

УДК 623.465

Анализ способов и средств управления авиацией с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения

Смирнов С. В.

Актуальность. В настоящее время существует определенная вероятность применения Воздушно-космических сил России за пределами ее территории. Основной задачей при этом является организация управления авиацией при отсутствии наземных пунктов управления. В этом случае для управления авиацией используется воздушный пункт управления который представляет собой авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения (АК РЛДН). **Целью работы** является анализ способов и средств управления авиацией с АК РЛДН, а также формирование предложений по перспективам развития такой системы управления. **Результаты и их новизна.** Элементом новизны работы являются выявленные общие подходы к управлению, методам наведения и средствам управления авиации с АК РЛДН. В частности, анализ показал следующее. Современным трендом в развитии АК РЛДН является управление не только пилотируемой авиацией, но и беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Причем для управления БПЛА характерно решение нового класса задач, связанных с управлением ими на основе принципа «интеллектуального роя», а также при полувавтономном и автономном управлении. Кроме решения задач управления актуальным направлением исследований является разработка высокосвязных сетей радиосвязи, которые бы использовались для реализации сетецентрического управления с АК РЛДН и обладали повышенной устойчивостью при применении противником средств радиоэлектронного подавления. **Практическая значимость.** Представленный анализ будет полезен техническим и военным специалистам для обоснования новых способов боевого применения авиации с АК РЛДН за пределами территории России, а также для обоснования новых технических систем управления и связи в составе АК РЛДН.

Ключевые слова: система управления, авиация, БПЛА, система связи, командная радиополоса управления, авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения, сеть воздушной радиосвязи.

Введение

Современная политическая обстановка отличается неопределенностью и высокой вероятностью применения Воздушно-космических сил (ВКС) в интересах обеспечения геополитических интересов России и ее союзников за пределами территории РФ. Вместе с тем такое боевое применение авиации сопряжено с определенной сложностью, а именно – отсутствие наземной инфраструктуры обеспечивающей поле управления авиацией. В этом случае основным способом управления авиацией является использование воздушных пунктов управления (ПУ) на основе авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения (АК РЛДН). Вышесказанное подтверждает опыт использования АК РЛДН А-50 в Сирии при проведении там операции ВКС России.

Библиографическая ссылка на статью:

Смирнов С. В. Анализ способов и средств управления авиацией с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 69-100. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/03-Smirnov.pdf>

Reference for citation:

Smirnov S. V. The Analysis of Ways and Means to Control the Aircrafts from AWACS. Systems of Control, Communication and Security, 2017, no. 2, pp. 69-100. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/03-Smirnov.pdf>

Целью статьи является анализ основных режимов, способов и технологий управления авиацией с АК РЛДН. Данный анализ проводится в интересах поиска путей дальнейшего совершенствования способов и технических средств управления авиацией, особенно при ее действиях за пределами России.

Ввиду большого объема материала он был декомпозирован на несколько подразделов:

- режимы работы авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения нового поколения;
- управление авиацией при наведении ее на воздушные цели;
- управление авиацией при наведении ее на наземные цели;
- система командного наведения АК РЛДН и его роль при организации одиночных и групповых действий авиации;
- методы наведения, используемые в АК РЛДН для управления авиацией;
- управление БПЛА с АК РЛДН;
- особенности управления группой БПЛА с АК РЛДН;
- иерархическое управление группой БПЛА;
- децентрализованное сетевое управление группой БПЛА;
- проблемные вопросы информационного обеспечения групповых действий БПЛА;
- командная радиоперехватная линия управления – как основное средство управления авиацией с АК РЛДН;
- перспективные направления совершенствования командных радиоперехватных линий управления авиацией.

Режимы работы авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения нового поколения

Как показывает анализ современных работ в области организации боевого управления авиацией [1–3], существует два основных способа управления:

- 1) управление с наземного пункта управления (ПУ);
- 2) управление с воздушного ПУ.

При этом управление с наземных ПУ осуществляется при наличии развернутой наземной инфраструктуры управления, как правило, на территории России или дружественных стран. При необходимости проведения военных операций в других странах, в которых наземная инфраструктура управления отсутствует, основным способом управления авиацией становится управление с воздушного ПУ. В качестве такого воздушного ПУ традиционно используется авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения (АК РЛДН) – рис. 1.

Современный АК РЛДН осуществляет управление летательными аппаратами различных классов в процессе полета по маршруту, наведение на воздушные и наземные цели, а также управление сопрягаемыми комплексами аналогового типа, беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), самолетами-ретрансляторами, топливозаправщиками и т. д. Эта специфика обуславливает

необходимость использовать в АК РЛДН две группы режимов, которые условно можно классифицировать как:

- «воздух-воздух»;
- «воздух-поверхность».

