

УДК 621.396.96

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).68-77](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).68-77)**И. М. НИКОЛАЕВ,***кандидат технических наук, старший научный сотрудник*<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>*(Харьковский национальный университет
Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, г. Харьков)*

Методика априорного описания летательных аппаратов на основе сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучения бортовых радиолокационных станций

Излагается методика формирования априорных эталонных описаний распознаваемых классов (типов) и состояний радиоизлучающих летательных аппаратов на основе признаков, связанных со структурой и параметрами излучения бортовых радиолокационных станций (БРЛС). Показано, что в условиях параметрической неопределенности разбиение радиоизлучающих летательных аппаратов на классы (типы) и состояния, выбор априорного словаря сигнальных признаков и формирование априорных описаний целесообразно осуществлять на основе анализа данных о режимах работы и параметрах излучения БРЛС с использованием экспертно-аналитических оценок параметров излучения и проверкой полученных результатов методом статистического моделирования. Приводится априорный словарь сигнальных признаков, в состав которого входят частотно-временные параметры, обусловленные режимами работы передающих устройств и антенных систем БРЛС. Показано, что каталог эталонных описаний представляет собой таблицу, строки которой соответствуют названиям классов (типов) и состояний летательных аппаратов, а столбцы – наименованиям признаков, при этом эталонные описания классов (типов) и состояний летательных аппаратов в строках данной таблицы представлены интервалами возможных значений параметров излучения БРЛС, входящих в априорный словарь. Методика проиллюстрирована моделями априорных описаний нескольких типов летательных аппаратов, относящихся к различным классам.

Ключевые слова: каталог эталонных описаний, классифицированная обучающая выборка, радиоизлучающий летательный аппарат, бортовая радиолокационная станция, параметры излучения, словарь сигнальных признаков

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание радиоизлучающих летательных аппаратов (ЛА) является одной из задач, возлагаемых на средства радиоэлектронного наблюдения (РЭН) [1]. Особую актуальность эта задача приобретает в информационных конфликтах противоборствующих сторон, где одна сторона формирует радиоизлучающие объекты на входе средства РЭН, а вторая обеспечивает селекцию и распознавание (классификацию) этих объектов с целью оперативного формирования решения в виде реакции на выявленную окружающую обстановку. Признаками распознавания радиоизлучающих ЛА для средств РЭН являются частотно-временные параметры излучений бортовых РЛС (БРЛС), проявляющиеся в режимах их работы и способах обзора пространства [2-4]. Возможность распознавания ЛА по параметрам излучений бортовых БРЛС обусловлена детерминированным характером их пространственной, временной и спектральной структуры, а также объективно существующими различиями в типаже и составе БРЛС, размещаемых на гражданских и военных ЛА разных классов (типов). Эффективность распознавания ЛА будет определяться полнотой и достоверностью априорного описания классов (типов) ЛА на языке сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучений БРЛС [4-6].

Общепринятые подходы к решению задачи распознавания ЛА по значениям параметров излучений БРЛС, представленных в виде совокупности входных сигнальных признаков, предполагают сравнение измеренных параметров излучения обнаруженного объекта с аналогичными параметрами из каталога эталонных описаний, характеризующего известные классы распознаваемых объектов [5-7]. В связи с этим задача разработки каталога эталонных описаний радиоизлучающих ЛА на основе параметров излучения их БРЛС является актуальной.

Основное внимание в известной научно-технической литературе уделяется методам выбора априорного словаря признаков, алфавита классов и классифицированной обучающей выборки применительно к задаче обучения проектируемой системы распознавания в автоматическом режиме [8-11]. В [12] рассматриваются специфика и показатели эффективности распознавания наземных РЛС аппаратурой РЭН, установленной на борту ЛА. В [13] приведены характеристики БРЛС и описание антенных решеток, стоящих на вооружении в России и за рубежом, приводятся возможные пути развития бортовых радиолокационных станций в ближайшем будущем. В [14] на основе открытых публикаций приведен анализ основных направлений научно-технического и технологического развития авиационных БРЛС. В [15] приведены параметры зарубежных РЛС воздушного базирования и их носителей, даны основные тактико-технические характеристики (ТТХ) боевого применения этих РЛС. В работах [16-20] описаны принципы построения и особенности функционирования радиоэлектронных комплексов навигации, прицеливания и управления вооружением ЛА при решении боевых и навигационных задач. В [21] обоснован перечень информативных параметров типовых источников радиоизлучений, который

может быть использован для их идентификации. В [22-38] на основе открытых материалов рассмотрены технические характеристики зарубежных ЛА и конкретные типы их бортовых РЛС. Вместе с тем в известной научно-технической литературе отсутствуют публикации, в которых рассматриваются вопросы формирования каталога эталонных описаний ЛА на основе признаков, связанных с параметрами сигналов, излучаемых их БРЛС, что обуславливает необходимость проведения исследований в данном направлении.

Целью статьи является разработка метода формирования классифицированной обучающей выборки в виде каталога эталонных априорных описаний классов (типов) и состояний радиоизлучающих ЛА на языке сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучений БРЛС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С формальной точки зрения задача формирования классифицированной обучающей выборки для системы распознавания радиоизлучающих ЛА может быть сформулирована следующим образом. Пусть имеются алфавит классов ЛА $\Lambda_{\text{ЛА}} = \{\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_L\}$ и априорный словарь признаков $A_{\text{апр}} = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\}$. Каждый класс Λ_l , $l = 1, L$, изначально определяется набором из l_k типов ЛА, образующих данный класс. При этом каждый тип ЛА описывается N признаками из априорного словаря и однозначно ассоциируется с одним из классов Λ_l . Множество типов ЛА одного класса образует формальное описание этого класса в априорном признаковом пространстве. Объединение всех объектов из всех классов $\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_L$ образует исходную классифицированную обучающую выборку. Эта выборка представляет собой таблицу типа “объект-свойство” и формально представляется в виде матрицы размерности $L \times N$, где $L = l_1 + l_2 + \dots + l_k$, а l_k – количество типов ЛА, образующих k -й класс.

Таким образом, классифицированная обучающая выборка представляет собой таблицу, строки которой помечены названиями классов ЛА, а столбцы – названиями признаков α_v , $v = \overline{1, N}$. Элементами таблицы являются значения признаков объектов α_v .

