

DOI: 10.17725/rensit.2021.13.227

Анализ современного состояния и перспектив развития радиолокационных систем для управляемых средств поражения воздушных объектов

¹Ильчук А.Р., ²Меркулов В.И., ¹Панас А.И., ²Чернов В.С., ¹Щербаков С.В.

¹НПП «Исток» им. Шокина, <https://istokmw.ru/>

Фрязино, Московская область 141190, Российская Федерация

²Концерн «Вега», <https://www.vega.su/>

Москва 121170, Российская Федерация

E-mail: arilchuk@istokmw.ru, from_fn@mail.ru, aipanas@istokmw.ru, chernova.45@list.ru, sherbakov@istokmw.ru

Поступила 27.05.2021, рецензирована 04.06.2021, принята 11.06.2021

Аннотация: Эффективность поражения воздушных объектов (ВО) в существенной степени зависит от степени совершенства радиолокационных устройств, которые получили название радиолокационных головок самонаведения (РГС) управляемых средств поражения (УСП). В процессе развития УСП ВО было создано несколько поколений РГС: полуактивные РГС с импульсным или непрерывным сигналом подсвета цели, РГС, обеспечивающие комбинированное наведение, РГС, обеспечивающие реализацию инерциального наведения с радиокоррекцией от системы управления вооружением носителя УСП, активного наведения, комбинацию полуактивного и активного режимов, комбинированного наведения, при котором последовательно реализуются инерциальное наведение с радиокоррекцией, пассивное и активное самонаведение. В настоящее время существует потребность в аналитическом обобщении сведений об РГС, опубликованных в различных открытых научно-технических источниках информации. В процессе анализа установлено, что основными направлениями совершенствования РГС являются: разработка новых, более гибких нестационарных методов самонаведения и их информационного обеспечения, обеспечивающих возможность перехвата новых типов ВО в сложных сигнально-помеховых многоцелевых ситуациях. Это предопределяет необходимость достижения высокого уровня защиты РГС от естественных и преднамеренных помех, использование траекторного управления наблюдением при наведении на радиоизлучающие и групповые объекты, улучшения ситуационной осведомленности, интеллектуализации и цифровизации РГС, совершенствование антенных систем РГС.

Ключевые слова: радиолокационные головки самонаведения, управляемые средства поражения, воздушный объект, система наведения

УДК 621.396.96

Для цитирования: Ильчук А.Р., Меркулов В.И., Панас А.И., Чернов В.С., Щербаков С.В. Анализ современного состояния и перспектив развития радиолокационных систем для управляемых средств поражения воздушных объектов. РЭНСИТ, 2021, 13(3):227-244. DOI: 10.17725/rensit.2021.13.227.

Analysis of the current state and development prospects of radar system for guided weapons of air objects destruction

Anatoliy R. Ilchuk, Andrey I. Panas, Sergey V. Shcherbakov

RPC "Istok" named after Shokin", <https://istokmw.ru/>

Fryazino 141190, Moscow region, Russian Federation

E-mail: arilchuk@istokmw.ru, aipanas@istokmw.ru, sherbakov@istokmw.ru

Vladimir I. Merkulov, Vladimir S. Chernov

Vega Concern, <https://www.vega.su/>

Moscow 121170, Russian Federation

E-mail: from_fn@mail.ru, chernova.45@list.ru

Received May 27, 2021, peer-reviewed June 04, 2021, accepted June 11, 2021

Abstract: The effectiveness of destruction of air objects (AO) largely depends on the excellence of radar devices, which are called radar homing heads (RHH) of the guided weapons systems (GWS). In the process of GWS AO development, several generations of RHHs were created: semi-active RHHs with a pulsed or continuous target illumination signal; RHHs providing combined guidance; RHHs, providing realization of inertial guidance with radio correction from the weapon control system of the GWS carrier, active guidance, a combination of semi-active and active modes, combined guidance, in which inertial guidance with radio correction, passive and active homing are consistently implemented. Currently, there is a need for an analytical generalization of information about the GHHs, published in various open scientific and technical sources of information. In the course of the analysis, it was found that the main directions for improving the RHHs are: the development of new, more flexible non-stationary homing methods and their information support, which provide the ability to intercept new types of AO in complex signal-jamming multipurpose situations. This predetermines the need to achieve a high level of RHHs protection from natural and intentional interference, the use of trajectory control of observation when aiming at radio-emitting and group objects, improvement of situational awareness, RHHs intellectualization and digitalization, improvement of RHH antenna systems.

Keywords: radar homing heads, guided weapons, air object, guidance system

UDC 621.396.96

For citation: Anatoliy R. Ilchuk, Vladimir I. Merkulov, Andrey I. Panas, Vladimir S. Chernov, Sergey V. Shcherbakov. Analysis of the current state and development prospects of radar system for guided weapons of air objects destruction. *RENSIT*, 2021, 13(3):227-244. DOI: 10.17725/rensit.2021.13.227.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ (229)

2. АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТКИ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РГС ИЗ СОСТАВА УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ (229)

2.1. АНАЛИЗ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ, ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК СУЩЕСТВУЮЩИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ГОЛОВОК САМОНАВЕДЕНИЯ (229)

2.2. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РГС ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ (233)

2.3. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РГС ПРИ ВЕДЕНИИ ГРУППОВЫХ ДЕЙСТВИЙ И В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ (235)

2.4 ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РГС ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА ПАССИВНОГО НАВЕДЕНИЯ НА РАДИОИЗЛУЧАЮЩИЙ ВОЗДУШНЫЙ ОБЪЕКТ (229)

3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РГС ИЗ СОСТАВА УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ (238)

3.1. РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (239)

3.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МНОГОДИАПАЗОННОСТИ (239)

3.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЕМ (240)

3.4. СОВМЕСТНОЕ НАВЕДЕНИЕ УСП НА ГРУППОВОЙ ВОЗДУШНЫЙ ОБЪЕКТ (240)

3.5. ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ РГС (240)

3.6. УСИЛЕНИЕ РОЛИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ (241)

3.7. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНТЕННЫХ СИСТЕМ (241)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (242)

ЛИТЕРАТУРА (242)

1. ВВЕДЕНИЕ

Радиолокационные головки самонаведения (РГС), являющиеся одним из видов информационно-управляющих систем поражения (УСП) воздушных объектов (ВО), обеспечивают реализацию метода самонаведения и его информационное обеспечение. От качества функционирования РГС во многом зависят все показатели совершенства (эффективность, живучесть, динамичность) комплекса поражения воздушных объектов.

В процессе развития УСП ВО было создано несколько поколений РГС. На начальном этапе были разработаны полуактивные РГС с импульсным или непрерывным сигналом подсвета цели. В полуактивных импульсных РГС облучение ВО осуществлялось бортовой радиолокационной системой (РАС) носителя УСП, а в РГС формировались сигналы наведения УСП на основе информации, получаемой в результате приема отраженных от ВО радиосигналов.

Для повышения дальности пуска УСП были разработаны УСП с различными методами наведения на разных участках траектории полета: на начальном этапе использовалось инерциально-корректируемое наведение, а затем пропорциональное самонаведение по сигналам полуактивной РГС с захватом ВО на траектории.

В дальнейшем усилия разработчиков были направлены на создание УСП ВО с активными РГС. В активных РГС облучение и подсвет цели осуществлялось передающим устройством, которое входило в состав РГС. Это позволяет рассматривать ее как бортовую РАС специального назначения.

