

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАДИОМОНИТОРИНГА СИГНАЛОВ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

Лях Б.А., Кондратёнок В.А., Нефёдов Д.С.

*Военная академия Республики Беларусь, Минск, e-mail: Solger@tut.by*

Современный этап развития систем и средств связи различных диапазонов характеризуется совершенствованием технических средств их реализации. Однако несмотря на бурное развитие средств коммуникации УКВ диапазона (транкинговая, сотовая, спутниковая связь), позволяющих формировать широкополосные высокоскоростные каналы передачи информации, США, Германия, Китай, Россия и т.д. продолжают наряду с этим использовать относительно низкоскоростную и малоканальную коротковолновую (КВ) радиосвязь. При этом ведущие производители коммуникационного оборудования регулярно представляют свои новые разработки в области КВ радиосвязи, как для гражданских, так и специализированных пользователей [1]. Для этого существует ряд причин:

- большая дистанция связи (от десятков до тысяч километров) без дополнительных затрат на оборудование сетей и, как следствие, низкая стоимость одного километра канала КВ связи по сравнению с другими системами радиокommunikаций;

- использование адаптивных методов установления и поддержания радиосвязи, базирующихся на современных технологиях цифровой обработки информации, позволяющих повысить качество и устойчивость КВ каналов радиосвязи.

Современные системы связи КВ диапазона характеризуются автоматизацией процессов установления радиосвязи и гарантированной передачей информации, адаптивностью к динамичной помеховой обстановке в КВ диапазоне, возможностью организации аналоговых и цифровых сетей связи. Это стало возможным благодаря развитию технологии автоматического установления и поддержания радиосвязи (ALE – Automatic Link Establishment). Технология автоматического установления и поддержания радиосвязи в автоматическом режиме производит выбор канала связи, глубину помехоустойчивого кодирования и вида модуляции сигнала в зависимости от степени качества канала связи, контролирует качество получаемых данных.

Режим автоматического установления и поддержания связи в КВ диапазоне является основным режимом функционирования систем и средств связи гражданского и специального назначения. Его применение регламентировано стандартами MIL-STD-188-141A и MIL-STD-188-141B (App.C).

Существующие стандарты и сама технология ALE постоянно совершенствуются. В настоящее время системы и средства связи гражданского и специального назначения поддерживают режимы ALE второго и третьего поколения.

В связи с имеющимися особенностями обработки радиосигналов адаптивных систем радиосвязи существует необходимость в автоматизации процессов обнаружения, распознавания и выделения данных сигналов из всей совокупности радиосигналов КВ диапазона, что является одной из актуальных задач процесса ведения радиомониторинга.

Система радиомониторинга адаптивных систем радиосвязи КВ диапазона относится к классу больших систем, этапы проектирования, внедрения, эксплуатации и эволюции которой в настоящее время невозможны без использования различных видов моделирования. На всех перечисленных этапах для различных уровней обработки системы радиомониторинга необходимо учитывать следующие особенности: сложность структуры и стохастичность связей между элементами, неоднозначность алгоритмов поведения при различных условиях, большое количество параметров и переменных, неполноту и недетерминированность исходной информации, разнообразие и вероятностный характер воздействий внешней среды и т.д. [2]. Ограниченность возможностей экспериментального исследования системы радиомониторинга делает актуальной разработку методики моделирования, которая позволила бы в соответствующей форме представить процессы функционирования системы

радиомониторинга, описание протекания процессов в системе с помощью математических моделей, получение результатов экспериментов с моделями по оценке характеристик исследуемых сигналов адаптивных систем радиосвязи КВ диапазона [3].

В ходе проведения исследований авторами использовалась математическая модель системы радиомониторинга сигналов адаптивных систем радиосвязи КВ диапазона, структура которой представлена на рисунке 1.