Решение данной задачи плохо поддается автоматизации. Поэтому на практике при проектировании системы распознавания ЛА задача формирования классифицированной обучающей выборки решается расчетно-аналитическим методом с привлечением квалифицированных специалистов (экспертов), задачей которых является формирование: 1) алфавита классов (типов) ЛА, 2) априорного словаря признаков и 3) каталога эталонных описаний. Алфавит классов (типов) радиоизлучающих ЛА задается, исходя из задач, решаемых потребителем информации о воздушной радиоэлектронной обстановке, в интересах которого функционирует средство РЭН. Каталог эталонных описаний используется для хранения информации о сигнальных признаках распознаваемых классов (типов) ЛА. В случае решения задачи классификации экспертной системой данный каталог может выступать в качестве базы знаний. Он хранится в памяти системы распознавания и является основой

для классификации обнаруженного объекта по значениям параметров, представленных в виде совокупности входных признаков. Формирование каталога эталонных описаний радиоизлучающих ЛА может осуществляться одним из трех известных способов: 1) задание общих свойств, 2) кластеризация и 3) перечисление [7].

Первый способ (задание общих свойств) состоит в том, что класс ЛА (например, класс «бомбардировщики») задается указанием некоторых признаков, свойственных всем типам ЛА, образующих данный класс. Распознаваемый объект в таком случае не сравнивается напрямую с группой эталонных объектов. В его первичном описании выделяются значения определенного набора признаков, которые затем сравниваются с заданными признаками классов. При этом для каждого признака может задаваться требование либо к его наличию/отсутствию, либо к нахождению его числового значения в установленных пределах. Такой подход называется сопоставлением по признакам. Недостатком данного подхода к составлению каталога эталонных описаний радиоизлучающих ЛА является сложность определения полного набора признаков, точно отличающих ЛА одного класса от ЛА всех остальных классов.

Второй способ (кластеризация) может быть использован в том случае, когда радиоизлучающие объекты описываются векторами признаков или измерений, что позволяет класс ЛА рассматривать как кластер. Распознавание наблюдаемого объекта осуществляется на основе расчета расстояния описания данного объекта до каждого из имеющихся кластеров. Если кластеры достаточно разнесены в пространстве, при распознавании хорошо работает метод оценки расстояний от рассматриваемого объекта до каждого из кластеров. Сложность распознавания возрастает, если кластеры перекрываются. Обычно это является следствием недостаточности исходной информации и может быть разрешено увеличением количества измерений объектов. Для задания исходных кластеров целесообразно использовать процедуру обучения.

Третий способ заключается в том, что каждый класс задается путём прямого указания (перечисления) типов ЛА, образующих данный класс. Предъявляемые системе распознавания образы сравниваются с заданными описаниями представителей классов и относятся к тому классу, которому принадлежат наиболее сходные с ними образцы. Такой подход к распознаванию радиоизлучающих ЛА называют методом сравнения с эталонами.

Описанные способы имеют место при формировании каталога эталонных описаний классов ЛА в случае, если имеется достоверная информация о параметрах излучения БРЛС.

Наибольший интерес для решения поставленной задачи представляет метод сравнения с эталонами. Методика формирования классифицированной обучающей выборки для системы распознавания ЛА по параметрам излучения их БРЛС предусматривает выполнение следующих операций:

1) на основе анализа информации о функциональном назначении ЛА проводят классификацию и

формируют априорный алфавит классов (типов) ЛА $\Lambda_{\text{ЛА}} = \{ \Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_L \}$;

2) на основе анализа информации о функциональном назначении, режимах работы и параметрах излучения БРЛС ЛА формируют априорный словарь сигнальных признаков $A_{\text{апр}}(\alpha_v) = \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N \}$, где N – количество признаков, входящих в априорный словарь;

3) составляют описания классов (типов) ЛА на априорном языке сигнальных признаков, для чего каждому классу (типу) ЛА ставят в соответствие вектор-строку $\Lambda_l = \{ \alpha_{l1}, \alpha_{l2}, \dots, \alpha_{lN} \}$ $l = \overline{1, L}$, где L – количество классов ЛА;

4) объединяют все соответствующие вектора эталонных описаний из всех классов ЛА в классифицированную обучающую выборку, которая в данном случае будет представлять собой прямоугольную таблицу типа «объект-свойство»;

5) разрабатывают алгоритмы принятия решений, обеспечивающие отнесение наблюдаемого источника радиоизлучения (радиоизлучающего объекта) по измеренному вектору сигнальных признаков к одному из классов априорного алфавита;

6) создают адаптированную к предметной области компьютерную модель с программным обеспечением, моделирующим функционирование системы распознавания радиоизлучающих объектов по случайному вектору измеренных параметров излучения БРЛС имитируемого ЛА [39];

7) на основе результатов моделирования исходную классифицированную обучающую выборку корректируют путем исключения из нее всех строк, содержащих пересекающиеся признаки, и формируют промежуточную выборку;

8) на основе содержимого этой выборки проводят нормировку значений признаков к единичному интервалу и формируют в итоге классифицированную выборку эталонных значений, содержащую сигнальные признаки, диапазоны возможных значений которых обеспечивают распознавание заданного алфавита классов ЛА с вероятностью, не ниже требуемого значения.

Априорный словарь сигнальных признаков классов (типов) и состояний ЛА формируется из числа доступных измерению параметров сигналов, излучаемых БРЛС в том или ином режиме. При ограниченном времени контакта средства РЭН с радиоизлучающим объектом для распознавания класса (типа) ЛА могут быть использованы лишь основные параметры излучаемых сигналов, а именно: несущая частота и вид излучаемого сигнала, длительность и период повторения импульсов, наличие и вид закона внутриимпульсной модуляции, число импульсов в пачке, частота повторения пачек импульсов и другие параметры [3, 5, 6, 39]. Часть этих параметров измеряется системой измерения и анализа сигналов, а другая – вычисляется в системе первичной обработки информации на основе измеренных параметров. Измеряемыми параметрами являются: признак наличия внутриимпульсной модуляции, длительность импульса, несущая частота импульса, величина внутриимпульсной девиации частоты. К вычисляемым

параметрам относятся: период повторения импульсов, признаки модуляции длительности и периода повторения, количество импульсов в пачке и другие.

Задача формирования классифицированной обучающей выборки для системы распознавания радиоизлучающих ЛА характеризуется параметрической неопределенностью, которая обусловлена отсутствием достоверной информации о значениях параметров излучения БРЛС подлежащих распознаванию классов ЛА, неполным перечнем всех возможных классов, а также ограниченной точностью измерения параметров излучения. В связи с этим в каталоге эталонных значений распознаваемых классов (типов) ЛА для параметров α_{iv} необходимо вводить допустимые интервалы возможных значений (ИВЗ) $[\alpha_{iv}^{\min}, \alpha_{iv}^{\max}]$, с которыми нужно проводить сравнение поступивших в обработку параметров наблюдаемого объекта. Интервал $[\alpha_{iv}^{\min}, \alpha_{iv}^{\max}]$ гарантирует допустимые пределы изменения параметра α_{iv} с некоторой вероятностью. При этом следует учитывать, что попадание всех параметров объекта классификации в соответствующие допустимые интервалы какого-либо класса из каталога говорит о возможности отнесения наблюдаемого объекта к данному классу с некоторой вероятностью. Поскольку интервалы $[\alpha_{iv}^{\min}, \alpha_{iv}^{\max}]$ являются следствием отсутствия достоверной информации о значениях параметров излучения БРЛС ЛА, можно говорить о распознавании радиоизлучающих ЛА лишь как о вероятностном процессе.

