

ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАДИОКОНТРОЛЕ

У статті розглянуто основні задачі та засоби проведення радіоконтролю, а також особливості методів виявлення і розпізнавання радіовипромінювань, які слід використовувати при автоматизованому радіоконтролі.

This article reviews the basic problems and means of radio controlling, and features of methods for radio signals detection and recognition to be used at automatic radio controlling.

1. ВВЕДЕНИЕ

Радиочастотный спектр (РЧС) является ограниченным ресурсом, поэтому доступ к РЧС строго регулируется как в национальных, так и в международных рамках. Эффективное использование РЧС является главной задачей администрации, занимающейся управлением использованием РЧС [1]. Нехватка спектра связана не только с ростом числа потребителей этого ресурса, но и с несовершенством передающей и приемной аппаратуры, которое определяет наличие внеполосных и побочных излучений у передатчиков, побочных каналов приема у радиоприемников, ограничение динамических диапазонов приемников. В этих условиях актуальным становится не только эффективное частотно-территориальное планирование и присвоение частот вводимых в эксплуатацию радиоэлектронным средствам (РЭС), но и контроль над соблюдением правил использования частотных присвоений и других технических характеристик радиоизлучений (РИ). Поэтому радиоконтроль (радиочастотный мониторинг) является одним из главных элементов системы управления использованием РЧС и от его успешной работы во многом зависит эффективность всей системы управления [2]. Одной из важных задач, которые решаются при радиоконтроле (РК), является обнаружение и распознавание РИ и их источников.

В данной статье рассматриваются основные задачи и средства проведения РК, а также особенности методов обнаружения и распознавания РИ, которые следует использовать при автоматизированном РК.

¹⁷ Харьковский национальный университет радиоэлектроники

¹⁸ Харьковский университет воздушных сил имени Ивана Кожедуба

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАДИОКОНТРОЛЯ

Технический радиоконтроль в настоящее время выходит на новый качественный уровень не только по контролю электромагнитной обстановки и параметров излучений РЭС, но также становится одним из звеньев при решении задачи частотных присвоений. Использование результатов теоретических расчетов электромагнитной совместимости с результатами РК позволяет оптимизировать распределение частот с учетом реальной загрузки радиочастотного спектра.

Конкретными целями РК являются [2]:

- обеспечение администраций данными, необходимыми для процесса управления использованием РЧС, в частности, информацией о степени занятости электромагнитными излучениями диапазонов и отдельных частот, информацией о соответствии параметров передаваемых сигналов требованиям лицензий на передачу, данными по ведению и проверке регистрации частот, данными по обнаружению, распознаванию и определению местоположения источников санкционированных и несанкционированных РИ;

- содействие в решении проблем электромагнитной совместимости при вводе в эксплуатацию новых радиосистем, присвоении рабочих частот и составлении частотных планов посредством контроля границ зон обслуживания, параметров РЭС и выявления источников помех конкретным радиосистемам;

- содействие в обеспечении допустимого уровня помех при приеме звуковых и телевизионных вещательных программ;

- обеспечение администраций информацией, связанной с решением конкретных задач по обращениям пользователей РЧС, а также для программ международного радиомониторинга.

- Указанные цели определяют конкретные технические задачи РК [2]:

1. Измерение параметров и характеристик РИ и источников радиоизлучений (ИРИ), частности:

- измерение частоты излучения и ее соответствия присвоенному номиналу; измерение ширины полосы частот, занимаемой РИ, и соответствия присвоенной полосе частот; измерение уровней побочных и внеполосных излучений; измерение девиации частоты РИ с частотной модуляцией (ЧМ) и ее соответствия предписанному значению;

- измерение уровней поднесущих и их соответствия предписанным значениям;

- измерение напряженности поля и плотности потока мощности для изучения и подтверждения принятых моделей распространения радиоволн и алгоритмов присвоения частот; подтверждения расчетов отно-

шений несущая/помеха; проверки критериев совместного использования частот различными радиослужбами; оценки зон обслуживания РЭС;

- измерение занятости полос частот для проверки принятых правил распределения и присвоения частот и возможности их повторного использования;

- определение класса излучения для оценки его параметров модуляции;

- измерение шумов окружения, обычно на долговременной основе, для решения некоторых вопросов по использованию спектра, таких как применение широкополосных сигналов;

- измерение специальных характеристик сигналов для конкретного вида службы, например телевизионного вещания, широкополосных спутниковых передач и т. п.