Дальность действия таких РГС меньше, чем у полуактивных, поэтому на первом этапе наведения УСП использовался инерциальный режим с радиокоррекцией, а на втором этапе - активное самонаведение. В этом случае принцип «пустил-забыл» выполнялся, но лишь на последнем этапе наведения УСП. Активные РГС позволяли одновременно наводить несколько УСП, запущенных с одного носителя, на различные воздушные объекты.

Для повышения дальности пуска были разработаны также РГС, в которых

предусматривались три режима их функционирования, реализуемых последовательно: инерциальное наведение с радиокоррекцией, полуактивное самонаведение и активное самонаведение. Известны также РГС, в которых отсутствует режим инерциального наведения с радиокоррекцией, а последовательно реализуются полуактивное самонаведение и активное самонаведение. Для наведения УСП на радиоизлучающие объекты были разработаны пассивные РГС.

В дальнейшем появились РГС, с помощью которых последовательно осуществляется инерциальное наведение с радиокоррекцией, пассивное самонаведение и активное самонаведение. Такие РГС обеспечивают возможность поражения радиоизлучающих объектов на больших расстояниях

В настоящее время существует потребность в аналитическом обобщении сведений об РГС, опубликованных в различных открытых научно-технических источниках информации, что позволит получить общее представление о современном состоянии и перспективах развития РГС УСП воздушных объектов.

Цель статьи - анализ этапов создания, современного состояния, перспектив и тенденций развития РГС из состава управляемых средств поражения воздушных объектов.

2. АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТКИ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РГС ИЗ СОСТАВА УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

2.1. Анализ этапов развития, особенностей построения и характеристик существующих радиолокационных головок самонаведения

Рассмотрим особенности построения и характеристики РГС, устанавливаемых на разных УСП ВО, с учетом хронологии их разработки, создания и практического применения, как это в кратком виде обозначено во введении.

Отметим, что в общем случае совершенство РГС, используемых в УСП ВО, характеризуется следующими показателями:

- перечнем поражаемых объектов (самолеты, вертолеты, ракеты и т.д.) с указанием их особенностей (маневрирующие, неманеврирующие, высокоскоростные, малоскоростные и т.д.);

- рабочей зоной, определяемой диапазоном дальностей ($D_{\text{pmax}}, \dots, D_{\text{pmin}}$), скоростей ($V_{\text{max}}, \dots, V_{\text{min}}$), высот ($H_{\text{max}}, \dots, H_{\text{min}}$), ракурсов перехвата, в которых УСП реализует свое назначение;
- используемым методом самонаведения (стационарный, нестационарный, с упреждением, с перенацеливанием и т.д.);
- типом информационной подсистемы и режимами ее работы (импульсный, непрерывный, когерентный, некогерентный, активный, пассивный, полуактивный и т.д.);
- возможностью реализации принципа «пустил-забыл»;
- промахами с вероятностью поражения цели.

В начале 60-х годов прошлого века получили развитие УСП ВО с полуактивными импульсными РГС Р 8М (1962 г.), Р 4, Р 98 (1965 г.), Р 3Р (1966 г.). В РГС этих УСП ВО для реализации процедуры сопровождения целей использовалось коническое сканирование антенны, в РГС УСП Р 40 (1970 г.) (Рис. 1) использовался моноимпульсный метод пеленгации цели.

Недостатком полуактивных импульсных РГС была невозможность автосопровождения ВО, летящего на малой высоте, поскольку одновременно с импульсными сигналами от ВО принимались помеховые сигналы, формирующиеся в результате отражений от земной поверхности радиосигналов, излучаемых бортовой РЛС носителя УСП.

Первое отечественное УСП, способное поражать ВО на фоне отражений от земли, было создано в 1973 г. (Р-23Р). Дальность пуска

УСП составляла 35 км, скорость полета 3М. Захват ВО в полуактивной доплеровской РГС производился в полете. Перед пуском в РГС вводилось целеуказание от БРЛС, оснащенной каналом непрерывного сигнала подсвета ВО, используемого для функционирования полуактивной РГС после пуска УСП. Через 3 секунды после пуска РГС начинала поиск сигнала, отраженного от ВО и его захват. В РГС применялся фазовый моноимпульсный метод пеленгации, что обеспечивало более высокую помехозащищенность по сравнению с амплитудным моноимпульсным методом пеленгации ВО. Отметим, что УСП с полуактивными РГС применялись, в основном, по неманеврирующим ВО, при этом дальность действия подобных РГС была сравнительно малой.

В последующем для повышения дальности пуска УСП на начальном участке полета был введен режим инерциального наведения, при реализации которого применялось так называемое псевдокинематическое звено, использующее текущие параметры движения УСП и параметры движения ВО, поступившие в РГС на момент пуска УСП. Псевдокинематическое звено обеспечивало формирование прогнозируемых значений параметров относительного движения УСП и ВО на основе известных кинематических уравнений. В результате дальность пуска УСП возросла на 30%.

Отличительной особенностью УСП Р 27Р и Р 27Э (1984-1985 г.г.) является комбинированный метод наведения, когда применяются различные методы наведения на разных участках траектории полета: инерциально-корректируемое наведение и пропорциональное самонаведение по сигналам полуактивной РГС с захватом ВО на траектории. Введение инерциального управления с коррекцией от БРЛС носителя УСП позволило существенно увеличить дальность пуска УСП. Эти УСП обеспечивает эффективное поражение ВО под любым ракурсом. Подробное описание принципов построения РГС УСП (рис. 2) Р 27Р приведено в [11].

Следует отметить, что работы по созданию УСП ВО с РГС активно велись и за рубежом, прежде всего в США. Начиная с 1975 года была



Рис. 1. Радиолокационная головка самонаведения управляемых средств поражения Р-40.



Рис. 2. Радиолокационная головка самонаведения управляемых средств поражения Р-27Р.

выполнена разработка целого семейства УСП «Спарроу».

Первая версия – это УСП «Спарроу» AIM 7C с полуактивной импульсной РГС, которая имела дальность действия 12 км. Следующая версия - УСП «Спарроу» AIM 7D, в РГС которой использовался непрерывный сигнал подсвета. РГС УСП AIM 7F работала как с непрерывным сигналом подсвета ВО, так и с сигналом импульсно-доплеровской БРАС носителя, что позволило применять УСП с носителей, оснащенных различными БРАС. УСП «Спарроу» AIM 7F являлось основным средством поражения ВО до появления в начале 90-х годов прошлого века нового УСП AIM 120 с активной РГС. В 1987 г. появилась версия УСП «Спарроу» AIM 7P, имеющее линию связи с самолетом-носителем. Недостатком полуактивных РГС являлась невозможность поражения ВО по принципу «пустил-забыл», так как подсвет ВО необходимо было осуществлять до момента поражения ВО либо промаха УСП.

Исходя из этого начались разработки УСП с активными РГС.

За рубежом в 1973 году разработана УСП Феникс AIM 54A. Система наведения указанного УСП комбинированная и состоит из полуактивной радиолокационной импульсно-доплеровской системы, работающей по сигналам БРАС носителя УСП на начальном и среднем участках траекторий, и активной импульсно-доплеровской РГС, включающейся на удалении УСП от ВО около 16 км. С носителя УСП возможно осуществлять одновременное наведение 6 УСП по 6 ВО. При дальнейшем модернизации AIM-54C стало полностью

автономным. Большую часть времени УСП летит в упрежденную точку, а в конце этапа полета наводится с помощью активной РГС (АРГС). Такой подход наиболее эффективен при наведении на прямолинейно летящие ВО.