Ввиду того, что диапазоны возможных значений одноименных параметров излучения БРЛС могут перекрываться, для повышения достоверности распознавания ЛА необходимо комплексное использование максимального количества информативных параметров, характеризующих текущее состояние источника радиоизлучения в условиях ограниченного сверху времени распознавания обнаруженного объекта.

Таким образом, конечный результат распознавания ЛА по параметрам излучений их БРЛС напрямую будет зависеть от качества информации, представленной в каталоге эталонных значений. Исходной информацией для построения каталога априорных описаний распознаваемых классов (типов) ЛА на языке сигнальных признаков являются ИВЗ параметров сигналов, излучаемых БРЛС в разных режимах работы.

Для формирования каталога априорных эталонных описаний классов (типов) ЛА на языке сигнальных признаков были выбраны границы ИВЗ следующих параметров сигналов, излучаемых БРЛС ЛА, а именно: $[f_o^{\min}, f_o^{\max}]$ – ИВЗ несущей частоты излучения; $[\tau_u^{\min}, \tau_u^{\max}]$ – ИВЗ длительностей импульсов; $[\Delta F_u^{\min}, \Delta F_u^{\max}]$ – ИВЗ ширины спектра излучения; $[T_u^{\min}, T_u^{\max}]$ – ИВЗ периода повторения импульсов; $[\Delta F_{\Pi}^{\min}, \Delta F_{\Pi}^{\max}]$ – ИВЗ перестройки частоты в пачке импульсов; $[\tau_{\Pi}^{\min}, \tau_{\Pi}^{\max}]$ – ИВЗ длительностей пачки импульсов; $[T_{\Pi}^{\min}, T_{\Pi}^{\max}]$ – ИВЗ период следования пачек импульсов; $[\Delta F_{\Pi}^{\min}, \Delta F_{\Pi}^{\max}]$ – ИВЗ перестройки частоты между пачками импульсов; $[\tau_{\text{обл}}^{\min}, \tau_{\text{обл}}^{\max}]$ – ИВЗ времени контакта средства РЭН с радиоизлучающим объектом (длительности облучения); $[T_{\text{обл}}^{\min}, T_{\text{обл}}^{\max}]$ – ИВЗ периода

Таблиця 1

Модель возможных состояний ЛА КС-135

Режимы работы РЛС AN/APN-59	Навигация по радиолокационным маякам	Навигация по радиолокационным ориентирам	Разведка погоды	Картографирование реальным лучом ДНА	Картографирование в режиме РСА (коррекция ИНС)	Поиск воздушной цели	Сопровождение воздушной цели
№ 1	×						
№ 2		×					
№ 3			×				
№ 4				×			
№ 5					×		
№ 6						×	
№ 7							×

облучения. Кроме того, для описания ЛА может быть использован признак вида внутриимпульсной модуляции $P_{вим}$, признак N_f количества несущих частот в пачке импульсов и другие признаки.

В настоящее время на ЛА широкое применение находят многофункциональные (МФ) БРЛС, которые могут функционировать в режимах, отличающихся видом сигнала, значениями частотно-временных параметров излучения и характером (моделью) их изменения во времени. Эти БРЛС могут решать задачи обзора воздушного пространства и земной поверхности, управления бортовым оружием и полета на малых высотах. Наличие нескольких режимов работы БРЛС обусловлено наличием ряда разнохарактерных задач, которые ЛА должен выполнять в одном полете. Это означает, что функционирование БРЛС в том или ином режиме свидетельствует о состоянии ЛА, под которым понимают конкретную задачу, выполняемую ЛА на соответствующем этапе полета.

Для ЛА военного назначения такими состояниями могут быть состояния навигации, обнаружения, распознавания и сопровождения воздушных и/или наземных (морских) целей, обеспечения полета на малых высотах и ситуационной осведомленности экипажа (пилота) в сложной метеообстановке, применения оружия по воздушным и/или наземным (морским) целям [5, 6]. Каждое состояние ЛА характеризуется набором параметров излучения БРЛС, связанных с режимами функционирования ее передающего устройства и антенной системы. Для распознавания ЛА по параметрам излучения БРЛС каждый класс (тип) ЛА должен быть описан одним или несколькими (по числу режимов работы) эталонными описаниями, представленными ИВЗ параметров, входящих в априорный словарь признаков: $A_3(\alpha_v^{min}, \alpha_v^{max}) = ([f_o^{min}, f_o^{max}], [\tau_u^{min}, \tau_u^{max}], [\Delta F_u^{min}, \Delta F_u^{max}], ..., [T_{обл}^{min}, T_{обл}^{max}])$. При таком подходе к формированию каталога эталонных описаний процесс распознавания ЛА может быть сведен к последовательному распознаванию режимов БРЛС, классов (типов) БРЛС и классов (типов) ЛА – их носителей.

Источником информации о параметрах излучения БРЛС ЛА военного и гражданского назначения являются сведения об их функциональном назначении, бортовом оборудовании и летно-технических характеристиках, которые публикуются в открытых средствах

массовой информации (в различных справочниках и периодических изданиях, обзорах и отчетах о выставках авиационной техники, рекламных буклетах фирм-разработчиков, а также в сети Интернет) [15, 20-38]. Трудности формирования каталога эталонных описаний ЛА обусловлены тем, что сведения о возможных значениях параметров сигналов БРЛС современных ЛА в доступных для анализа СМИ отсутствуют или являются неполными.

Проиллюстрируем суть предлагаемой методики на примере фрагментов тестового каталога эталонных описаний ЛА, относящихся к различным классам.

ЛА типа КС-135 относится к классу военно-транспортных самолетов и на разных этапах полета может находиться в следующих состояниях: 1) полет в зону дозаправки; 2) дежурство в зоне дозаправки; 3) встреча и дозаправка самолета, подлежащего дозаправке. Переход самолета из одного состояния в другое характеризуется изменением режима работы БРЛС типа AN/APN-59. Эта БРЛС работает в диапазоне частот (9375 ± 25) МГц с импульсами длительностью 0,35; 0,8; 2,25 и 4,5 мкс, излучаемых с частотой повторения 2000, 1025, 350 и 180 Гц соответственно [35]. Модель состояний ЛА типа КС-135 приведена в табл. 1.