2. Анализ радиоизлучений для выполнения следующих операций:

- идентификации источников недопустимых радиопомех;

- проверки соответствия идентификационных сигналов (позывных) национальным и международным регламентам идентификации сигналов;

- идентификации незарегистрированных передатчиков;

- пеленгации или определения местоположения источника недопустимой помехи и радиопередатчика, работающего с нарушениями национальных и международных стандартов и регламента.

3. Участие в международном радиомониторинге для исключения помех между РЭС вообще и помех о полосах частот, отведенных для подачи сигналов бедствия и обеспечения безопасности движения, в частности, а также предоставления информации для Международной конференции по радиосвязи.

4. Предоставление отчетов по результатам РК для решения вопросов, связанных с разработкой стандартов на параметры излучений.

5. Проведение периодических инспекционных проверок радиооборудования для проверки его соответствия техническим, рабочим и регламентным условиям, установленным для управления использованием РЧС.

6. Выявление специальных проблем для дополнительных или более интенсивных исследований РЧС.

7. Разработка рекомендаций, предложений и процедур по исключению радиопомех.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИОКОНТРОЛЯ

Радиоконтроль – процесс собирания, обработки, сохранения и анализа данных о параметрах излучений радиоэлектронных средств и других источников РИ. При РК формируются и ведутся базы данных присвоенных радиочастот, которые используются для распределения

радиочастот, надзора за их использованием и конверсии. По результатам РК разрабатываются предложения по повышению эффективности использования распределенных полос радиочастот.

РК ведется с помощью комплектов специальной аппаратуры, специальных станций и комплексов – средств радиоконтроля (СРК). С помощью СРК осуществляются поиск и обнаружение и распознавание РИ, измерение их параметров, демодуляция и декодирование, пеленгование, определение местоположение ИРИ.

Обычно СРК включает в себя следующие составляющие [2]: антенную (АС); систему поиска радиоизлучений по частоте (СПЧ); систему селекции (СС); систему пеленгования (СП) или определения местоположения (СОМП) источников радиоизлучений; систему анализа, распознавания РИ и их источников (САР); систему регистрации и документирования (СРД); систему управления (СУ).

Антенная система предназначена для приема РИ и определения местоположения их источников. По направленности антенные системы могут быть ненаправленными, слабонаправленными и направленными. Слабонаправленные и направленные АС могут применяться для селекции сигналов по направлению. Направленные антенны применяются также для поиска РИ по направлению. В простом случае в качестве АС применяется штыревая антенна или антенна типа «наклонный луч». В более сложных системах могут применяться комплекты разнородных антенных систем и фазированные антенные решетки (ФАР).

Система поиска РИ по частоте предназначена для реализации частотно-временного поиска РИ в широком диапазоне частот. В простейшем случае поиск осуществляется оператором вручную перестройкой гетеродина супергетеродинного приемника. В более сложных системах СПЧ реализует различные поисковые и беспойсковые способы определения несущей частоты РИ. Часто на систему поиска возложены также функции спектрально-временного анализа сигналов.

Система селекции предназначена для прореживания потока обнаруживаемых РИ по частотным, временным и другим параметрам путем их селекции или режекции. В простом случае – это усилитель с управляемой шириной полосы пропускания или устройства регулировки (выбора) разрешающей способности по частоте анализатора спектра сигналов. В более сложном случае – это комплекты специальных программно управляемых автоматизированных алгоритмов и устройств, реализующих методы распознавания образов по пространственным, частотным, временным, поляризационным и другим признакам принимаемых РИ.

Системы пеленгования и определения местоположения предназначены для поиска ИРИ по направлению, определения направления на ИРИ или координат ИРИ. Если под «средством радиоконтроля» понимается станция РК, то эту систему обычно называют системой пеленгования. Если речь идет о многопозиционном комплексе РК, то это – система определения местоположения ИРИ. Для определения направления на ИРИ используются радиопеленгаторы или поисковые сканирующие по направлению антенные системы с датчиками угла.

