместной оценки частоты и направления прихода сигнала [2, 3]. При несовместной оценке параметров МОЧ и МОН функционировали в параллельном режиме; совместно угловые координаты и частота РЭС определялись в результате технического анализа сигналов в нескольких пространственных каналах с частотно-избирательными звеньями на входах МОН [3, 4]. Для измерения частоты применялись поисковый панорамный приемник (1 тип), многоканальный (2 тип) и матричный (3 тип) приемники, приемник с мгновенным измерением частоты (4 тип), приемник со сжатием сигналов (5 тип).

Поток сигналов на входе средств РТМ формировался излучениями РЭС четырех типов: без перестройки частоты и периода следования сигналов (I тип), с перестройкой частоты (II тип) или периода (III тип), с перестройкой частоты и периода (IV тип). Коэффициент перекрытия диапазона рабочих частот приемно-анализирующей аппаратуры

принимался равным 2, ширина полосы пропускания частотного канала приемника – 25% ширины диапазона, ширина полосы пропускания частотно-избирательных звеньев – 1% относительно ширины полосы пропускания частотного канала. Соотношения длительностей импульсов, периодов их следования и скорости обзора диапазона в приемнике 1 типа выбраны из условий обеспечения вероятностного поиска РЭС по частоте [3]. Интервал перестройки частоты сигналов ИРИ типа II и IV составлял 15% относительно центральной частоты диапазона, интервал перестройки периода излучений РЭС типа III и IV – 20% относительно номинального значения.

В ходе обработки сигналов осуществлялось разделение излучений, принадлежащих различным источникам, и распознавание типов (экземпляров) РЭС на основе оптимальной линейной фильтрации с идентификацией выполняемых измерений [2, 4].

## **2. Анализ показателей эффективности радиотехнического мониторинга**

По результатам статистических испытаний имитационных моделей приемно-анализирующей аппаратуры найдены значения  $P_{пр}$  для РЭС в средствах РТМ с несовместной и совместной оценкой их частоты и угловых координат при различной интенсивности потока обрабатываемых сигналов при фиксированной вероятности  $P_{пр} = 0,01$ .

Установлено, что наибольшее значение  $P_{пр}$  достигается при использовании многоканального приемника за счет параллельного обзора частотного диапазона. Низкая эффективность матричного приемника обусловлена тем, что обработка сигналов производится одновременно в пределах полосы пропускания частотно-избирательных звеньев [3]. С увеличением скорости обзора частотного диапазона показатели эффективности панорамного приемника по оценке параметров сигналов в потоке излучений разнородных РЭС приближаются к характеристикам многоканального приемника; однако в этом случае снижается вероятность обнаружения РЭС вследствие уменьшения эквивалентной чувствительности МОЧ. При использовании приемника с мгновенным измерением частоты для анализа ординарного потока сигналов малой интенсивности можно обеспечить вероятность обнаружения и оценки их параметров близкую к вероятности, достижимой при параллельном обзоре частотного диапазона, за счет малого времени обнаружения и высокой точности определения частоты. Приемник со сжатием сигналов характеризуется высокой разрешающей

способностью и вероятностью перехвата сигналов [2], поэтому  $P_{пр}$  достигает 0,95...0,99.

С увеличением диапазона частот, где осуществляется РТМ, в 2 раза эффективность функционирования приемников 1, 3, 4 и 5 типов снижается в 1,1 раза за счет уменьшения их эквивалентной чувствительности, а приемника 2 типа – на 15%, в основном, вследствие уменьшения вероятности обслуживания потока принимаемых радиоизлучений. При последовательной оценке частоты и угловых координат ИРИ величина  $P_{пр}$  не зависит от типа МОЧ. С увеличением потока сигналов эффективность системы пассивной радиолокации снижается, в основном, из-за усложнения селекции импульсных последовательностей, а при использовании поисковых МОН и МОЧ – дополнительно за счет пропуска сигналов короткой длительности.

Более высокая эффективность разведки РЭС при совместной оценке частоты и направления прихода сигналов обусловлена меньшими среднеквадратическими ошибками (СКО) измерения этих параметров по сравнению со значениями, достижимыми при функционировании МОЧ и МОН в параллельном режиме. Повышение точности оценки параметров приводит к возрастанию достоверности селекции сигналов, принадлежащих различным источникам.

Эффективность функционирования средств РТМ с поиском РЭС по пространству повышается при расширении диаграммы направленности антенны до  $2^\circ$  за счет возрастания времени нахождения объекта в области наблюдений. Однако при увеличении  $\Delta\Omega$  свыше  $2^\circ$  существенно ухудшается эквивалентная чувствительность приемно-анализирующей аппаратуры, что приводит к снижению электромагнитной доступности РЭС и, как следствие, значения  $P_{пр}$ .

Более низкая эффективность поискового по направлению приемника обусловлена снижением пространственно-временной доступности РЭС и уменьшения времени анализа сигналов ввиду отсутствия одновременности обзора сектора наблюдения.

### **Заключение**

Таким образом, на основе имитационного моделирования процедур обработки сигналов в средствах РТМ исследованы закономерности классификации РЭС, определенных для контроля. Найдены показатели эффективности мониторинга при совместной и несовместной оценке характеристик РЭС с перестраиваемыми и неперестраиваемыми частотными и временными параметрами сигналов при использовании поисковых и беспойсковых модулей определения направления их

прихода и частоты. Определены рациональные варианты построения и ТТХ приемно-анализирующей аппаратуры, обеспечивающие добывание требуемой информации в процессе мониторинга.

#### **Список литературы**

1. Меньшаков, Ю. Г. Теоретические основы технических разведок / Ю. Г. Меньшаков. – М. : МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2008. – 536 с.

2. Радзиевский, В. Г. Информационное обеспечение радиоэлектронных средств в условиях конфликта / В. Г. Радзиевский, А. А. Сирота. – М.: ИПРЖР, 2001. – 456 с.

3. Разиньков, С. Н. Оценка эффективности первичной и вторичной обработки импульсных радиосигналов в системах пассивной радиолокации / С. Н. Разиньков, А. А. Сирота // Измерительная техника. – 2004. – № 2. – С. 53-59.

4. Дубатовская, А. В. Имитационное моделирование радиоэлектронной обстановки в системах контроля воздушного пространства / А. В. Дубатовская, Д. В. Митрофанов, С. Н. Разиньков // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2019. – № 12. – С. 135-144.