БРЛС AN/APN-59 осуществляет обзор пространства в режиме кругового обзора с темпом 6 и 12 об/мин, а в режиме секторного обзора – путем механического сканирования в горизонтальной плоскости в секторе $\pm 100^\circ$ относительно продольной оси самолета с темпом 10-20 качаний в минуту. Для обзора верхней или нижней полусферы ось антенны может быть отклонена соответственно вверх на 10° или вниз на 15° . Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов БРЛС типа AN/APN-59, приведены в табл. 2.

При разработке каталога эталонных описаний ЛА типа В-1В предполагалось, что данный ЛА на разных этапах полета может находиться в следующих состояниях: 1) навигация по радиолокационным ориентирам; 2) разведка погоды на маршруте полета; 3) работа с воздушным маяком-ответчиком топливозаправщика; 4) поиск и сопровождение самолета-заправщика (встреча с топливозаправщиком в зоне дозаправки); 5) полет на малой высоте с огибанием рельефа местности (преодоление системы ПВО) или заданным превышением над максимальной точкой маршрута полета; 6) коррекция

Таблица 2

Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов РЛС AN/APN-59

Режи- мы	$\Delta f_{\text{рц}}$, ГГц	$\tau_{\text{имп}}$, мкс	$\Delta F_{\text{с}}$, МГц	$T_{\text{имп}}$, мкс	$\Delta f_{\text{нач}}$, Гц	$\tau_{\text{нач}}$, мс	$T_{\text{нач}}$, мс	$\tau_{\text{обл}}$, мс	$T_{\text{обл}}$, с
№1	9,3-9,4	4,4 4,6	0,22-0,23	2450-2550	0	42,0-44,0	950-1050	42,0-44,0	0,95-1,05
№2	9,3-9,4	3,5- 3,7	0,28-0,3	1900-2100	5,0-15,0	42,0-44,0	2850-1870	42,0-44,0	2,85-2,87
№3	9,3-9,4	1,9- 2,1	0,48-0,52	900-1100	5,0-15,0	42,0-44,0	5950-6050	42,0-44,0	5,95-6,05
№4	9,3-9,4	0,3- 0,4	2,5-3,3	900-1100	5,0-15,0	42,0-44,0	45,0-46,0	82,0-84,0	0
№5	9,3-9,4	3,5- 3,7	0,22-0,23	2400-2600	5,0-10,0	42,0-44,0	1700-1800	42,0-44,0	1,7-1,8
№6	9,3-9,4	0,9- 1,1	0,9-1,1	950-1050	5,0-10,0	42,0-44,0	2800-2900	42,0-44,0	2,8-2,9
№7	9,3-9,4	0,3- 0,4	2,5-3,3	450-550	10,0-15,0	22,0-24,0	23,0-25,0	42,0-44,0	2,85-2,87

инерциальной навигационной системы (ИНС); 7) поиск наземных объектов (целей); 8) сопровождение наземных движущихся объектов (целей); 9) прицеливание по наземному объекту. Каждое из указанных состояний самолета В-1В характеризуется вектором сигнальных признаков, обусловленных работой на излучение БРЛС типа AN/APQ-164. Перечень состояний ЛА типа В-1В приведен в табл. 3.

В режиме «воздух-земля» БРЛС AN/APQ-164 обеспечивает картографирование земной поверхности реальным лучом и с синтезированием апертуры, обход наземных препятствий в ручном режиме и автоматическое следование рельефу местности на высотах не менее 60 м над равнинной местностью, коррекцию ИНС самолета по скорости, обнаружение и сопровождение наземных движущихся целей, измерение высоты (при полете на средних и больших высотах), работу с наземным радиомаяком. В режиме «воздух-воздух» функциями БРЛС являются разведка погоды, работа с воздушным радиомаяком, обеспечение встречи с самолетом-заправщиком.

При разработке каталога эталонных описаний ЛА типа F-16C/D в зависимости от характера решаемых

задач на разных этапах полета были выбраны следующие группы состояний: 1) полет по заданному маршруту (навигация по радиолокационным ориентирам, полет на малой высоте с огибанием рельефа местности или облетом препятствий; корректировка навигационной системы по сигналам маяков); 2) работа по воздушным целям - оценка воздушной обстановки, поиск, обнаружение, сопровождение и обстрел воздушных целей в верхней (над линией горизонта) и нижней полусфере (на фоне подстилающей поверхности); 3) работа по наземным целям – оценка наземной обстановки, поиск, обнаружение, сопровождение и обстрел наземных стационарных и подвижных целей.

Переход ЛА F-16C/D из одного состояния в другое характеризуется изменением режима работы БРЛС AN/APG-68. При действии по воздушным целям основными режимами работы БРЛС APG-68 являются: 1) обнаружение целей в верхней и нижней полусферах с поиском по скорости при использовании высокой частоты повторения импульсов (ВЧПИ) и переходом на среднюю частоту повторения (СЧПИ); 2) обнаружение целей в верхней и нижней полусферах с измерением

Таблица 3

Модель возможных состояний ЛА В-1В

Режимы работы РЛС AN/APQ-164	Нави- гация	Раз- ведка погоды	Работа с маяком ответчи- ком	Преодо- ление системы ПВО	Встреча с топли- возапра- вщиком	Кор- рекция ИНС	Поиск объек- та	Сопро- вожде- ние объекта	Прице- ливание по объекту
№1	×								
№2		×							
№3			×						
№4				×					
№5					×				
№6						×			
№7							×		
№8								×	
№9									×

дальности и использованием СЧПИ; 3) сопровождение нескольких целей (до 10) при сканировании на проходе; 4) сопровождение одиночной цели с использованием ВЧПИ, СЧПИ или НЧПИ (в этом режиме осуществляется подсвет цели при ВЧПИ для применения ракет AIM-7F с полуактивными головками самонаведения); 5) поиск и автоматический захват цели на дальности до 9 км в режимах ближнего воздушного боя: при поиске в поле зрения ИЛС $20 \times 20^\circ$, при вертикальном сканировании антенны (в секторе 10° по азимуту и 40° по углу места) или при ориентации луча БРЛС вдоль продольной оси самолета. Во всех режимах ближнего воздушного боя параметры излучения БРЛС выбираются с учетом обеспечения максимальной скрытности действия по выбранной цели. В режимах поиска сканирование антенны может производиться в секторах $\pm 10^\circ$, $\pm 30^\circ$ и $\pm 60^\circ$ по азимуту при одной, двух или четырех строках развертки по углу места в определенных сочетаниях.