Отечественное УСП РВВ-АЕ (1994 г.) с активной РГС (**рис. 3**) обеспечивает поражение самолетов, вертолетов и крылатых ракет, а также УСП воздушных и наземных объектов. В состав РГС входят моноимпульсный пеленгатор и бортовая вычислительная система. Для повышения помехозащищенности и обеспечения высокой точности наведения в РГС реализована пространственно-временная обработка сигнала, калмановская фильтрация, непрерывное решение кинематических уравнений с возможностью поддержания процесса наведения при временных срывах. На УСП установлена бесплатформенная инерциальная система. Для управления используется модифицированный метод пропорционального наведения. В условиях организованных помех, при которых БРАС носителя не может обеспечить РГС сведениями о дальности и скорости сближения с ВО, наведение происходит по специальной траектории.

В дальнейшем разрабатывались УСП с комбинированными и пассивными методами наведения.

УСП Р 27П средней дальности с пассивной РГС предназначено для поражения радиоизлучающих воздушных объектов, в том числе ставящих помехи для прикрытия своих объектов. При этом реализуется принцип «пустил-забыл». Дальность применения составляет 70 км, минимальная высота поражаемого воздушного объекта равна 20 м.

УСП AIM 120A (США, 1991 г.)



Рис. 3. Радиолокационная головка самонаведения управляемых средств поражения РВВ-АЕ.

имеет дальность применения - 180 км и 3 режима наведения: инерциально-корректируемый, автономный инерциальный и активный радиолокационный. Данное УСП реализует принцип «пустил-забыл» в случае последовательного использования автономного режима и активного режима. Для поражения ВО может применяться несколько УСП одновременно. Система управления с активным радиолокационным наведением и достаточно протяженным инерциальным участком с радиокоррекцией позволяет существенно повысить эффективность поражения ВО. В то же время особенностью реализации комбинированного метода наведения является зависимость эффективности боевого применения УСП от качества функционирования канала радиокоррекции. При подавлении помехами БРАС носителя после пуска УСП информация о координатах и параметрах движения ВО по каналу радиокоррекции не поступает. В этом случае система наведения УСП может осуществлять вначале инерциальное наведение без радиокоррекции, а затем самонаведение с использованием активного режима работы РГС. При большой разнице между прогнозируемыми на борту УСП координатами и параметрами движения ВО и их реальными значениями к началу активного самонаведения гарантировать возможность успешного перехвата ВО не представляется возможным.

УСП Р 37М (РФ) предназначено для поражения ВО на расстоянии до 300 км. Система наведения УСП – инерциальное наведение с радиокоррекцией и активное радиолокационное самонаведение на конечном участке полета УСП. В состав РГС входит цифровой сигнальный процессор с большим объемом памяти и повышенным быстродействием [14].

Моноимпульсная доплеровская активная РГС 9Б 1103М обеспечивает поражение ВО типа самолетов, вертолетов (в том числе зависших), крылатых и противорадиолокационных ракет. Режимы работы: полностью автономный по предварительному целеуказанию с носителя, но без радиолокационной поддержки в полете; режим инерциального наведения с

радиокоррекцией с последующим переходом на активное самонаведение.

АРГС измеряет угловые координаты ВО и угловые скорости вращения линии визирования, а также скорость сближения с ВО и обеспечивает:

- прием, захват и сопровождение ВО;
- прием и дешифрацию (декодирование) сигналов радиокоррекции;
- формирование сигналов управления УСП и передачу их в систему управления УСП по цифровой линии связи.

Состав РГС составляют: управляемый координатор с антенной, передающий канал, приемный канал, перепрограммируемая бортовая вычислительная система. Дальность захвата ВО с эффективной поверхностью отражения (ЭПО) 5 м² не менее 20 км. Дальность действия канала радиокоррекции -до 50 км.

РГС 9Б 1103М 150 («Колибри») обеспечивает захват ВО с ЭПО 5 м², движущихся со скоростями 0.1-5 М, на минимальной высоте – 30 м на дальности не менее 13 км. Диапазон работы РГС Ku (10.7-12.75 ГГц, 1.67-2.5 см). АРГС практически полностью цифровая, переход на цифровую обработку (оцифровка сигнала) осуществляется на первой промежуточной частоте. Антенна имеет диаметр 150 мм.

Активно-полуактивная РГС 9Б 1103М 200ПА предназначена для информационного обеспечения решения задачи поражения самолетов, вертолетов (в том числе зависших), крылатых и противорадиолокационных ракет. Антенна данной РГС комбинированная: в активном режиме РГС работает в Ku диапазоне, используя волноводно-щелевую антенну, в полуактивном режиме используется решетка из 12-16 диполей, установленных на передней части поверхности антенны, и предназначенная для обеспечения функционирования РГС в полуактивном режиме на более низких частотах. РГС обеспечивает дальность захвата ВО с ЭПО 3 м²: в инерциально-полуактивном режиме – 80-100 км, в активном режиме – 20 км. Диапазон работы в активном режиме – Ku.

Активно-пассивная РГС 9Б 1103М 200ПС (рис. 4) обеспечивает поражение самолетов, вертолетов, крылатых и противорадиолокационных ракет. Пассивный режим позволяет наводить УСП на источник



Рис. 4. Радиолокационная головка самонаведения 9Б1103М 200ПС.

помех и радиоизлучающую БРАС ВО. Дальность захвата ВО с ЭПО 3 м² в инерциально-пассивном режиме – 200 км, в активном режиме – 15 км. Диапазон работы в активном режиме – Ку.

2.2. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РГС ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ

Оценка характеристик известных РГС УСП ВО показывает, что принципы построения РГС во многом определяются характеристиками перехватываемых ВО и условиями их применения.

Указанная особенность предопределяет необходимость решения двух задач: формирование закона (метода) самонаведения и алгоритмов его информационного обеспечения. При этом под методом самонаведения УСП обычно понимается закон формирования требуемой траектории, полет по которой позволит ей поразить цель.

В общем случае метод наведения (МН) должен обеспечивать: минимум времени наведения; максимальную дальность пуска; минимальные мгновенные перегрузки; минимальный расход энергии управляющих сигналов; практическую реализуемость и инвариантность системы радиоуправления к условиям применения.

Для выполнения первых четырех требований траектория наведения должна быть как можно более прямолинейной. Практическая

реализуемость подразумевает возможность формирования оценок всех необходимых координат относительного и абсолютного движения цели и УСП при существующих датчиках информации (измерителях), реальных объемах памяти, быстродействии и разрядности бортовых вычислителей и реальных расходах энергии на управление. Инвариантность предусматривает наведение во всем диапазоне дальностей, скоростей и высот независимо от наличия и скорости ветра и направления (ракурса) перехвата.

Для характеристики метода самонаведения обычно используют:

- вид реализуемых траекторий (с упреждением, без упреждения, ограничения по ракурсам перехвата и т.д.);
- набор (состав) координат относительного и абсолютного движения цели и УСП, подлежащих измерению (оцениванию), и требований к их точности;
- ограничения по допустимым поперечным перегрузкам УСП.

Если в процессе перехвата коэффициенты передачи ошибок управления не изменяются, то метод считается стационарным, если изменяются, то – нестационарным.

При траекторном управлении существующими УСП ВО, как правило, используется метод пропорционального наведения, либо его модификации. Для их реализации необходимо знание угловой скорости линии визирования и скорости сближения с ВО, оценивание которых обеспечивается соответствующими измерителями и системами сопровождения. Эффективность их функционирования в существенной степени зависит от вида применяемой РГС (активной, полуактивной и пассивной), а также от типа ВО и динамики сближения УСП с ВО. Измерение скорости сближения с ВО в полуактивных РГС связано с определенными трудностями, так как источник радиоизлучения находится на носителе УСП, в то время как прием отраженных сигналов от ВО производится на УСП. В пассивных угломерных РГС непосредственное измерение скорости сближения с ВО является невозможным.