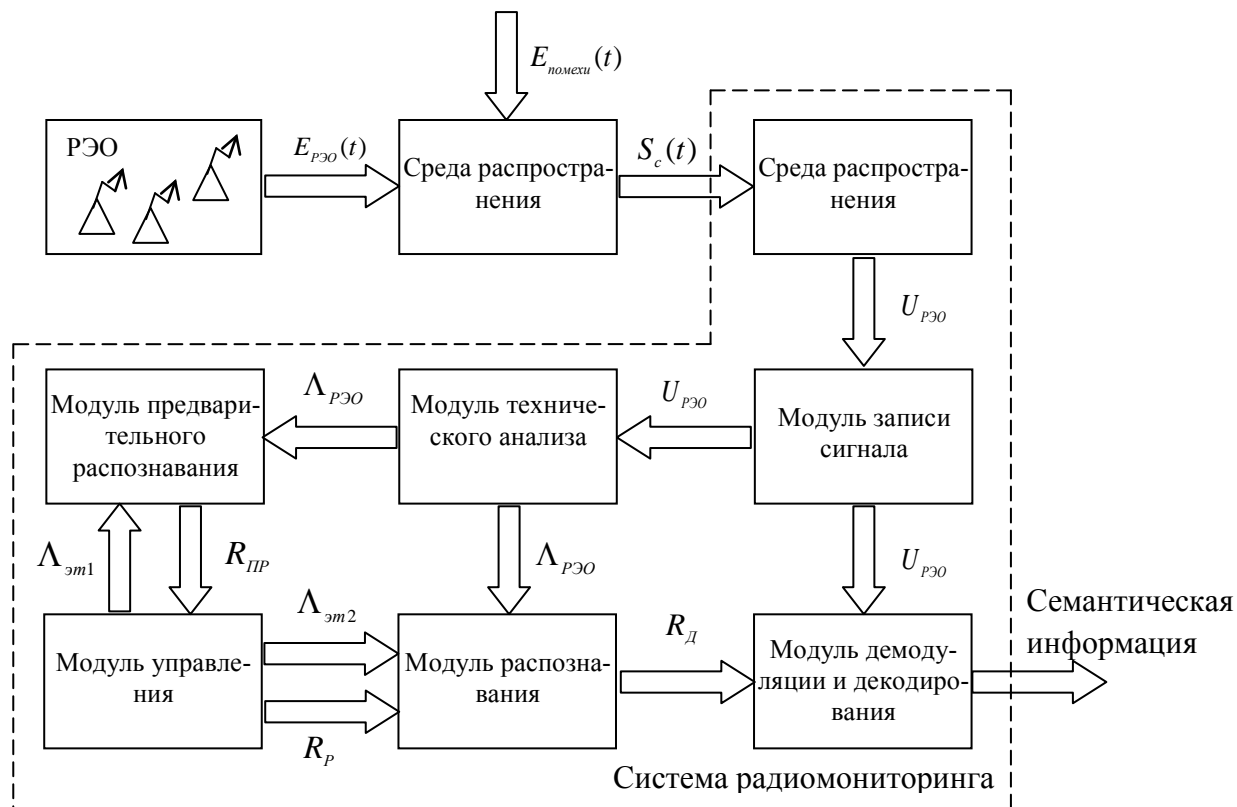


Рисунок 1 – Схема системы радиомониторинга адаптивных систем связи КВ диапазона

Основной задачей математического моделирования системы радиомониторинга сигналов адаптивных систем радиосвязи КВ диапазона является оценка ее возможностей в сложной помеховой обстановке обнаруживать, распознавать и принимать решения по дальнейшей обработке сигналов адаптивных систем радиосвязи КВ диапазона.

Представленная на рисунке 1 схема не исчерпывает всего многообразия ситуаций, которые могут возникать в процессе ведения радиомониторинга адаптивных систем связи КВ диапазона и является типовой схемой системы радиомониторинга. Она позволяет по результатам моделирования оценить взаимосвязь различных объектов (модулей) системы, провести выборку входных параметров, исследовать вопросы управления и дает возможность выделить те параметры, значения которых подлежат корректировке [4].

В качестве «отправной точки» системы радиомониторинга служит вектор  $E_{PЭО}(t)$ , который определяет радиоэлектронную обстановку в зоне действия системы радиомониторинга и включает параметры  $N$  совокупности различных источников радиоизлучений (ИРИ):

$$E_{PЭО}(t) = \sum_{i=1}^N E(t)_i,$$

где  $E(t)_i$  – вектор параметров  $i$ -го ИРИ.

Совокупность ИРИ совместно с влиянием среды распространения (затухание, искажение и др.) и воздействием помех создает результирующее электромагнитное поле радиосигналов  $S_c(t)$ , которое является входным вектором системы радиомониторинга:

$$S_c(t) = E_{PЭО}(t) + E_{помехи}(t),$$

где  $E_{помехи}(t)$  – вектор, описывающий искажающее влияние среды распространения радиоволн и помехи (естественные и искусственные). Естественные помехи создаются главным образом электромагнитными процессами в земной атмосфере, тропосфере и космосе. Искусственные помехи создаются многочисленными промышленными установками, излучениями посторонних радиостанций (непреднамеренные и специально организованные).

Реализация  $S_c(t)$  поступает на вход системы радиомониторинга. Ее первым блоком является модуль обнаружения сигналов, который осуществляет обнаружение и аналогово-цифровое преобразование (АЦП)  $S_c(t)$ .

Состав модуля, в зависимости от задач обнаружения, может включать различные технические средства: антенно-фидерная система (пассивная или активная), радиоприемные устройства (одноканальные или многоканальные), блоки АЦП, пеленгатор и др.

Основными техническими характеристиками модуля обнаружения сигналов, позволяющими сравнивать различные варианты построения, являются: чувствительность приемников; ширина полосы частот одновременного приема; сектора направлений одновременного приема сигналов по азимуту и углу места; пропускная способность по потоку обрабатываемых сигналов; динамический диапазон амплитуды принимаемых сигналов в односигнальном и многосигнальном режиме; точность и разрешающая способность измерения основных первичных параметров сигналов и, прежде всего, частоты и угловых координат [3].

В качестве критериев отбора (поиска) сигналов могут использоваться: диапазон частот, направление (пеленг) прихода радиоволн, уровень мощности входного сигнала, время наблюдения и т.д.