При действии по наземным целям основными режимами работы БРЛС APG-68 являются: 1) картографирование земной поверхности реальным лучом диаграммы направленности антенны (ДНА) в секторе $\pm 60^\circ$ по азимуту с масштабами 18,5; 37; 148; 296 км; 2) картографирование земной поверхности при доплеровском «обострении» ДНА с кратностью 64 при визировании под углами $\pm (15 \dots 60^\circ)$ к продольной оси самолета по азимуту; 3) обнаружение морских целей с перестройкой несущей частоты от импульса к импульсу, с использованием когерентного излучения и доплеровской фильтрации при приеме; 4) измерение дальности до наземных (морских) целей с использованием «псевдоимпульсного» режима излучения; 5) обнаружение наземных движущихся целей; 6) сопровождение обнаруженной наземной (морской) цели; 7) следование рельефу местности или облет препятствий; 8) работа с маяками-ответчиками.

Из изложенного следует, что при формировании априорного описания ЛА типа F-16C/D особое

внимание должно быть уделено установлению соответствия между состояниями ЛА и параметрами излучения БРЛС типа AN/APG-68 в соответствующем режиме функционирования. Модель возможных состояний ЛА типа F-16C/D является достаточно сложной и в данной работе не приводится.

Эталонные значения параметров излучения БРЛС AN/APG-77 и AN/APQ-164 при работе их в режимах, выбранных для описания состояний ЛА типа F-16C/D и B-1B, формируются экспертно-аналитическим методом с учетом принципов их функционирования и данных, содержащихся в открытых средствах массовой информации.

При формировании априорных описаний ЛА типа E-3C и E-2C в качестве основных были выбраны следующие возможные состояния: 1) поиск и сопровождение воздушных (надводных) целей; 2) оповещение о воздушной (надводной) обстановке; 3) наведение истребителей ПВО на воздушные (надводные) цели. Каждое из этих состояний характеризуется вектором сигнальных признаков, обусловленных работой на излучение БРЛС типа AN/APY-2 или AN/APS-145 соответственно. Особенностью применения БРЛС AN/APY-2 и AN/APS-145 является работа их на излучение в течение всего времени выполнения поставленной задачи. В связи с этим основной целью разработки типовых моделей функционирования этих РЛС является установление однозначной связи между параметрами излучения, режимами работы и задачами радиолокационной разведки, решаемыми в тот или иной момент времени.

БРЛС типа AN/APY-2 может работать в следующих режимах: 1) импульсно-доплеровский без сканирования луча в вертикальной плоскости (режим №1); 2) импульсно-доплеровский со сканированием луча по углу места для оценки высоты полета воздушных целей (режим №2); 3) надгоризонтный поиск (с отсечкой сигналов ниже линии горизонта) без доплеровской селекции

Таблица 4

Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов БРЛС типа AN/APS-145

Режимы	$\Delta f_{\text{рч}}$, ГГц	$\tau_{\text{имп}}$, мкс	$\Delta F_{\text{с}}$, МГц	$T_{\text{имп}}$, мкс	$\Delta f_{\text{пач}}$, МГц	$\tau_{\text{пач}}$, мс	$T_{\text{пач}}$, мс	$\tau_{\text{обл}}$, мс	$T_{\text{обл}}$, с
№1	0,41-0,46	18,5-19,5	1,2-1,4	4450-4650	3,0-5,0	225-235	11900-12100	225-235	11,9-12,1
№2	0,41-0,46	18,5-19,5	1,2-1,4	4450-4650	0	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5
№3	0,41-0,46	15,5-16,5	0,9-1,0	3300-4300	5,0-9,0	190-200	9900-10100	190-200	9,9-10,1
№4	0,41-0,46	14,5-16,5	0,9-1,1	3300-4300	0	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5
№5	0,41-0,46	12,0-14,0	0,7-1,0	3500-3700	7,0-9,0	225-235	11900-12100	225-235	11,9-12,1
№6	0,41-0,46	10,0-12,0	1,0-1,2	3500-3700	0	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5
№7	0,41-0,46	8,0-10,0	1,2-1,3	3300-4600	8,0-9,9	190-200	9900-10100	190-200	9,9-10,1
№8	0,41-0,46	7,0-8,0	1,4-1,5	3300-4600	8,0-9,9	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5

(режим №3); 4) обзор движущихся и неподвижных надводных целей короткими импульсами (режим №4); 5) совмещение (в любой комбинации) вышеуказанных режимов.

БРЛС типа AN/APS-145 работает в диапазоне частот (410-460) МГц на одной из 16 предварительно настроенных частот [35]. Длительность излучаемых импульсов $\tau_{\text{и}} = (12 \pm 5)$ мкс, частота повторения $F_{\text{и}} \sim 300$ Гц, (используются три значения частоты повторения излучаемых импульсов для устранения эффекта «слепых» скоростей в режиме селекции движущихся целей). Эта РЛС может работать в режимах: 1) обнаружение целей на фоне земной поверхности; 2) обнаружение целей на фоне морской поверхности; 3) обнаружение целей над горизонтом; 4) обнаружение целей над земной и морской поверхностями. Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов, излучаемых РЛС AN/APS-145 в указанных режимах, приведены в табл. 4.

Приведенные фрагменты каталога эталонных описаний классов (типов) и состояний ЛА не претендуют на полноту и новизну, но показывают принципиальную возможность решения задачи формирования классифицированной обучающей выборки на этапе разработки имитационно-математической модели проектируемой системы распознавания для средств РЭН. На основе изложенной методики для тестирования математической модели процесса распознавания радиоизлучающих ЛА, структурная схема и принцип действия которой описаны в [39], был разработан каталог эталонных описаний, содержащий более 100 векторов априорного описания 26-и типов БРЛС и 26-и типов ЛА на выбранном языке сигнальных признаков.

ВЫВОДЫ

Для эффективного решения задачи распознавания радиоизлучающих ЛА в состав средств РЭН должны входить базы данных (БД), содержащие эталонные описания классов (типов) распознаваемых объектов на языке сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучаемых ими сигналов. Эталонные описания распознаваемых классов (типов) и состояний ЛА формируются экспертно-аналитическим методом на основе априорных данных о типах, режимах работы и параметрах излучения БРЛС, входящих в состав радиоизлучающих воздушных объектов. Точность, полнота и достоверность этих данных во многом будут определять вид и структуру алгоритмов распознавания, рабочие алфавиты распознаваемых классов (типов) и состояний объектов, а также рабочие словари их сигнальных признаков.