Необходимо отметить, что современные РГС имеют существенные недостатки, обусловленные несовершенством методов самонаведения и алгоритмов автосопровождения ВО, что может привести к снижению эффективности поражения ВО, а также к срыву процесса наведения УСП, особенно в ситуации перехвата новых типов высокоманевренных и высокоскоростных ВО. Как показал анализ, известные методы самонаведения:

- не обеспечивают перехвата ВО, движущихся со сменой знаков производных углов и дальностей;
- не обеспечивают перехвата приоритетных ВО в условиях их охраны (низкая живучесть);
- не обеспечивают перехвата ВО в составе плотной группы;
- не обеспечивают перераспределения управленческих функций в процессе наведения (вначале угловые ошибки, потом линейные промахи, вначале разрешение по углам, потом наведение и т.д.);
- не обеспечивают перенацеливание на траектории.

В свою очередь, информационные подсистемы имеют следующие недостатки:

- ограничения по углам упреждения, определяемые сектором углов антенны;
- необходимость стабилизации поперечных осей УСП в пространстве при полуактивном наведении;
- низкий порядок астатизма следящих систем, предопределяющий срыв сопровождения интенсивно маневрирующих ВО;
- не обеспечивают перехват под ракурсом $4/4$ при использовании доплеровских РГС;
- большие мертвые зоны из-за угловых шумов;
- ошибки обтекателей, приводящие к появлению значительных синхронных ошибок по угловой скорости и требующие формирования сугубо индивидуальных матриц ошибок пеленгации;
- влияние «антипода» при перехвате низколетящих целей на фоне земли;
- срывы сопровождения из-за узких линейных участков дискриминационных характеристик следящих измерителей.

Таким образом, в связи с появлением новых типов ВО и изменением условий применения УСП существенно усложнилось решение задачи перехвата, что требует дальнейшего совершенствования методов наведения УСП и сопровождения ВО.

Следует отметить, что РГС обеспечивает формирование сигналов управления УСП, необходимых для реализации процесса его наведения на ВО, а также для создания условий, требуемых при выполнении процедур оценивания координат и параметров движения цели в случае отсутствия соответствующей информации от БРАС носителя УСП и при возможности измерения лишь угловых координат ВО. В последнем случае траекторное управление УСП необходимо еще и для создания благоприятных условий для функционирования систем слежения за ВО и поэтому достаточно часто называется траекторным управлением наблюдением (ТУН).

Кроме того, ТУН применяется для реализации защиты РГС от преднамеренных помех. Вариант траектории полета, соответствующий одному из эвристических или оптимальных способов ТУН, приведен в [27].

Еще одним перспективным направлением использования ТУН является его применение при наведении УСП на объект в составе в плотной группе [28].

Формирование сигналов ТУН может осуществляться также при одновременном наведении двух УСП. В качестве примера можно указать способ поражения цели-постановщика когерентных помех УСП с активной РГС, описанный в [16].

Как известно, когерентные помехи вызывают искажение фазового фронта отраженной от цели электромагнитной радиоволны. Воздействие таких помех на РГС приводит к недопустимым промахам и уменьшению вероятности поражения цели. Однако возможности постановки когерентных помех имеют принципиальные физические ограничения. Эффективную помеху можно создать только в определенном угловом направлении. Область пространства, в котором можно создать эффективную когерентную помеху, ограничена и составляет практически 0.001 радиан. По этой причине

когерентные помехи не эффективны против многопозиционных, в частности, бистатических РАС. Это свойство устойчивости к когерентным помехам при разнесенных по пространству точках передачи и приема радиосигналов может быть реализовано в УСП за счет специальной операции процесса одновременного наведения двух УСП и их взаимодействия между собой. Суть способа состоит в том, что излучение зондирующего сигнала и прием отраженного от ВО сигнала перераспределяются между УСП попеременно. При этом интервал излучения сигнала одним УСП должен соответствовать интервалу приема отраженного сигнала другим УСП. Кроме того, наведение УСП осуществляется по максимально расходящимся траекториям типа «клещи».

Наведение УСП по максимально расходящимся на начальном и среднем участках траектории типа «клещи» направлено на то, чтобы на большей части траекторий полета УСП были максимально удалены одна от другой и не входили в область пространства, в которой эффективно действие когерентной помехи на РГС.

В заключение отметим, что способы ТУН за радиоизлучающими объектами в двухпозиционных угломерных радиолокационных системах достаточно подробно рассмотрены в [21].

2.3. Особенности функционирования РГС при ведении групповых действий и в условиях радиоэлектронного противодействия

Специфической особенностью современного взаимодействия средств нападения и защиты является их групповое применение [24]. В достаточно длинной информационно-управляющей цепи группового противоборства, включающей обнаружение целей, их сопровождение, применение УСП, одной из наиболее важных и сложных задач является целераспределение и наведение УСП ВО на наиболее важный ВО. Кроме того, практическая реализация указанных режимов функционирования РГС существенно усложняется при применении противоборствующей стороной средств радиоэлектронного противодействия.

Как показал анализ [25,26], вооруженные силы США и европейских стран НАТО располагают достаточно мощными средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ), которые способны формировать различные помеховые воздействия, представляющие серьезную угрозу РГС. В частности, для подавления каналов обнаружения, различения и распознавания, а также каналов измерения дальности и скорости средства радиоэлектронного подавления (РЭП) могут формировать следующие виды помех: непрерывные шумовые, хаотические импульсные, многократные синхронные импульсные, имитирующие импульсные и комбинированные (перенацеливающие активно-пассивные и комбинации активных имитирующих и маскирующих помех). В свою очередь, для подавления угломерных каналов средства РЭП могут создавать одноточечные помехи угломерным каналам с линейным сканированием, одноточечные помехи моноимпульсным угломерным каналам, многоточечные помехи угломерным каналам, поляризационные помехи. Кроме того, для подавления угломерных каналов предусматривается постановка преднамеренных помех, действующих по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны РАС.

Таким образом, успешное решение задачи самонаведения УСП в существенной степени зависит от эффективности функционирования активной импульсно-доплеровской РГС в условиях ведения РЭБ. Серьезную угрозу нормальному функционированию активной РГС представляют индивидуальные средства РЭП, установленные на поражаемых объектах, а также средства РЭБ, предназначенные для групповой и коллективной (взаимной) защиты ВО. Последние способны создавать многоточечные (неизотропные по пространству) активные помехи, которые могут быть маскирующими и имитирующими, и действовать как по основному, так и боковым лепесткам диаграммы направленности антенны. В связи с этим в активной РГС должны быть приняты специальные меры для защиты от многоточечных по пространству помех.

В подобной ситуации в РГС, прежде всего, необходимо оценивать сигнально-помеховую обстановку. Для этого в ней практически параллельно должны протекать два процесса: первый процесс - оценка помеховой обстановки (ПО), второй - радиолокационное наблюдение ВО с одновременной компенсацией различного рода преднамеренных помех. Радиолокационное наблюдение ВО должно начинаться с выполнения операций по оценке ПО. Для определения числа и угловых координат источников излучения, к которым относятся и постановщики помех (ПП), разработаны различные алгоритмы. Эти алгоритмы совместно с алгоритмами синтеза диаграмм направленности многоканальной антенной системы позволяют сформировать заданное число каналов приема, равное числу ПП, и вести в них радиолокационное наблюдение ПП. При реализации пространственно-временной обработки сигналов в радиолокационных системах данную процедуру обычно делят на пространственную и временную, что предполагает раздельное построение пространственных (лучей, направленных на ПП) и временных каналов. В сформированных каналах приема, число которых определяется числом ПП, реализуются алгоритмы, выполняющие такие операции как обнаружение помеховых сигналов, измерение угловых координат ПП с последующей коррекцией положения лучей в пространстве, распознавание вида действующих помех.