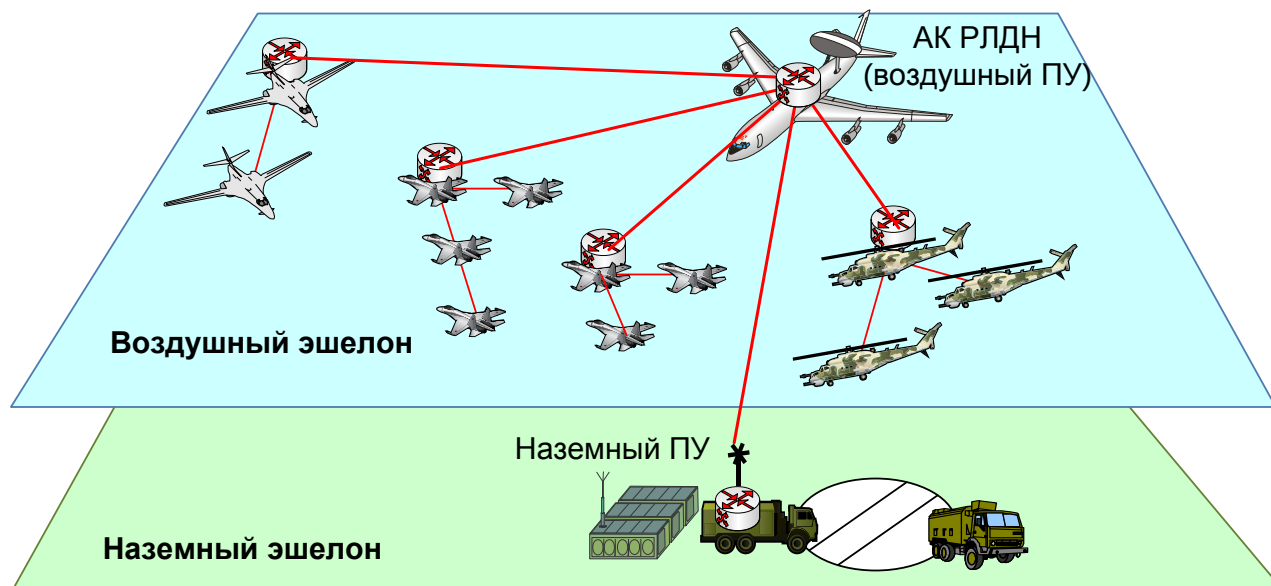


Рис. 1. Использование АК РЛДН для управления авиацией

Режимы, включенные в группы «воздух – воздух» и «воздух – поверхность» [3, 4]:

- обнаружение – позволяет получить данные о воздушной и наземной обстановке, выполнить государственное опознавание по критерию «свой – чужой»;
- сопровождение – ранжирование целей по степени их важности и формирование оценок координат их состояния, используемых для формирования управления наводимыми ЛА и БПЛА;
- управление ЛА в рамках решаемых оперативных и тактических задач.

Основными преимуществами АК РЛДН по сравнению с наземными АСУ управления боевой авиации являются его потенциально высокие характеристики обнаружения малоразмерных и маловысотных воздушных, наземных и морских целей и возможность оперативного создания адаптивно перемещаемых в заданных областях пространства подвижных полей информации и управления. Вследствие этого АК РЛДН имеет определенные преимущества перед наземными ПУ по обеспечиваемым рубежам ввода в бой самолетов, особенно на предельно малых высотах.

Важнейшие задачи АК РЛДН — информационное обеспечение боевых действий и управление ЛА, среди которых, прежде всего, нужно выделить задачи, условно объединенные в группы работы по воздушным целям, наземным объектам и с сопрягаемыми летательными аппаратами. При этом под сопрягаемыми ЛА понимают истребители прикрытия, ведомые АК РЛДН, самолеты-заправщики, ретрансляторы воздушного базирования и т. д.

Управление авиацией при наведении ее на воздушные цели

Для управления наведением авиации на воздушные цели в АК РЛДН закладывается совокупность алгоритмов, реализующих методы наведения управляемых ЛА. Из этих методов можно выделить как традиционные методы [1, 3] погони, маневра и перехвата, так и некоторые новые.

Методы наведения групп ЛА реализуются посредством управления ЛА командиров групп, которые взаимодействуют с ведомыми ЛА группы посредством телекодовой связи [1]. Методы наведения сверхманевренных и гиперзвуковых ЛА (ГЗЛА) – это набор новых методов, в которых, учитываются относительное ускорение целей и наводимых ЛА [5]. Такой учет потребует использования в информационных режимах бортовых радиолокационных станций (БРЛС) и оптико-электронных системах (ОЭС) алгоритмов обнаружения маневров и оценивания вторых производных отслеживаемых координат. Кроме того, необходимость надежного сопровождения ГЗЛА приводят к необходимости принятия мер по расширению диапазона скоростей и ускорений, более устойчивой работы систем сопровождения целей и уменьшению временных интервалов обращения к ним.