Результатом решения задачи формирования каталога эталонных описаний ЛА является классифицированная обучающая выборка, представляющая собой таблицу типа «объект-свойство», строки которой помечены названиями классов ЛА, а столбцы - названиями признаков, при этом эталонные описания классов (типов) и состояний ЛА в строках данной таблицы должны быть представлены интервалами возможных значений параметров излучений бортовых РЛС, входящих в априорный словарь сигнальных признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гряник В. Н., Павликов С. Н., Убанкин Е. И. Средства радиоэлектронного наблюдения. Владивосток: ВГУЭС, 2006. 200 с.
2. Методы и средства идентификации источников радиоизлучения / Е. А. Башков, и др.; под ред. проф. А. А. Зори. Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010. 345 с.
3. Федотов А. А., Шпак В. Ф. Минимизация временных затрат на решение задачи классификации образов радиотехнических сигналов. Автоматизация процессов управления, 2013. № 1 (31). С. 17-20. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://apu.promars.com/images/pdf/31_3.pdf.
4. Алексеев А. А., Кириллов А. Б. Технический анализ сигналов и распознавание радиоизлучений. СПб.: Изд-во ВАС им. С. М. Буденного, 1998. 368 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1581717>.
5. Николаев И. М., Попонин Ю. А., Закиров С. В. Принципы построения, структура и содержание баз данных о радиоизлучающих объектах для многофункциональных комплексов РЭБ. Сб. научных тр. Харьковского ун-та Воздушных Сил, 2009. Вып. 1(19). С. 70-73.
6. Николаев И. М., Адаменко А. А., Закиров С. В., Асанов Э. Э. Статистический синтез алгоритма распознавания источников радиоизлучений по сигнальным признакам интервального типа. Радиотехника: Всеукраинский межведомственный технический сб. ХНУРЭ, 2001. Вып. 123. С. 122–124.
7. Гетманчук А. В. Высокопроизводительные метод и алгоритмы автоматической классификации объектов в условиях параметрической неопределенности и пересечения классов на основе методологии с системной максимизацией энтропии. Известия ЮФУ. Технические науки, 2016. С. 39-52.
8. Жукевич А. И., Олизарович Е. В., Родченко В. Г. Метод автоматического выполнения процедуры обучения при построении системы распознавания. Гродно: Вестн. Гродненского гос. ун-та имени Янки Купалы, 2011. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elib.grsu.by/katalog/161721-346625.pdf>.
9. Жукевич А. И., Олизарович Е. В., Родченко В. Г. Метод построения эталонов состояний компьютерной сети на основе применения алгоритмов теории распознавания образов. Минск: БГУ, 2007. С. 14 – 17 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/92467/1/Untitled3.pdf>.
10. Жукевич А. И., Родченко В. Г. Об одном методе построения формальных образов классов при реализации систем распознавания. Изв. Гомельского гос. ун-та имени Ф. Скорины. Гомель, 2010. №5 (62). С. 70-83.
11. Родченко В. Г. Об одном методе построения компактных эталонов классов при проектировании систем распознавания образов. Известия Гомельского гос.

- ун-та имени Ф. Скорины, Гомель, 2004. № 4 (25). С. 114-117.
12. Мельников Ю. П. Воздушная радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности. М.: Радиотехника, 2005. 304 с.
 13. Нечаев Е. Е., Дерябин К. С. Современные бортовые радиолокационные станции и антенные решетки многофункциональных авиационных комплексов военного назначения (по материалам открытой печати). Научный Вестн. МГТУ ГА. 2015. № 221. С. 90-105.
 14. Антипов В. Н., Меркулов В. И., Самарин О. Ф., Чернов В. С. Основные направления развития авиационных бортовых РЛС. Успехи современной радиоэлектроники, 2009. № 10. С. 7-28 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/390482>.
 15. Перумов Ю. М., Мацукевич В. В., Васильев А. А. Зарубежные радиоэлектронные средства / под ред. Ю. М. Перумова. В 4 кн. Кн. 1. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2010. 336 с.
 16. Дудник П. И., Ильчук А. Р., Татарский Б. Г. Многофункциональные радиолокационные системы. Уч. пособие для вузов / под ред. Б. Г. Татарского, М.: Дрофа, 2007. – 283 с.
 17. Верба В. С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. М.: Радиотехника, 2014. 526 с.
 18. Верба В. С. Обнаружение наземных объектов. Радиолокационные системы обнаружения и наведения воздушного базирования. М.: Радиотехника, 2007. 360 с.
 19. Ярлыков М. С., Богачев А. С., Меркулов В. И., Дрогалин В. В. Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 2. Применение авиационных радиоэлектронных комплексов при решении боевых и навигационных задач / под ред. М. С. Ярлыкова. М.: Радиотехника, 2012. 256 с.
 20. Антипов В. Н. и др. Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей / под ред. В. Н. Лепина. М.: Радиотехника, 2014. 296 с.
 21. Рябкин Ю. В. Установление информативных параметров типовых источников радиоизлучений для их идентификации. Сб. науч. тр. Донецкого нац. технического ун-та. Серия: “Вычислительная техника и автоматизация”. Вып. 88. Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 145-152 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16330/1/145-151.pdf>.
 22. Боков А. Радиоэлектронное оборудование бомбардировщика В-1В / Зарубежное военное обозрение №2 1989 С. 44-50 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://pentagonus.ru/publ/radioehlektronnoe_oborudovanie_bombardirovshhika_b_1b/18-1-0-1288.
 23. Бобков А. БРЭО тактического истребителя F-16. Зарубежное военное обозрение, 2007. № 12. С. 50-57 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/18-1-0-546>.
 24. Михов М. Прицельные РЛС самолётов тактической авиации стран НАТО. // Зарубежное военное обозрение, 1990. №8. С. 38-43 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/16-1-0-679>.
 25. Бобков А. Авиационные средства дальнего радиолокационного обнаружения и управления иностранных государств (Е-2С). Зарубежное военное обозрение, 2006. № 6. С. 43-46 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/17-1-0-338>.
 26. AWACS Surveillance Radar [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.northropgrumman.com/capabilities/awacsapy2/documents/awacs.pdf>.
 27. Кедров С. Большой небесный глаз. Самолет радиолокационного дозора США Hawkeye E-2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aviation-gb7.ru/E-2.htm>.
 28. E-2C Hawkeye. Авиационная энциклопедия «Уголок неба». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/spy/e2c.html>.
 29. Никольский М. С. В-1В [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aviation-gb7.ru/B-1.htm>.
 30. Дальний топливозаправщик KC-135 Stratotanker [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://worldweapon.ru/sam/kc135.php>.
 31. KC-135. Авиационная энциклопедия «Уголок неба» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/craft/kc135.html>.
 32. F-16E/F Block 60 Desert Falcon / Авиационная энциклопедия «Уголок неба» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/fighter/fl6df.html>.
 33. AN/APG-77 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AN/APG-77>.
 34. AN/APG-79 AESA Radar Active Electronically Scanned Array [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.raytheon.com/capabilities/products/apg79aesa>.
 35. AN/APS-145. Advanced Airborne Surveillance Radar [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://digilander.libero.it/humboldt/pdf/ANAPS-145.pdf>.
 36. AN/APQ-164(V) - Archived 10/97 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?
 37. РЛС AN/APQ-164 бомбардировщика В-1В [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.militaryparitet>.
 38. AN/APN-59 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/08.airborne/karte027.en.html>.
 39. Ніколаєв І. М. Математична модель комплексного розпізнавання повітряних радіовипромінюючих об'єктів за сукупністю параметрів сигналів бортових радіолокаційних станцій і засобів радіозв'язку в системах радіоелектронного спостереження. Озброєння та військова техніка, Київ: ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2017. №4 (16). С. 39-45.