Выходные сигналы временных каналов, угловые координаты ПП, вид помех подаются на устройство анализа сигнально-помеховой обстановки, где оценивается (распознается) тип помеховой ситуации. Результаты оценки ПО служат основой для принятия решения о начале обзора пространства с вариантом схемы помехозащиты, удовлетворяющей текущей ситуации. Каждому классу ПО соответствует свой вариант организации помехозащиты в радиолокационной системе и, тем самым, свой сценарий ее функционирования, обеспечивающий максимальную степень защиты УСП от воздействия преднамеренных помех.

Кроме вышеуказанного, для обеспечения наведения УСП в подобной ситуации в РГС целесообразно и необходимо ввести дополнительно режим пассивного самонаведения на источники радиоизлучения, создающие помеховые сигналы в диапазоне работы БРАС носителя УСП. При этом наведение УСП может осуществляться либо в рамках пассивной угломерной однопозиционной системы наведения, либо пассивной угломерной двухпозиционной системы. Наиболее предпочтительным является вариант применения угломерной двухпозиционной системы наведения, в состав которой входит наводимое УСП УР и его носитель [21].

Из вышеизложенного следует, что для успешного решения задачи перехвата ВО при ведении групповых действий и в условиях применения средств РЭБ необходимо систему управления УСП дополнить режимом двухпозиционного пассивного наведения. В этом режиме обеспечивается получение достаточно достоверной информации о координатах и параметрах движения ВО, необходимой для наведения УСП, что позволяет в достаточной степени нейтрализовать влияние эффекта радиоэлектронного подавления на формирование оценок координат и параметров движения в РГС.

Кроме того, в качестве многоканальной антенной системы в активной РГС целесообразно использовать активную фазированную антенную решетку (АФАР), позволяющую оптимизировать и реализовать пространственно-временную обработку полезных и помеховых сигналов и обеспечить заданный уровень помехозащищенности РГС.

2.4. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РГС ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА ПАССИВНОГО НАВЕДЕНИЯ НА РАДИОИЗЛУЧАЮЩИЙ ВОЗДУШНЫЙ ОБЪЕКТ

Как указано выше, при реализации пассивных методов наведения УСП целесообразно применение двухпозиционной угломерной системы (УДПС) наведения в составе, например, УСП и его носителя, с которого произведен ее пуск, или в составе двух УСП, которые образуют приемные позиции (ПРМП). Как известно [21], в пассивных двухпозиционных угломерных

системах на ПРМП осуществляется измерение пеленгов радиоизлучающего ВО (РИВО), а также собственных координат и параметров движения с последующей передачей результатов измерений на взаимодействующие позиции. В дальнейшем выполняется оценивание параметров траектории движения РИВО в выбранной системе координат (прямоугольной, сферической и др.).

Совместная обработка информации в УДПС, позволяющая существенно повысить качество наблюдения РИЦ, разбивается на три этапа.

На первом этапе поступающие от разных позиций единичные замеры преобразуются в единую систему координат, например, декартову, начало которой привязывается к какой-либо определенной географической точке (условному центру УДПС). На втором этапе результаты измерений отождествляются между собой и с построенными ранее траекториями. Поскольку данные, формируемые в УДПС, являются статистическими оценками параметров ВО, то и задача их отождествления носит статистический характер. На третьем этапе осуществляется собственно построение траекторий РИВО, т.е. оценка координат и параметров их движения. Предварительно, на третьем этапе в процессе внутрибазовой обработки на основе измеренных значений пеленгов РИВО в каждой подвижной позиции и координат этих позиций рассчитываются так называемые обобщенные единичные замеры (косвенные измерения) координат радиоизлучающих объектов: прямоугольные координаты РИВО либо дальности до них. Другими словами, осуществляется первичное оценивание местоположения РИВО. Траектория каждого РИВО в УДПС формируется в результате вторичной обработки прямых (непосредственных) и косвенных единичных замеров координат.

Для создания эффективно функционирующих систем траекторного сопровождения необходимо иметь качественные алгоритмы оценивания координат и параметров движения РИВО, соответствующие конкретным условиям применения УДПС. В настоящее время широкое применение нашли алгоритмы оценивания, основанные на методах линейной

и нелинейной фильтрации. В частности, способы и алгоритмы оценивания координат и параметров движения РИЦ на основе использования линейного и расширенного фильтров Калмана, а также адаптивного α , β -фильтра и линеаризованного α , β -фильтра.

Эффективность применения УДПС во многом зависит от точности определения относительных и абсолютных координат РИВО и параметров их движения. Отличительной особенностью функционирования УДПС является зависимость ошибок местоопределения источников радиоизлучения от пространственной конфигурации («геометрии») системы, то есть от размеров базы и положения РИВО относительно базы. Это обстоятельство позволяет за счет целенаправленного изменения положения приемных позиций минимизировать ошибки оценивания фазовых координат РИВО и, тем самым, повысить эффективность применения УДПС.

В общем случае, при применении УДПС необходимо решать две задачи, а именно, задачу наведения одного УСП на РИВО и задачу траекторного управления второй УСП для создания наиболее благоприятных условий для наблюдения за РИВО, при которых минимизируются ошибки измерения его местоположения. В данном случае одна из позиций, например, наиболее близкая к РИВО, решает задачу самонаведения, используя тот или иной метод, а вторая – целенаправленно изменяет свое положение в пространстве, обеспечивая на обеих позициях максимально высокую точность определения местоположения радиоизлучающего объекта. Первую позицию принято называть ведущей, а вторую – позицией информационной поддержки.

В настоящее время разработаны ортогональные и градиентные способы траекторного управления наблюдением (ТУН) в УДПС. При использовании ортогональных способов ТУН снижение ошибок оценивания местоположения РИВО достигается за счет поддержания угла пересечения линий визирования (пеленгов) РИВО близкого к 90° . Общим недостатком ортогональных способов наведения является тот факт, что до выхода УСП информационной поддержки в произвольную

точку, лежащую на перпендикуляре к линии РИВО - ведущий УСП, или в заданную точку этого перпендикуляра по существу не предъявляется никаких требований к текущим значениям ошибок определения местоположения РИВО. В то же время процесс наведения ведущего УСП может закончиться еще до момента выхода УСП информационной поддержки на указанный перпендикуляр, когда ошибки определения местоположения РИВО становятся минимальными.

Так как обеспечение одновременного выхода ведущего УСП в точку окончания наведения, а УСП информационной поддержки на заданную линию (или заданную точку) представляет собой довольно сложную задачу, то управление УСП информационной поддержки можно организовать таким образом, чтобы ошибка определения местоположения РИВО в любой момент времени была минимально возможной. Для выполнения данного условия УСП информационной поддержки должен двигаться по специальной траектории, параметры которой, например, могут рассчитываться с помощью алгоритма, полученного на основе градиентного способа ТУН.

3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РГС ИЗ СОСТАВА УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

При модернизации и разработке новых УСП необходимо учитывать ряд факторов, обусловленных современным этапом развития авиации, а также состоянием и перспективами развития авионики в целом.