На выходе модуля обнаружения формируется вектор  $U_{PЭО}$  совокупности обнаруженных сигналов:

$$U_{PЭО} = \sum_{j=1}^N U_j,$$

где  $U_j$  – вектор  $j$ -го сигнала.

Каждый обнаруженный сигнал вектора  $U_{PЭО}$  сохраняется в модуле записи сигнала и поступает на модуль демодуляции и декодирования, а также модуль технического анализа, который формирует вектор  $\Lambda_{PЭО}$  в виде сгруппированных по каждому  $j$ -му сигналу вектора  $U_{PЭО}$  упорядоченных наборов данных, содержащих результаты измерения (технического анализа) параметров сигналов в соответствующем формате:

$$\Lambda_{PЭО} = \begin{bmatrix} F_{H1}, T_{u1}, U_1, \Delta F_1, V_{M1}, n_{M1}, v_{M1} \\ F_{H2}, T_{u2}, U_2, \Delta F_2, V_{M2}, n_{M2}, v_{M2} \\ \vdots \\ F_{HN}, T_{uN}, U_N, \Delta F_N, V_{MN}, n_{MN}, v_{MN} \end{bmatrix},$$

где  $F_n$  – несущая частота сигнала;

$T_u$  – длительность сигнала;

$U$  – амплитуда сигнала;

$\Delta F$  – ширина спектра сигнала;

$V_m$  – вид модуляции сигнала (АМ, ЧМ, ФМ);

$n_m$  – количество позиций модулированного сигнала с фазовой модуляцией (ФМ-2, -4, -8);

$v_m$  – скорость манипуляции для сигналов с ФМ-2, -4, -8.

Для выделения сигналов адаптивной системы радиосвязи из всей совокупности  $\Lambda_{PЭО}$  в модели используется два модуля: модуль предварительного распознавания и модуль распо-

знания. Использование двух модулей обусловливается необходимостью сокращения времени процесса распознавания и дальнейшей обработки, так как вероятность вскрытия адаптивной системы связи, меняющей за сеанс связи частоты приема/передачи и режимы работы, зависит от скорости обнаружения, распознавания и обработки этих сигналов.

Модуль предварительного распознавания выполняет задачу прореживания совокупности  $\Lambda_{PЭО}$  с целью исключения из дальнейшей обработки сигналов, которые не принадлежат адаптивной системе связи. В качестве эталона используется вектор  $\Lambda_{эм1}$  формата:

$$\Lambda_{эм1} = \{F_H, \Delta F, V_M\}.$$

В случае, если анализируемые параметры  $i$ -го сигнала  $\Lambda_{PЭО}$  совпадают эталонными значениями  $\Lambda_{эм1}$ , в модуле предварительного распознавания формируется команда  $R_{ПП}$ , которая поступает на вход модуля управления и содержит индекс сигнала  $N_{инд}$  из совокупности  $\Lambda_{PЭО}$ , который подлежит последующему распознаванию в модуле распознавания.

Модуль управления предназначен для управления системой распознавания сигналов и формирования эталонных значений  $\Lambda_{эм1}$  и  $\Lambda_{эм2}$ . При поступлении команды  $R_{ПП}$  на вход модуля управления на выходе модуля формируется вектор  $R_p$ , содержащий разрешающую команду на выполнение процедуры распознавания и индекс сигнала  $N_{инд}$  совокупности  $\Lambda_{PЭО}$ , который подлежит распознаванию и эталонный вектор  $\Lambda_{эм2}$  формата:

$$\Lambda_{эм2} = \{T_u, n_M, v_M, U\}.$$

Модуль распознавания, получив от модуля управления команду, разрешающую проводить операцию распознавания сигнала производит сравнение оставшихся параметров сигнала с индексом  $N_{инд}$  совокупности  $\Lambda_{PЭО}$  с вектором  $\Lambda_{эм2}$  и в случае их совпадения на выходе модуля формируется вектор  $R_d$ , содержащий разрешающую команду на выполнение процедуры демодуляции и декодирования и индекс сигнала  $N_{инд}$  совокупности  $U_{PЭО}$ , который подлежит обработке.

Модуль демодуляции и декодирования, получив разрешение на выполнение, запрашивает из модуля записи сигнал с индексом  $N_{инд}$  и выполняет операции демодуляции и декодирования, а в случае успешной реализации на выходе модуля формируется семантическая информация в виде документов различных форматов: doc, xls, txt, pdf, rtf.

Представленная структура модели системы радиомониторинга адаптивных систем радиосвязи КВ диапазона носит в настоящее время описательный характер.

Целями дальнейших исследований являются: декомпозиция процесса получения информации и обоснование содержания основных этапов обработки сигналов, а также оценка эффективности, адекватности и универсальности представленной модели системы радиомониторинга адаптивных систем радиосвязи КВ диапазона и выработка предложение по ее усовершенствованию.

### Список литературы

1. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / Под ред. профессора О.В. Головина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 598 с.: ил.
2. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.: ил.
3. Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. 2-е изд., испр. и доп. (1-е издание «Информационное обеспечение радиоэлектронных систем в условиях конфликта»). – М.: Радиотехника, 2004. – 432 с.: ил.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1968. – 356 с.