REFERENCES

- Gryanik, V. N., Pavlikov, S. N. and Ubankin, E. I. (2006), "Sredstva radioelektronnogo nablyudeniya" [Means of radio-electronic surveillance], VSUES, Vladivostok, 200 p.
- Bashkov, E. A., Vorontsov, A. G., Grishko, N. M, i dr.; pod red. prof. Zori, A.A. (2010), "Metody i sredstva identifikatsii istochnikov radioizlucheniya" [Methods and means of identification of radio emission sources], GVUZ «DonNTU», Donetsk, 345 p.
- Fedotov, A. A. and Shpak, V. F. (2013), "Minimizatsiya vremennykh zatrat na resheniye zadachi klassifikatsii obrazov radiotekhnicheskikh signalov" [Minimizing the time spent on solving the problem of the classification of radio signal patterns], *Automation of management processes*, No 1 (31), pp. 17-20, available at: http://apu.npomars.com/images/pdf/31_3.pdf.
- Alekseyev, A. A. and Kirillov, A. B. (1998), "Tekhnicheskiiy analiz signalov i raspoznavaniye radioizlucheniya" [Technical analysis of signals and recognition of radio emissions], ed. YOU them S.M. Budyonny, SPb, 368 p., available at: <https://www.twirpx.com/file/1581717>.
- Nikolaev, I. M., Poponin, Y. A. and Zakirov, S. V. (2009), "Printsipy postroyeniya, struktura i sodержaniye baz dannykh o radioizluchayushchikh ob'yektakh dlya mnogofunktsional'nykh kompleksov REB" [The principles of construction, structure and content of databases on radio-emitting objects for multifunctional EW complexes], *Zbirnik naukovikh prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil*, vol. 1(19), pp. 70-73.
- Nikolaev, I. M., Adamenko, A. A., Zakirov, S. V. and Asanov E. E. (2001), "Statisticheskiiy sintez algoritma raspoznavaniya istochnikov radioizlucheniya po signal'nyy priznakam interval'nogo tipa" [Statistical synthesis of the algorithm for recognizing radio emission sources according to signal signs of an interval type], "Radio Engineering": All-Ukrainian Interdepartmental Technical Coll., KNURE, vol. 123, pp. 122-124.
- Getmanchuk, A. V. "Vysokoproizvoditel'nyye metod i algoritmy avtomaticheskoy klassifikatsii ob'yektov v usloviyakh parametricheskoy neopredelennosti i pere-secheniya klassov na osnove metodologii s sistemnoy maksimizatsiyey entropii" [High-performance method and algorithms for the automatic classification of objects under conditions of parametric uncertainty and the intersection of classes based on methodology with systemic maximization of entropy], *Izvestiya SFU. Technical science*, pp. 39-52.
- Zhukevich, A. I., Olizarovich, E. V. and Rodchenko, V. G. (2011), "Metod avtomaticheskogo vypolneniya protsedury obucheniya pri postroyenii sistemy raspoznavaniya" [Method of automatic execution of the training procedure when building a recognition system], *Vestn. of the Yanka Kupala State Univ. of Grodno*, available at: <https://elib.grsu.by/katalog/161721-346625.pdf>.
- Zhukevich, A. I., Olizarovich, E. V. and Rodchenko, V. G. (2007), "Metod postroyeniya etalonov sostoyaniy komp'yuternoy seti na osnove primeneniya algoritmov teorii raspoznavaniya obrazov" [A method for constructing computer network state standards based on the use of pattern recognition theory algorithms], *Minsk: BSU, 2007. Pp. 14-17*, available at: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/92467/1/Untitled3.pdf>.
- Zhukevich, A. I. and Rodchenko, V. G. (2010), "Ob odnom metode postroyeni formal'nykh obrazov klassov pri realizatsii sistem raspoznavaniya" [On One Method for Constructing Formal Images of Classes When Implementing Recognition Systems], *Proc. of F. Skaryna Gomel State Univ.*, No (62), pp. 70-83.
- Rodchenko, V. G. (2004), "Ob odnom metode postroyeniya kompaktnykh etalonov klassov pri proyektirovanii sistem raspoznavaniya obrazov" [On one method of constructing compact class standards when designing image recognition systems], *News of Gomel State Univ. named after F. Skaryna*, No 4 (25), pp. 114-117.
- Mel'nikov, Y. P. (2005), "Vozdushnaya radiotekhnicheskaya razvedka. Metody otsenki effektivnosti" [Airborne Radiotechnical Intelligence. Methods for evaluating the effectiveness], *Radio Engineering*, 304 p.
- Nechayev, E. E. and Deryabin, K. S. (2015), "Sovremennyye bortovyye radiolokatsionnyye stantsii i anteny reshetki mnogofunktsional'nykh aviatsionnykh kompleksov voyennogo naznacheniya (po materialam otkrytoy pechati)" [Modern airborne radiolocation stations and antenna arrays of multifunctional aviation complexes for military purposes (based on open press materials)], *Scientific Her. of MGTU GA*, No 221, pp. 90-105.
- Antipov, V. N., Merkulov, V. I., Samarin, O. F. and Chernov, V. S. (2009), "Osnovnyye napravleniya razvitiya aviatsionnykh bortovykh RLS" [The main directions of development of airborne radar], *Successes of modern radio electronics*, No 10, pp. 7-28, available at: <https://www.twirpx.com/file/390482>.
- Perumov, Yu. M., Matsukevich, V. V., Vasil'yev A. A., pod red. Perumova, Yu. M. (2010), "Zarubezhnyye radioelektronnyye sredstva", kn. 1. "Radiolokatsionnyye sistemy" [Foreign Radioelectronic Means, B. 1. Radar systems], *Radio Engineering*, M., 336 p.
- Dudnik, P. I., Il'chuk, A. R. and Tatarskiy, B. G. "Mnogofunktsional'nyye radiolokatsionnyye sistemy" [Multifunctional radar systems, manual for univ.], Drofa, M. 283 p.
- Verba, V. S. (2014), "Aviatsionnyye komplekсы radiolokatsionnogo dozora i navedeniya. Printsipy postroyeniya, problemy razrabotki i osobennosti funktsionirovaniya" [Aviation complexes of radar patrol and guidance. Principles of construction, problems of development and features of functioning], *Radio Engineering*, M. 526 p.
- Verba, V. S. (2007), "Obnaruzheniye nazemnykh ob'yektov. Radiolokatsionnyye sistemy obnaruzheniya i navedeniya vozdushnogo bazirovaniya" [Detection of ground objects. Airborne detection and guidance radar systems], *Radio Engineering*, M. 360 p.
- Yarlykov, M. S., Bogachev, A. S., Merkulov, V. I. and Drogalin, V. V. (2012), "Radioelektronnyye komplekсы navigatsii, pritselivaniya i upravleniya vooruzheniyem letatel'nykh apparatov". T. 2. "Primeneniye aviatsionnykh radioelektronnnykh kompleksov pri reshenii boyevykh i navigatsionnykh zadach" [Radio-electronic