К этим факторам, прежде всего, относятся [9]:

- учет состояния и тенденций развития авиации и поражаемых воздушных объектов, включая средства их защиты (тактические факторы);
- экономичность, определяемую совокупностью всех затрат на разработку, применение и техническое обслуживание РГС;
- технологичность, определяемую уровнем используемых информационных технологий, элементной базы, глубиной и доступностью контроля технического состояния, сложностью ремонта, а также возможностью

улучшать показатели эффективности без изменения принципов построения РГС;

- совокупность организационных мер по разработке и реализации облика новой РГС.

Учет вышеперечисленных факторов позволяет выделить ряд направлений, непосредственно влияющих на информационно-управляющую сторону функционирования систем наведения.

К этим направлениям, прежде всего, относятся:

- качественное усложнение законов взаимного пространственного перемещения летательных аппаратов;
- групповое применение как средств нападения, так и защиты;
- высокая динамичность и скоротечность воздушных столкновений;
- широкое использование режимов управления и информационного обеспечения на грани потери устойчивости, характерное для сверхманевренных ВО и следящих систем.

Удовлетворить этим требованиям в рамках традиционных стационарных методов наведения невозможно. В связи с этим весьма актуальной становится задача разработки и применения нестационарных методов наведения, учитывающих более высокие производные линейных и угловых координат, параметры которых изменяются в зависимости от начальных условий применения и в процессе наведения, обеспечивая более высокие показатели совершенства метода в целом.

К настоящему времени можно выделить четыре направления синтеза нестационарных методов самонаведения, основанных на использовании математического аппарата статистической теории оптимального управления [35,36] и метода обратных задач динамики [37].

Эти направления включают синтез следующих законов управления:

- с параметрами, зависящими от начальных условий применения;
- с перераспределением приоритетов в процессе управления;
- с учетом несоответствия динамических свойств ВО и наводимого УСП;

– с нелинейной зависимостью от ошибок управления.

Необходимо отметить, что в каждом направлении на основе различных подходов могут быть получены различные варианты нестационарных методов наведения.

В свою очередь эти направления совершенствования методов самонаведения предопределяют следующие основные направления совершенствования информационных подсистем УСП ВО.

3.1. РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Осведомленность о состоянии текущей тактической ситуации и стабильность информационного обеспечения являются необходимым условием решения задачи перехвата ВО. Современные РГС УСП ВО функционируют в сложной сигнально-помеховой обстановке. Обусловлено это тем, что столкновения могут носить групповой характер, что существенно усложняет процедуру получения информации о ВО, особенно при их полетах в группе. РАСШИРЕНИЕ информационных возможностей подразумевает увеличение объема информации, извлекаемой из радиосигналов, улучшение показателей обнаружения, разрешения и точности оценивания координат абсолютного и относительного движения ВО [9].

В рамках этого направления наиболее важным является обеспечение высокоточного и бесрывного сопровождения интенсивно маневрирующих объектов, в том числе и движущихся со сменой знаков производных дальности и угловых координат. Возможные варианты синтеза таких алгоритмов рассмотрены в [38,39].

Значительная роль в повышении качества оценивания текущей сигнально-помеховой обстановке в перспективных РГС принадлежит АФАР, поскольку они позволяют сформировать необходимое количество пространственных каналов, в которых можно вести радиолокационное наблюдение за ВО и источниками помех.

При создании РГС все большее внимание уделяется вопросам повышения их разрешающей способности, что способствует

решению задачи распознавания ВО. Для надежного распознавания ВО в РГС рекомендуется использовать модуляционные признаки, позволяющие построить доплеровский портрет ВО на основе анализа спектра принимаемого сигнала. Характерным признаком, характеризующим сугубо индивидуальную принадлежность к определенному типу ВО, является наличие в доплеровском спектре относительно хорошо выделяемых составляющих, обусловленных вращением лопаток турбин или лопастей винтов самолетов [9]. Для распознавания вертолетов целесообразно использовать вторичный эффект модуляции от его несущего винта [8]. Модуляционные признаки целесообразно использовать также при распознавании имитационных помех, в том числе и при распознавании буксируемых ложных целей. Перспективным направлением улучшения разрешающей способности является использование ТУН [28].

3.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МНОГОДИАПАЗОННОСТИ

В первую очередь, требование многодиапазонности относится к активно-пассивным РГС. Наряду с активным режимом самонаведения в этих РГС реализуется режим пассивного самонаведения на воздушные объекты, на которых размещаются источники радиоизлучения, функционирующие в разных частотных диапазонах. В частности, БРАС, установленные на летательных аппаратах тактической авиации США, излучают радиосигналы в диапазоне частот 8-20 ГГц [9], а БРАС самолета дальнего радиолокационного дозора и наведения в диапазоне 3.175-3.425 ГГц [19]. Это обстоятельство существенно усложняет разработку антенной системы для РГС.

Следует отметить, что за рубежом одним из основных направлений совершенствования РГС считается применение плоских или конформных антенных решеток [8]. Основными преимуществами РГС с плоскими и конформными антенными решетками по сравнению с современными зеркальными и щелевыми антеннами являются: более эффективная отстройка от естественных и организованных помех; электронное

управление лучом антенны с полным отказом от применения подвижных частей со значительным снижением массо-габаритных характеристик и потребляемой мощности; более эффективное использование поляриметрического режима и доплеровского облучения луча; увеличение несущих частот (до 35 ГГц) и разрешающей способности, апертуры и поля обзора; снижение влияния свойств радиолокационной проводимости и теплопроводности обтекателя, вызывающих его абберацию и дисторсию. В таких РГС возможно также применение режимов адаптивной настройки равносигнальной зоны с автоматической стабилизацией характеристик диаграммы направленности антенны.

Кроме того использование нескольких диапазонов излучаемых сигналов является эффективным средством снижения влияния угловых шумов на точность наведения [40].

3.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЕМ

На практике возможны ситуации, когда измерение дальности и скорости сближения с ВО в активном канале РГС будет невозможно при подавлении его помехами и работоспособным окажется только пассивный канал, отслеживающий угловое положение источника помех. В этом случае при отсутствии априорных сведений о координатах и параметрах движения радиоизлучающей цели для решения задач наведения необходима организация траекторного управления наблюдением. Аналогичная задача возникает при контроле источников радиоизлучения, расположенных на воздушных объектах, при отсутствии априорной информации о координатах цели в БРАС носителя УСП, необходимой при передаче в РГС в процессе целеуказания и радиокоррекции. Траекторное управление наблюдением может осуществляться как в однопозиционных, так и в двухпозиционных системах наведения на ВО.

Специфической областью ТУН является создание негативных алгоритмических воздействий на информационные системы

противника [41].

3.4. СОВМЕСТНОЕ НАВЕДЕНИЕ УСП НА ГРУППОВОЙ ВОЗДУШНЫЙ ОБЪЕКТ

В настоящее время на носителях УСП ВО, как правило, размещается несколько УСП, которые могут одновременно наводиться на групповой воздушный объект (ГВО). При этом предусматриваются различные варианты применения УСП. Возможны ситуации, когда УСП самостоятельно будут выбирать себе ВО для наведения, либо этот процесс будет проводиться централизованно, но без участия носителя. Поэтому при разработке РГС следует предусмотреть необходимость разрешения ВО в плотной группе [28] и организацию радиообмена информацией между УСП, а также двухстороннюю линию радиосвязи с носителем УСП.

