

УДК 621.372.512

Б. А. ЛЯХ, В. А. КОНДРАТЕНКО, Д. В. МОРОЗОВ

## СТРУКТУРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОМОНИТОРИНГА СИГНАЛОВ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

*Военная академия Республики Беларусь*

*Рассмотрена математическая модель многопозиционной системы радиомониторинга коротковолнового диапазона, позволяющая провести оценку эффективности функционирования многопозиционной системы радиомониторинга сигналов коротковолнового диапазона в неблагоприятных условиях воздействия внешних помех.*

### Введение

В настоящее время одной из основных задач радиоэлектронной разведки является получение семантической информации путем обработки сообщений, передаваемых по каналам связи КВ-диапазона. Однако использование современных средств радиомониторинга позволяет обрабатывать в среднем только 80–90% перехватываемых сообщений от их общего количества, что обусловлено следующими основными причинами:

1. Для организации радиосвязи в армиях иностранных государств используются адаптивные системы связи КВ-диапазона, которые характеризуются автоматизацией процессов установления радиосвязи и гарантированной передачей информации, адаптивностью к динамичной помеховой обстановке в КВ-диапазоне, возможностью организации аналоговых и цифровых сетей связи.

2. Радиоперехват и обработка сигналов КВ-диапазона осуществляется в одной точке приема, где принимаемый сигнал может быть сильно искажен, что связано со спецификой распространения радиоволн в КВ-диапазоне.

Таким образом, комплексная оптимизация средств радиомониторинга сигналов КВ-диапазона в условиях многолучевого распространения радиоволн и сложной помеховой обстановки на основе применения методики последетекторной обработки при разнесенном приеме средствами радиоперехвата является актуальной научно-технической задачей.

Её решение обеспечит возможность существенного повышения эффективности функционирования системы радиомониторинга сигналов КВ-диапазона, что особенно важно для решения задач обеспечения военной безопасности Республики Беларусь.

### Математическое моделирование многопозиционной системы радиомониторинга сигналов коротковолнового диапазона

Многопозиционная система сигналов 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 радиосигналов в многопозиционной системе радиомониторинга КВ-диапазона 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. [1]. Ограниченность возможностей проведения натурных экспериментов для исследования тех или иных процессов функционирования многопозиционной системы радиомониторинга делает актуальной разработку математической модели,

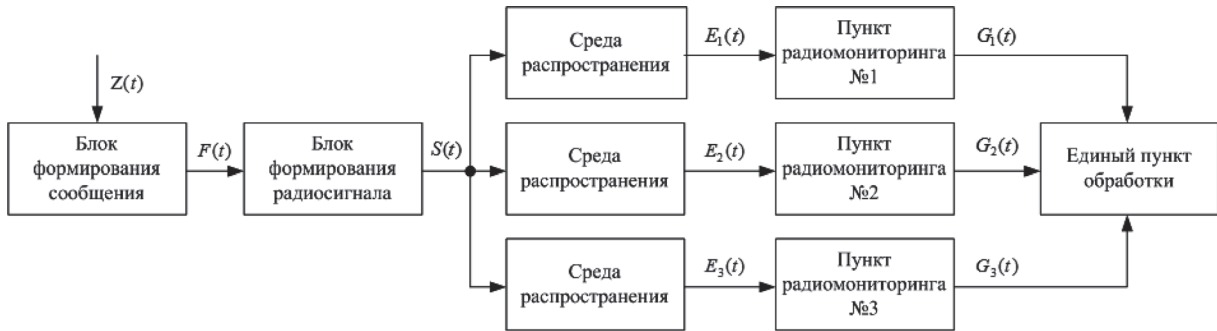


Рис. 1. Структурная схема математической модели многопозиционной системы радиомониторинга коротковолнового диапазона

которая позволит в соответствующей форме представить процессы функционирования многопозиционной системы радиомониторинга, оценить ее эффективность в различных условиях обстановки [2].

На рис. 1 приведена структурная схема математической модели многопозиционной системы радиомониторинга сигналов КВ-диапазона.

Приведенная структурная схема позволяет разработать математическую модель многопозиционной системы радиомониторинга и 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 [3].

Каждый элемент (блок) вышеуказанной структурной схемы системы радиомониторинга является самостоятельной математической моделью. Так, в блоке формирования сообщения осуществляется формирование (моделирование) исходного сообщения по определенному правилу (закону), при котором передаваемая информация  $Z(t)$  (текст, звук, изображение и т. д.) преобразовываются в последовательность кодовых символов [4].

На примере стандарта Mil-Std-188-141B (App. C), который активно используется при организации связи в силовых структурах ЕС, производится моделирование относительного восьми позиционного фазоманипулированного сигнала  $S(t)$  (далее – ОФМ-8).