Система анализа, распознавания РИ и их источников предназначена для измерения и анализа временных, частотных и других параметров РИ, распознавания видов РИ (в том числе – видов модуляции, передачи и т.п.), демодуляции принимаемых радиосигналов, декодирования сообщений, выделения смысловой и другой информации, содержащейся в принимаемых радиосигналах. В простейшем случае САР – пост радиоконтроля, на котором работают операторы с использованием аппаратуры выделения каналов, временного и спектрального анализа радиоизлучений, демодуляции сигналов и декодирования сообщений. Современные САР представляют собой сложные вычислительные алгоритмы и машины (ПЭВМ или конструкции из сигнальных процессоров), реализующие методы искусственного интеллекта, в частности, распознавания образов для проведения автоматизированного РК.

Система регистрации и документирования предназначена для реализации визуального интерфейса оператора, ведения документации. В простейшем случае – это индикаторы, устройства регистрации, магнитные носители, бланки постов РК. В современных СРК система регистрации и документирования реализована обычно на основе компьютерной техники и оргтехники.

Система управления СРК предназначена для осуществления управления всеми техническими устройствами и системами средства РК, реализации их взаимодействия в процессе функционирования, связи с другими аналогичными средствами.

Каждая из указанных технических систем через систему управления может взаимодействовать с другими системами. Например, при реализации прореживания потока анализируемых РИ по пространственным признакам система селекции может управлять антенной системой. Система анализа и распознавания РИ может получать данные от СП (СОМП) и АС. Система пеленгования ИРИ может управлять СПЧ для настройки на заданные частоты или подстройки рабочей частоты и т.д.

В настоящее время характерна тенденция использования в контролируемых радиоэлектронных системах сложных видов сигналов, ха-

ктеризующихся малой длительностью, применением сложных методов уплотнения и помехоустойчивого кодирования, дискретной (адаптивной и программной) перестройки несущей частоты. Интенсивное развитие систем мобильной связи, передачи данных, радионавигации, радиолокации обуславливает и дальнейшее усложнение и увеличение числа видов РИ. Это затрудняет проведение РК неавтоматизированными методами. Поэтому при проектировании современных средств РК разработчики стремятся к максимальной степени автоматизации процесса радиоконтроля. Автоматизации подлежат все функции средства РК: поиск радиосигналов в широкой полосе частот, прореживание потока РИ, пеленгование, определение местоположения их источников, распознавание радиосигналов (РИ) и их источников. Наибольшую сложность представляет автоматизация процесса распознавания сигналов и ИРИ по совокупности измеренных параметров.

В ходе РК измеряется и анализируется большое число параметров и характеристик сигналов и их источников: несущая частота f_c , длительность t_c , амплитуда U_c и форма сигналов или их элементов, мощность излучения P_c , вид и параметры спектров и корреляционных функций сигналов, вид и параметры модуляции (манипуляции) сигналов. При обработке импульсных сигналов определяются частота повторения F_i , длительность t_i и форма пачки импульсов. При частотной и фазовой модуляциях сигналов определяется частота F_m и форма модулирующих колебаний, девиация Δf_m несущей частоты; пространственные характеристики источников радиоизлучений – направление распространения и поляризация радиоволн, форма и ширина диаграммы направленности передающей антенны, способ обзора пространства. Анализируются режимы работы РЭС, которые характеризуются видом несущих колебаний, продолжительностью работы во времени и др. параметрами. По результатам измерений и анализа РИ принимается решение в каждой решаемой задаче РК.

3. ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РК

Распознавание радиосигналов (РИ) и их источников – это важная задача, которая должна решаться при автоматизированном РК. В силу общности решаемых задач РК алгоритмы функционирования СРК, реализующие пространственно-частотно-временной поиск и спектрально-временную обработку сигналов, можно рассматривать как подсистему системы распознавания сигналов [10].