- systems of navigation, aiming and controlling the armament of aircraft. V. 2. Use of aviation radio-electronic complexes in solving combat and navigation tasks], *Radio Engineering*, M. 256 p.
20. Antipov, V. N., Koltyshev, E. E., Kondratenkov, G. S. and Lepin, V. N. (2014), "Mnohofunktsional'nye radyolokatsionnye komplekсы ystrebyteley" [Multifunctional radar complexes of fighter], *Radio Engineering*, M. 296 p.
 21. Ryabkyn, Yu. V. (2005), "Ustanovlenye ynfarmatyvnykh parametrov tipovykh ystochnykov radyoyzlucheniya dlya ykh ydentyfikatsyy" [Determination of informational parameters of typical sources of radio emission for their identification], *Scientific proc. of Donetsk Nat. Techn. Univ. Series: "Computing and Automation"*. Vol. 88, DonNTU, Donetsk, pp. 145-152, available at: <http://ea.donntu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16330/1/145-151.pdf>.
 22. Bobkov, A. (1989), "Radioelektronnaye oborudovaniye bombardirovshchika B-1B" [Radio-electronic equipment of a B-1B bomber], *Foreign Military Review*, No 2, pp. 44-50, available at: http://pentagonus.ru/publ/radioelektronnaye_oborudovaniye_bombardirovshchika_b_1b/18-1-0-1288.
 23. Bobkov, A. (2007), "BREO takticheskogo istrebitelya F-16" [F-16 tactical fighter air-borne units], *Foreign military review*, No 12, pp. 50-57, available at: <http://pentagonus.ru/publ/18-1-0-546>.
 24. Mihov, M. (1990), "Pritsel'nyye RLS samolotov takticheskoy aviatsii stran NATO" [Sighting radar tactical aircraft of NATO countries], *Foreign Military Review*, No 8, pp. 38-43, available at: <http://pentagonus.ru/publ/16-1-0-679>.
 25. Bobkov, A. (2006), "Aviatsionnyye sredstva dal'nego radiolokatsionnogo obnaruzheniya i upravleniya inostrannykh gosudarstv (E-2C)" [Aviation means of long-range radar detection and control of foreign states (E-2C)], *Foreign military review*, No 6, pp. 43-46, available at: <http://pentagonus.ru/publ/17-1-0-338>.
 26. AWACS Surveillance Radar, available at: <http://www.northropgrumman.com/capabilities/awacsapy2/documents/awacs.pdf>.
 27. Kedrov, S. "Bol'shoy nebesnyy glaz. Samolet radiolokatsionnogo dozora SSHA Hawkeye E-2" [Big heavenly USA Hawkeye E-2 radar patrol aircraft], available at: <http://www.aviation-gb7.ru/E-2.htm>.
 28. «E-2C Hawkeye. Aviatsionnaya entsiklopediya «Ugolok neba» [E-2C Hawkeye. Aviation Encyclopedia «Sky Corner»], available at: <http://www.airwar.ru/enc/spy/e2c.html>.
 29. Nikolsky, M. S. B-1B, available at: <http://www.aviation-gb7.ru/B-1.htm>.
 30. «Dal'niy toplivozapravshchik KC-135 Stratotanker» [Far tanker KC-135 Stratotanker], available at: <http://worldweapon.ru/sam/kc135.php>.
 31. «KC-135. Aviatsionnaya entsiklopediya «Ugolok neba» [KC-135. Aviation Encyclopedia «Corner of the Sky»], available at: <http://www.airwar.ru/enc/craft/kc135.html>.
 32. «F-16E/F Block 60 Desert Falcon. Aviatsionnaya entsiklopediya «Ugolok neba» [F-16E / F Block 60 Desert Falcon. Aviation Encyclopedia «Corner of the Sky»], available at: <http://www.airwar.ru/enc/fighter/fl6df.html>.
 33. AN/APG-77, available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AN/APG-77>.
 34. AN/APG-79. AESA Radar Active Electronically Scanned Array, available at: <https://www.raytheon.com/capabilities/products/apg79aesa>.
 35. AN/APS-145. Advanced Airborne Surveillance Radar, available at: <http://digilander.libero.it/humboldt/pdf/ANAPS-145.pdf>.
 36. AN/APQ-164(V), Archived 10/97, available at: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm.
 37. Radar AN/APQ-164 bomber B-1B, available at: <http://www.militaryparitet>.
 38. AN/APN-59, available at: <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/08.airborne/karte027.en.html>.
 39. Nikolaev, I. M. (2017), "Matematichna model' kompleksnogo rozpoznavannya povitryanykh radiovyprymyuyuchykh ob'yektiv za sukupnistyu parametriv syhnaliv bortovykh radiolokatsiynykh stantsiy i zasobiv radiozv'yazku v systemakh radioelektronnogo sposterezhennya" [Mathematical model of complex recognition of airborne radio-radiation objects in a set of signal parameters of on-board radar stations and radio communication equipment in systems of radio-electronic observation], *Weapons and military equipment*, No 4(16), pp. 39-45.

Відомості про автора:

Николаев Иван Михайлович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник научного центра Воздушных Сил Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, г. Харьков, Украина
<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>
 e-mail: nikolaev49@ukr.net

Information about the author:

Ivan Nikolaev

Candidate of Sciences, Senior Research Associate worker of scientific center of Aircrafts Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>
 e-mail: nikolaev49@ukr.net

Статья поступила в редколлегию 11.06.2019 г.

Рецензент Г. С. Залевський д-р техн. наук

(Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Київ)

Рецензент О. О. Расстригин д-р техн. наук, про-

фессор (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>