Сигнал  $S(t)$ , на выходе блока формирования радиосигнала можно записать в виде:

$$S(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{k-1}), \quad (1)$$

где  $U_0(t)$  – амплитуда сигнала;  $\omega_0 = 2\pi f_0$  – круговая частота радиосигнала, где  $f_0$  – ча-

стота несущего колебания;  $k = 0, 1, 2, \dots$  – отсчеты сигнала;  $\Delta\varphi_{k-1}$  – значение фазы предшествующего радиоимпульса;  $\Delta\varphi_k$  – фаза текущего выходного символа, (значение фазы выбирается в соответствии с таблицей).

Соответствие состояний символов и фаз выходного сигнала

Значение трибита	Символ в битовом выражении	Фаза выходного сигнала
1	000	0
2	001	$\pi/4$
3	011	$\pi/2$
4	010	$3\pi/4$
5	110	$\pi$
6	111	$5\pi/4$
7	101	$3\pi/2$
8	100	$7\pi/4$

В результате моделирования на выходе блока формирования радиосигнала генерируется радиосигнал, пригодный для передачи по каналам радиосвязи в КВ-диапазоне. Спектр полученного сигнала, и его амплитудно-фазовая диаграмма приведены на рис. 2.

Так как в состав предлагаемой многопозиционной системы радиомониторинга входят три разнесенных в пространстве пункта радиоприема, поэтому на данном этапе производится моделирование трех различных путей распространения сигнала  $S(t)$ . Таким образом, на вход каждого из трех пунктов поступит соответствующий радиосигнал  $E_1(t)$ ,  $E_2(t)$  и  $E_3(t)$ , отличающиеся от сформированного  $S(t)$  приобретенными в процессе распространения и приема искажениями.

Так, поступающие на входы пунктов радиомониторинга сигналы можно представить в виде:

$$E_1(t) = (S(t) + \zeta_1(t)) * n_1(t), \quad (2)$$

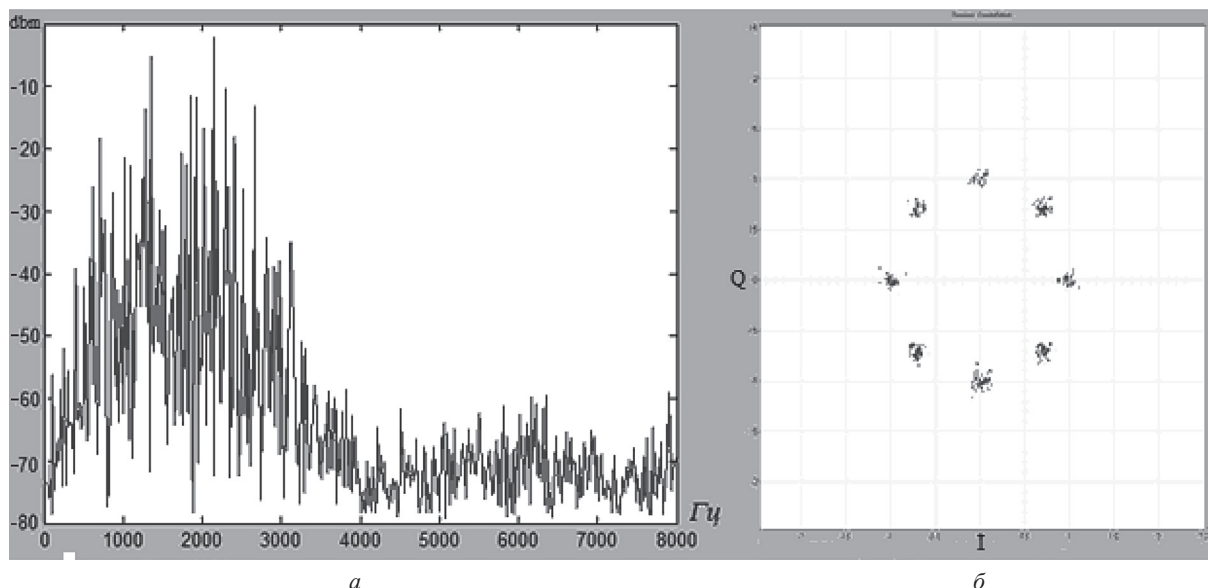


Рис. 2. *a* – спектр формируемого сигнала ОФМ-8; *б* – Амплитудно-фазовая диаграмма формируемого сигнала ОФМ-8

$$E_2(t) = (S(t) + \zeta_2(t)) * n_2(t), \quad (3)$$

$$E_3(t) = (S(t) + \zeta_3(t)) * n_3(t), \quad (4)$$

где  $\zeta_1(t)$ ,  $\zeta_2(t)$ ,  $\zeta_3(t)$  – аддитивные помехи, возникающие в приемном тракте первого, второго и третьего пункта радиомониторинга;  $n_1(t)$ ,  $n_2(t)$ ,  $n_3(t)$  – мультипликативные помехи, которые воздействуют на сигнал в процессе распространения в пространстве от источника излучения к каждому из пунктов радиомониторинга.