Целью решения задачи распознавания РИ и идентификации ИРИ является установление факта, что в контролируемом радиоканале работает именно тот передатчик, который должен работать, и что пара-

метры его РИ соответствуют тем параметрам, которые ему были назначены. Операции, позволяющие установить, что радиоканал используется должным образом, включают следующие виды проверок:

- идентификационный сигнал соответствует сигналу, назначенного передатчика этого радиоканала;
- общие параметры информационных сигналов соответствуют параметрам, указанным в лицензии на передатчик;
- класс сигнала соответствует классу, указанному в лицензии;
- параметры модуляции соответствуют параметрам, предписанным передатчику данного радиоканала;
- пеленг на радиопередатчик соответствует пеленгу передатчика, которому выделен контролируемый радиоканал (для стационарных передатчиков);
- местоположение передатчика соответствует указанному в лицензии (для стационарных передатчиков).

Специфическими операциями, которые должно выполнять оборудование СРК в рассматриваемом режиме работы, являются:

- выявление и анализ РИ;
- установление класса излучения и анализ (декодирование) получаемых информационных сигналов;
- пеленгация и определение местоположения ИРИ.

4. ОСОБЕННОСТИ КЛАССИЧЕСКИХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РК

Полагается, что решение о типе РИ или источнике РИ принимается по сигналу с выхода специального исполнительного радиоприемника, который автоматически настраивается на радиоканалы согласно целеуказаниям системы управления СРК.

В классической постановке задачи обнаружения сигналов предполагается, что действует либо только помеха $n(t)$, либо аддитивная смесь полезного сигнала $s(t)$ и помехи $n(t)$: $x(t)=s(t)+ n(t)$. Сигнал и помеха в общем случае является случайными и с вероятностной точки зрения полагаются известными, т.е. заданы их многомерные плотности вероятности $W(x)$. В качестве критерия оптимальности обычно выбирается байесовский критерий, критерий идеального наблюдателя, критерий Неймана-Пирсона. Эти критерии приводят к одинаковым с принципиальной точки зрения алгоритмам обнаружения сигналов – отношение правдоподобия сравнивается с некоторым порогом h [3,4]:

$$\frac{W(\mathbf{x}/s)}{W(\mathbf{x}/0)} \geq h. \quad (1)$$

Здесь $W(x/s)$, $W(x/0)$ – функции правдоподобия при условии, что в принятой смеси сигнал $s(t)$ соответственно присутствует либо отсутствует; x – L -мерный вектор конечномерного представления реализации $x(t)$, получаемой на интервале времени наблюдения $(0; T)$. В зависимости от выбранного критерия изменяются лишь значения порогового значения h .

Классическая задача различения (распознавания) сигналов ставится так [5,6]. Наблюдается смесь одного из M заданных сигналов $s^i(t)$, $i = \overline{1, M}$ с помехой $n(t)$: $x(t) = s^i(t) + n(t)$, $i = \overline{1, M}$. Необходимо принять решение о том, какой из M сигналов присутствует в наблюдаемой смеси. Сигналы и помехи полагаются известными с вероятностной точки зрения. Решение такой задачи различения, независимо от выбранного критерия (байесовского, идеального наблюдателя, максимального правдоподобия и др.) сводится к следующему решающему правилу [5,6]:

$$\frac{W(\mathbf{x}/s^i)}{W(\mathbf{x}/s^l)} \geq h_{il}, \quad i, l = \overline{1, M}. \quad (2)$$

Здесь h_{il} – некоторые пороговые значения, зависящие от выбранного критерия оптимальности. В частном случае критерия идеального наблюдателя $h_{il} = \frac{P_l}{P_i}$, где P_i – вероятности появления сигналов.

Рассмотренные классические задачи обнаружения и распознавания сигналов неадекватны реальным задачам РК. Во многих случаях возникает необходимость обнаруживать и распознавать сигналы с неизвестными статистическими характеристиками. Для преодоления априорной неопределенности при обнаружении и распознавании могут быть использованы обучающие выборки реальных сигналов и помехи [6,7,8]. Однако специфика задач РК такова, что приходится решать задачи обнаружения и распознавания РИ при отсутствии обучающих выборок сигналов для ряда РИ.

В работе [9] решены задачи распознавания, многоальтернативного обнаружения заданных сигналов при наличии класса неизвестных сигналов, которые адекватны реальным задачам РК. Такие нетрадиционные задачи распознавания формулируются следующим образом. В некотором радиоканале наблюдаются сигналы на фоне помех. Из всего множества сигналов, появляющихся в канале, требуется выделить (селектировать) и распознать M заданных сигналов, которые представля-

ют интерес для РК. При этом фактически необходимо обнаружить, селективировать и распознать M заданных сигналов, а также отнести в $M + 1$ -й класс сигналы, не представляющие интерес для РК.