3.5. ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ РГС

Интеллектуальные РГС являются новым научно-техническим направлением в радиолокационной системотехнике. В наибольшей степени свойство интеллектуальности РГС проявляется при решении задачи адаптации РГС к быстроменяющейся внешней обстановке с целью обеспечения оптимального распределения ограниченных временных, частотных, пространственных и энергетических ресурсов по множеству обрабатываемых объектов локации. Кроме того, уровень интеллектуальности приобретает принципиальное значение при действии РГС в условиях радиоэлектронной борьбы, когда на нее оказывается непредсказуемое заранее комплексное воздействие разнообразных помех при столь же заранее неизвестной их пространственно-временной динамике. Особенно большое значение интеллектуальные способности РГС имеют при ведении УСП групповых действий против группы ВО в условиях радиоэлектронного противодействия со стороны противника.

Отсюда следует, что на современном этапе развития РГС важнейшими являются задачи организации и алгоритмизации функционирования РГС в целом (в том числе и в условиях помех), задачи оптимального управления ресурсами РГС, задачи организации

и оптимизации ее функциональных режимов.

Функционирование РГС может быть организовано с использованием методов искусственного интеллекта. При этом интеллектуальная РГС должна обеспечить оценивание сигнально-помеховой обстановки, определение вида помехи и способа защиты от нее, определение числа и важности целей, выбор метода самонаведения и источников информации. Это позволяет принимать эффективные решения о способах защиты от помех, а также решать задачи целераспределения и наведения УСП.

3.6. УСИЛЕНИЕ РОЛИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Решающая роль в обеспечении высокой информативности РГС и придании ей интеллектуальных качеств принадлежит системе цифровой обработки радиолокационных сигналов и данных. Цифровые методы обработки информации и управления используются в РГС при решении следующих задач: формировании лучей и управлении диаграммой направленности антенной решетки; адаптивной пространственной фильтрации принимаемых антенной решеткой радиосигналов, в том числе, в условиях сложной помеховой обстановки; цифровой время-частотной когерентной и некогерентной обработке радиолокационных сигналов; обнаружении и сопровождении траекторий по данным радиолокационных измерений; распознавании ВО; обеспечении ситуационной осведомленности; управлении режимами работы и блоками РГС, в том числе антенной решеткой. Кроме того, наметилась также устойчивая тенденция к внедрению цифровых способов формирования зондирующих и опорных сигналов.

Достижения в цифровых технологиях последних лет существенно расширяют информационные возможности перспективных РГС, позволяя за счет формирования ансамбля зондирующих сигналов, обладающих требуемыми свойствами, обеспечить гибкость системы обработки радиолокационных сигналов и данных, осуществляя ее настройку на заданные условия радиолокационного наблюдения с использованием программируемого цифрового формирователя сигналов, широкополосного

цифрового многоканального приемника и универсального процессора. Таким образом, цифровые технологии дают возможность решать задачу разработки РГС, опираясь на новые подходы, максимально используя преимущества цифрового представления сигналов.

3.7. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Антенные системы во многом определяют облик РГС нового поколения. Одним из перспективных направлений развития РГС является применение в них активных и пассивных фазированных антенных решеток. Используемая при этом пространственно-временная обработка сигналов позволяет существенно расширить информационные возможности РГС и значительно повысить их помехозащищенность. Именно поэтому задачей первостепенной важности является разработка высокоэффективных образцов АФАР. Последние позволяют обеспечить гибкость управления режимами работы РГС, хорошую адаптируемость в условиях воздействия различного рода помех и изменяющейся электромагнитной обстановки, что обусловлено их способностью осуществлять: практически мгновенный переброс луча; формирование требуемой диаграммы направленности антенны (ДНА) и быстрое ее изменение; одновременную работу РГС в нескольких режимах; создание многолучевой ДНА; адаптивное и гибкое формирование нужного числа лучей АФАР с низким уровнем боковых лепестков; одновременное излучение сигналов многолучевой ДНА на разных несущих частотах и частотах повторения; снижение радиоотражения антенной решеткой за счет ее рационального, в том числе и конформного размещения и управление направлением рассеивания антенной системой падающих на нее сигналов; использования одной антенной решетки в интересах нескольких режимов функционирования РГС. Однако необходимо отметить, что для получения всех преимуществ использования АФАР потребуется существенное усложнение ее алгоритмического обеспечения.

Реализация рассмотренных перспективных направлений развития при проектировании РГС будет способствовать повышению

потенциальных возможностей и эффективности применения УСП ВО.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенное выше позволяет сделать следующие выводы:

1. В процессе развития УСП ВО было разработано несколько поколений указанных изделий, оснащенных радиолокационными головками самонаведения. В настоящее время широкое распространение получили РГС, обеспечивающие инерциальное наведение с радиокоррекцией от БРАС их носителя на начальном и среднем участках траектории полета УСП и активное самонаведение на конечном участке. При использовании этих РГС возможно одновременное наведение нескольких УСП. Весьма перспективными являются РГС, в которых предусматривается последовательная реализация трех режимов наведения: инерциальное наведение с радиокоррекцией, пассивное наведение и активное наведение. С помощью таких РГС может осуществляться перехват радиоизлучающих целей.
2. В современных РГС существующие методы самонаведения и алгоритмы автосопровождения целей и траекторного управления УСП не обеспечивают успешного наведения УСП с заданной эффективностью на новые типы воздушных объектов. Аналогичный недостаток имеет место и при необходимости одновременного перехвата несколькими УСП группы воздушных объектов. Поэтому при разработке перспективных РГС требуется внедрение новых методов самонаведения и алгоритмов сопровождения ВО.
3. Основными направлениями совершенствования УСП ВО являются: разработка новых, более гибких нестационарных методов самонаведения и расширение возможностей их информационного обеспечения. Это предопределяет необходимость улучшения ситуационной осведомленности, обеспечения многодиапазонности, достижения высокого уровня защиты РГС от естественных и преднамеренных помех, использования

траекторного управления наблюдением при наведении на радиоизлучающие объекты, совместного наведения УСП на ГВО, интеллектуализации и цифровизации РГС, совершенствования антенных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров К. Основные направления совершенствования зарубежных управляемых ракет класса «воздух-воздух». *Зарубежное военное обозрение*. 2001, № 8, с. 32-38.
2. Давыдов АН, Черных ЛГ, Панкратов ОН, Чабанов ВА. *Состояние и перспективы развития оружия класса «воздух-воздух» для самолетов 5 го поколения. (Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников)*. Под общей редакцией академика РАН Федосова Е.А. М., Изд. ГосНИИАС, 2004, 92 с.
3. Марковский В, Перов К. *Советские авиационные ракеты «воздух-воздух»*. М., Издательский дом «Экспринт», 2005, 48 с.
4. Вексин СИ. *Обработка радиолокационных сигналов в доплеровских головках самонаведения*. М., Изд-во МАИ, 2005.
5. Акопян ИГ, Вексин СИ, Медведев ГП, Сухов АМ. Особенности построения и развития техники радиолокационных головок самонаведения в системах ракетного вооружения ВВС и ЗРК. *Радиотехника*, 2005, 2:7-12.
6. Акопян ИГ. Мозг ракеты. Особенности построения и тенденции развития головок самонаведения для ракет класса «поверхность-воздух» и «воздух-воздух». *Воздушно-космическая оборона*, 2006, 3(28).
7. Богданов АВ, Филонов АА, Кучин АА. *Алгоритм обработки сигналов в многофункциональной РГС управляемых ракет класса «воздух-воздух» для обеспечения ее наведения на элемент групповой воздушной цели по заданному целераспределению*. Тверь, ВА ВКО, 2008.
8. Щербинин Р. Головки самонаведения перспективных зарубежных управляемых ракет и бомб. *Зарубежное военное обозрение*. 2009, 4:64-68.
9. Антипов ВН, Меркулов ВИ, Самарин ОФ, Чернов ВС. Основные направления развития авиационных бортовых РЛС. *Успехи современной радиоэлектроники*. 2009, 10:7-29.