Принятые радиосигналы подвергаются обработке: фильтрации, демодуляции и декодированию в соответствии с протоколом Mil-Std-188–141В (App. C). В случае успешной обработки на выходе каждого из пунктов системы будут получены сообщения  $G_1(t)$ ,  $G_2(t)$  и  $G_3(t)$  которые должны соответствовать сформированному на начальном этапе моделирования исходному сообщению  $Z(t)$ .

Однако отмечаются случаи, когда на выходе каждого из трех пунктов радиомониторинга сообщения  $G_1(t)$ ,  $G_2(t)$  и  $G_3(t)$ , отличаются между собой и не соответствуют исходному  $Z(t)$ . Такая ситуация, чаще всего, возникает при длительном сеансе связи, около 5–10 минут, в течение которого исходное сообщение  $Z(t)$  разбивается на множество пакетов, каждый из которых передается отдельно, а на приемной стороне происходит их объединение. В случае ошибочного приема в пунктах радиомониторинга хотя бы одного пакета из множе-

ства пакетов разделенного сообщения  $Z(t)$  восстановить переданную информацию не представляется возможным.

В связи с тем, что вероятность того, что в единый момент времени три радиосигнала претерпят одинаковые изменения при распространении в пространстве равна нулю, то для устранения вышеизложенной проблемы авторы предлагают осуществлять совместную обработку в едином пункте, путем объединения результатов демодуляции копий одного и того же сигнала, принятых в каждом из разнесенных в пространстве приемных пунктах. Использование метода автовыбора ветви разнесения и линейного сложения символов, полученных после их демодуляции, позволит повысить достоверность декодирования в несколько раз, по сравнению с существующими системами аналогичного назначения.

### Заключение

Представленная модель многопозиционной системы радиомониторинга КВ-диапазона позволяет повысить вероятность получения семантической информации на выходе устройства декодирования.

Целями дальнейших исследований являются: разработка программного обеспечения восстановления исходного сообщения путем объединения результатов демодуляции сигналов, принятых в каждом из разнесенных в пространстве приемных пунктов многопозицион-

ной системы радиомониторинга КВ-диапазона; внедрение предложенной методики восстановления исходного сообщения в существующую

однопозиционную систему радиомониторинга КВ-диапазона без существенных материальных затрат.

### ЛИТЕРАТУРА

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.
2. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001, 343 с.
3. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968, 356 с.
4. Радзиевский В. Г., Сирота А. А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Радиотехника, 2004, 432 с.

### REFERENCES

1. Golovin O. V., Prostov S. P. Sistemy i ustrojstva korotkovolnovoј radiosvjazi / Pod red. professora O. V. Golovina. – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2006, 598 s.
2. Sovetov B. Ja., Jakovlev S. A. Modelirovanie sistem: Ucheb. dlja vuzov. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Vyssh. shk., 2001, 343 s.
3. Buslenko N. P. Modelirovanie slozhnyh sistem. – M.: Nauka, 1968, 356 s.
4. Radzievskij V. G., Sirota A. A. Teoreticheskie osnovy radiojelektronnoj razvedki. 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Radiotekhnika, 2004, 432 s.

*Поступила*  
01.04.2019

*После доработки*  
19.06.2019

*Принята к печати*  
01.07.2019

*LIAKH B. A., KONDRATYONOK V. A., MOROZOV D. V.*

### MODELLING OF RADIO MONITORING SYSTEM OF SHORT-WAVE RADIO COMMUNICATION ADAPTIVE SYSTEMS

*The structure of model which allows to spend an estimation of system functioning efficiency of radio monitoring system of short-wave radio communication adaptive systems in adverse conditions of influence of external jams is described.*

**Лях Борис Александрович**, начальник научно-исследовательской лаборатории кафедры автоматизации, радиолокации и приемопередающих устройств учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» конт. тел. 8 (029) 681 33 10

**Кондратёнок Василий Анатольевич** канд. тех. наук, доцент, заместитель директора по научной работе ОАО «КБ РАДАР» конт. тел. 8 (029) 569 10 11

**Морозов Дмитрий Васильевич** канд. тех. наук, доцент, начальник кафедры информационно-вычислительных систем учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» конт. тел. 8 (029) 514 58 62