В ряде случаев РК при появлении сигналов из $M + 1$ -й класса принимается решение о том, что появились новые неизвестные РИ, которые подлежат дальнейшему анализу с целью определения вида и параметров модуляции. При такой постановке задачи распознавания (выявления) новых сигналов полагается, что в радиоканале действует

либо один из заданных сигналов $s^i(t)$, либо новый неизвестный сигнал в аддитивной смеси с помехой $n(t)$: $x(t) = s^i(t) + n(t)$, $i = \overline{1, M + 1}$.

Здесь $s^i(t)$ – сигнал, определяемый передаваемым сообщением, видом оператора модуляции, видом и параметрами сигнала-переносчика, типом кодирования сообщений.

При автоматизированном РК для ряда заданных РИ могут быть известны вид и параметры модуляции, вид кодирования, вероятностные характеристики сообщения. Если они неизвестны, то такая информация может быть получена путем дополнительных исследований с использованием обучающих выборок реальных сигналов для заданных РИ. Для множества других РИ, которые не представляют интереса для РК и объединяются в $M + 1$ -й класс неизвестных РИ, вероятностное описание соответствующих им сигналов неизвестны и отсутствуют их обучающие выборки сигналов. Есть лишь предположения, что неизвестные РИ отличаются от M заданных РИ.

Таким образом, в отношении наблюдаемых РИ, действующих в одном радиоканале, можно принять решение в пользу одной из гипотез [9]:

H^i : $x(t) = s^i(t) + n(t)$, $i = \overline{1, M}$ – действует одно из M заданных РИ; (3а)

H^{M+1} : $x(t) = s^i(t) + n(t)$, $i = \overline{1, M + 1}$ – действует РИ из $M + 1$ -го класса неизвестных РИ. (3б)

При этом полагается, что в канале наблюдения сигналы поступают последовательно во времени, т.е. на интервале наблюдения $(0, T)$ может действовать только один из сигналов с вероятностями появления

$$P_i, \text{ причем } \sum_{i=1}^{M+1} P_i = 1.$$

Рассматриваемая задача фактически представляет собой задачу распознавания заданных сигналов при наличии $M + 1$ -го класса неизвестных сигналов. В этой задаче вероятность ошибочных решений

состоит из трех составляющих, определяемых соответственно: $P_{ou(M)}$ – перепутыванием M заданных сигналов между собой; $P_{ou(M+1/M)}$ – принятием гипотезы H^{M+1} в случае, когда действует один из M заданных сигналов; $P_{ou(M/M+1)}$ – принятием гипотезы о действии одного из M заданных сигналов, при условии, что действует сигнал из $M+1$ -го класса.

В соответствии с имеющейся априорной информацией можно контролировать лишь первые две составляющие вероятности ошибки. Для учета третьей составляющей можно вводить показатель в виде объема критической области отклонения гипотезы H^{M+1} о действии $M+1$ -го класса сигналов $G = \bigcup_{i=0}^M G_i$. Эта область имеет смысл собственной области M заданных сигналов и помехи.

Для решения такой нетрадиционной задачи различения (распознавания) M заданных сигналов предложено ввести векторный критерий качества, который учитывает указанные составляющие вероятности ошибки. При этом решается задача максимизации суммарной вероятности правильного распознавания M заданных сигналов при фиксированном объеме их собственной области. Решение этой задачи приводит к следующему решающему правилу [9]:

$$H^i : \max_{l=1, M} (P_l W(\mathbf{x} / s^l)) \geq \lambda, \quad (4a)$$

$$P_i W(\mathbf{x} / s^i) \geq P_l W(\mathbf{x} / s^l), \quad l = \overline{1, M}, \quad l \neq i, \quad (4б)$$

$$H^{M+1} : \max_{l=1, M} (P_l W(\mathbf{x} / s^l)) < \lambda. \quad (4в)$$

При выполнении (4а), (4б) принимается решение о действии одного из M заданных сигналов. Когда выполняется (4в), принимается решение о действии неизвестного сигнала из $M+1$ -го класса.