10. Меркулов ВИ, Чернов ВС, Дрогалин ВВ. и др. *Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития. Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова.* М., Радиотехника, 2003, 416 с.
11. Абатуров ВА, Забелин ИВ, Захаров МС, Савельев АН, Чернов ВС. *Авиационные системы радиоуправления. Радиолокационные головки самонаведения ракет «воздух-воздух» и «воздух-поверхность: учебное пособие. Под ред.. Чернова В.С.* М., Изд. ВУНЦ ВВС "ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина", 2010, 48 с.
12. Верба ВС, Меркулов ВИ, Дрогалин ВВ. *Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах. Ч. 3. Под ред.. Вербы В.С, Меркулова В.И. М., Радиотехника.* 2010, 472 с.
13. Самарин ОФ, Татарский БГ, Чернов ВС. Развитие цифровых технологий и архитектура радиолокационных систем. *Информационно-измерительные и управляющие системы.* 2010, 8(1):48-57.
14. Акопян ИГ, Вексин СИ, Сухов АИ, Чернов ВС. Тенденции развития радиолокационных головок самонаведения зенитных ракет и ракет класса «воздух-воздух». *Радиозлектронные системы.* 2010, 1(17).
15. Акопян ИГ, Вексин СИ, Евсеев ДД, Сухов АИ. О состоянии и перспективах развития радиолокационных головок самонаведения для ракет «поверхность-воздух» и «воздух-воздух». *Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». Воздушно-космическая оборона.* 2011, 1(5):17-30.
16. Богацкий ВГ, Мордвинов ИГ, Данилова ТВ. Способ поражения цели-постановщика когерентных помех ракетой с активной РГС. *Патент RU 2 468 381 C1.* Начало отсчета 18.05.2011. Оpubл. 27.11.2012.
17. Черных ЛГ. Состояния и перспективы развития управляемых ракет класса «воздух-воздух». *Авиационные системы.* 2012, 1:21-36.
18. Щербаков БФ. *Авиационные ракетные комплексы: учебное пособие.* Балтийский государственный технический университет, 2012, 65 с.
19. Верба ВС, Васильев АВ, Меркулов ВИ, Чернов ВС. Радиолокационные системы авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения. *Успехи современной радиозлектроники.* 2013, 4:3-22.
20. Сиников А. Эволюция и перспективы ракет класса «воздух-воздух». *Воздушно-космическая оборона,* 2014, №4.
21. Белик БВ, Белов СГ, Верба ВС. *Авиационные системы радиоуправления.* Под ред. В.С. Вербы и В.И. Меркулова. М., Радиотехника, 2014, 376 с.
22. Богданов АВ, Филонов АА, Ковалев АА. *Методы самонаведения истребителей и ракет класса «воздух-воздух» на групповую воздушную цель.* Под ред. Кучина А.А. Красноярск, Сиб. федер. ун-т, 2018, 168 с.
23. Бызов АН, Петров ЮВ, Рогожин ВА. Применение нейронных сетей для определения дальности до источника радиоизлучения. *Вопросы радиозлектроники,* 2019, 8:13-17.
24. Верба ВС. *Информационно-измерительные и управляющие радиозлектронные системы и комплексы.* М., Радиотехника, 2020, 489 с.
25. Запорожец ГВ, Меркулов ВИ, Чернов ВС. Авиационные средства радиозлектронного поражения радиолокационных систем США. Часть 2. Индивидуальные средства РЭП. СВЧ-средства функционального поражения. Средства РЭБ беспилотных летательных аппаратов. *Успехи современной радиозлектроники,* 2020, 4-5:5-18.
26. Белик БВ, Меркулов ВИ, Чернов ВС. Способы траекторного управления наблюдением в авиационных однопозиционных системах радиомониторинга. *Успехи современной радиозлектроники,* 2020, 10:5-29.
27. Верба ВС, Загребельный ИР, Меркулов ВИ. Метод наведения на воздушную цель в составе плотной группы. *Радиотехника и электроника,* 2020, 65(11):1091-1100.
28. Shneydor NA. *Missile Guidance And Pursuit: Kinematics, Dynamics and Control,* Woodgate, Horwood Publishing Limited, 1998, 286 p.
29. Zarchan Paul. Tactical and Strategic Missile Guidance. *Progress in Astronautics and Aeronautics,* Vol. 239, 2012.
30. Sioris George M. *Missile Guidance and Control Systems.* Springer, 2004.
31. Yanushevsky Rafael. *Modern Missile Guidance.* CRC Press, 2008.
32. Попов ИМ, Хамзатов МИ. *Война будущего. Концептуальные основы и практические выводы.*

- М., Кучково поле, 2017, 832 с.
33. Федосов ЕА. Реализация сетецентрической технологии ведения боевых действий потребует создания БРАС нового поколения. *Фазотрон*, 2007, 1-2(10):11-44.
 34. Сейдж ЭП, Уайт ЧС. III. *Оптимальное управление системами*. М., Радио и связь, 1982.
 35. Черноусько ФА, Колмановский ВБ. *Оптимальное управление при случайных возмущениях*. М., Наука, 1978.
 36. Крутько ПД. *Обратные задачи динамики в теории автоматического управления: Учебное пособие для ВУЗов*. М., Машиностроение, 2004. 576 с.
 37. Меркулов ВИ, Верба ВС, Ильчук АР, Колтышев ЕЕ. *Автоматическое сопровождение целей РАС интегрированных авиационных комплексов. Т. 2. Сопровождение одиночных целей. В 3-х томах. Под ред. Вербы В.С.* М., Радиотехника, 2018, 486 с.
 38. Меркулов ВИ, Верба ВС, Ильчук АР, Кирсанов АП. *Автоматическое сопровождение целей в РАС интегрированных авиационных комплексов. Многоцелевое сопровождение. Т. 3. Монография. В 3-х томах. Под ред. Вербы В.С.* М., Радиотехника, 2018, 392 с.
 39. Канащенков АИ, Меркулов ВИ. *Авиационные системы радиуправления. Т.1. Принципы построения систем радиуправления. Основы синтеза и анализа*. М., Радиотехника, 2003, 192 с.
 40. Меркулов ВИ, Забелин ИВ. Траекторное управление наблюдением как способ создания преднамеренных алгоритмических воздействий на радиолокационные системы. *Радиотехника*, 2010, №7.

Ильчук Анатолий Ростиславович

д.т.н., проф.

НПП «Исток» им. Шокина

2/1, ул. Вокзальная, г. Фрязино, Московская область 141190, Россия

arilchuk@istokmw.ru

Меркулов Владимир Иванович

д.т.н., проф.

Концерн «Вега»

34, Кутузовский просп., Москва 121170, Россия

from_fn@mail.ru

Панас Андрей Иванович

д.ф.м.н.

НПП «Исток» им. Шокина

2/1, ул. Вокзальная, г. Фрязино, Московская область 141190, Россия

airanas@istokmw.ru

Чернов Владимир Сергеевич

к.т.н.

Концерн «Вега»

34, Кутузовский просп., Москва 121170, Россия

chernova.45@list.ru

Щербаков Сергей Владиленович

д.т.н., проф.

НПП «Исток» им. Шокина

2/1, ул. Вокзальная, г. Фрязино, Московская область 141190, Россия

sherbakov@istokmw.ru.