Это решающее правило относится к классу небайесовских правил принятия решений. Оно дает возможность решать задачи распознавания заданных РИ в канале наблюдения как новую задачу селекции и различения заданных сигналов. Для случая, когда учитываются ошибки лишь за счет перепутывания $M+1$ -го класса сигналов с M заданными сигналами можно прийти к принятию одной из двух гипотез:

$$H^M : \max_{l=1, M} (P_l W(\mathbf{x} / s^l)) \geq \lambda; \quad H^{M+1} : \max_{l=1, M} (P_l W(\mathbf{x} / s^l)) < \lambda. \quad (5)$$

Это решающее правило обнаружения новых неизвестных РИ на фоне стационарной помехи. При этом принимается решение о том, что в канале наблюдения на фоне стационарной помехи действует либо новое РИ, либо одно из M заданных РИ. Это решающее правило явля-

ется обобщением классической задачи обнаружения для решения реальных задач обнаружения при автоматизированном РК.

Следует заметить, что выше приведены лишь общие решающие правила обнаружения и распознавания сигналов, которые могут быть использованы в задачах автоматизированного РК. В этих решающих правилах должны быть заданы конкретные плотности распределений, которые определяются выбранной вероятностной моделью реальных сигналов и помех на выходе радиоприемника, настроенного на РИ. В работе [10] приведены алгоритмы распознавания сигналов, которые получены при использовании некоторых вероятностных моделей. Здесь же рассматриваются также примеры решения ряда практических задач распознавания сигналов в условиях априорной неопределенности, характерных для автоматизированного РК. Предлагается методология выбора алгоритмов обнаружения и распознавания сигналов, оптимальных по совокупности показателей эффективности и затрат.

5. ВЫВОДЫ

1. При решении рассмотренных задач обнаружения и распознавания РИ должна быть выбрана адекватная вероятностная модель сигналов, которая отражает свойства реального физического сигнала на выходе радиоприемника, настроенного на РИ. При этом алгоритмы обнаружения и распознавания РИ на основе рассмотренных решающих правил будут конкретизированы с учетом вида плотностей распределения, определяемых выбранной вероятностной моделью сигналов.

2. В задачах обнаружения и распознавания РИ при автоматизированном РК имеет место априорная неопределенность, когда неизвестны параметры плотностей распределения соответствующих сигналов либо же вообще неизвестен вид плотностей распределения. Это определяет необходимость накопления обучающих выборок реальных сигналов для преодоления априорной неопределенности. По этим выборкам будут находиться оценки неизвестных параметров соответствующих алгоритмов обнаружения и распознавания РИ.

3. Полученные алгоритмы обнаружения и распознавания РИ достаточно просто могут быть реализованы на основе спецпроцессоров либо персональной ЭВМ. Показатели качества обнаружения и распознавания РИ определить аналитическими методами в общем случае не представляется возможным. Поэтому для этих целей может быть использован метод статистических испытаний с использованием контрольных выборок реальных сигналов, полученных для соответствующих РИ.

4. Практические требования автоматизированного РК определяют необходимость дальнейшего развития методов обработки сигналов в направлении решения задач совместного обнаружения, распознавания и оценивания параметров РИ.

1. *Справочник по радиоконтролю / Под ред. Ж. Жоржен. Пер. с франц. - Женева: Междунар. союз электросвязи, 1995. - 442 с.* 2. *Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне / Под ред. У. Джонс. Пер. с франц. - Женева: Бюро радиосвязи, 1995. - 144 с.* 3. *Сосулин Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. - М.: Сов. радио, 1978. - 320 с.* 4. *Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. - М.: Радио и связь, 1983. - 320 с.* 5. *Трифонов А.П., Шинаков Ю.С. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех. - М.: Радио и связь, 1986. - 264 с.* 6. *Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. - М.: Сов. радио, 1977. - 432 с.* 7. *Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / Пер. с англ. - М.: Наука, 1979. - 367 с.* 8. *Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. - М.: Радио и связь, 1986. - 264 с.* 9. *Омельченко В.А. Основы спектральной теории распознавания сигналов. - Харьков: Вища школа, 1983. - 156 с.* 10. *Безрук В.М., Певцов Г.В. Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля. - Харьков: Коллегиум, 2007. - 430 с.*