Использование методов управления повышенной скрытности обусловлено требованиями повышения боевой эффективности и живучести. Для решения задач скрытого управления могут быть использованы различные приемы как однопозиционного, так и многопозиционного наведения с применением полупассивных и пассивных режимов работы систем радиосвязи. Кроме того, могут быть использованы и специальные приемы повышения скрытности передачи команд управления на наводимые ЛА.

Существенное возрастание номенклатуры воздушных радиоизлучающих целей, включая постановщики помех в виде специализированных авиационных комплексов РЭБ [6], определяют необходимость использования в АК РЛДН специальных методов наведения на воздушные источники радиоизлучений (ИРИ), учитывающих особенности их перемещения в пространстве. Следует отметить, что при перехвате движущихся ИРИ могут быть использованы как однопозиционные, так и многопозиционные системы наведения. Однако, для всеракурсного перехвата движущихся воздушных объектов необходимо иметь достаточно точные оценки дальности и скорости, что является непростой задачей в условиях, когда в пассивном режиме измеряются только угловые координаты ИРИ. Использование однопозиционных приемов наведения требует выполнения достаточно длительного маневра наводимого самолета и не позволяет получить высокую точность оценивания дальности и скорости. Более эффективным является использование методов многопозиционного (как правило, двухпозиционного) наведения, дающих возможность практически мгновенно сформировать более точные оценки дальности и скорости. Необходимо отметить, что для повышения точности оценивания дальности и скорости один или оба носителя должны выполнять специальный маневр [3].

Методы траекторного управления наблюдением направлены не только на решение основных задач перехвата, но и на получение траекторий, обеспечи-

вающих наилучшие условия для функционирования информационных систем. Это позволяет улучшить показатели эффективности системы наведения АК РЛДН практически без улучшения тактических и технических показателей БРЛС и ОЭС. Следует отметить, что использование методов многопозиционного наведения, давая существенное улучшение показателей эффективности, живучести и информативности, приводит к значительному усложнению алгоритмов управления. Это усложнение обусловлено появлением еще одного более высокого иерархического управленческого уровня, а также усложнением процедур взаимной синхронизации и обмена информацией. Кроме того, использование многопозиционных систем наведения приводит к значительному ухудшению показателей экономичности, поскольку требует, как минимум, удвоенного расхода топлива и ресурса носителей и информационных систем.

Как показал опыт боевого применения авиации в локальных войнах [7] при управлении авиацией необходимо учитывать зоны барражирования истребительной авиации противника, зоны его противовоздушной обороны (ПВО) и применения им средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Одним из способов устранения данных угроз является использование метода обхода зон тактического превосходства противника. Суть этого метода состоит в заблаговременном обходе областей пространства, в которых ЛА могут быть обнаружены средствами противника, превосходящего по летно-техническим характеристикам самолетов или оружия. Следует подчеркнуть, что для использования этого приема необходимо иметь неизлучающие пассивные средства обнаружения большой дальности и достоверные алгоритмы идентификации обнаруженных целей, вплоть до их типа [3].

Спецификой методов наведения ЛА на групповые цели является необходимость получения информации о пространственных размерах группы. При наличии такой информации наведение самолетов осуществляется на головную часть группы, а наведение средств поражения – на геометрический или энергетический центр группы. Для высокоточного индивидуального наведения используется траекторное управление наблюдением, обеспечивающего разрешение целей в плотной группе [8].

Перспективным, но достаточно сложным приемом повышения эффективности наведения является использование метода смешанного наведения, базирующегося как на командах, поступающих от АК РЛДН, так и на сигналах управления, формируемых на самом наводимом самолете с использованием своих информационных средств. Сложность такого приема состоит в необходимости применения универсального метода наведения, инвариантного к пространственному положению источников информации.

Управление авиацией при наведении ее на наземные цели

Система наведения на наземные цели реализованная в АК РЛДН представляет совокупность методов управления ЛА в процессе их наведения на наземные объекты. В общем случае наводимыми ЛА могут быть самолеты-

штурмовики, фронтовые и дальние бомбардировщики и многофункциональные истребители при работе по наземным целям, а также ударные БПЛА [9].

Управление этими ЛА осуществляется в процессе их полета по маршруту в район цели и далее непосредственно в область применения средств поражения.

При управлении ЛА на маршруте используются в основном смешанные методы. Суть этих методов состоит в том, что в процессе полета команды управления формируются на самих ЛА в соответствии с тем или иным методом автономного наведения. Из этих методов получили наибольшее распространение – маршрутный, курсовой и путевой [10]. Маршрутный метод наведения выполняется по жестко фиксированной траектории полета, намечаемой заранее до полета. Управление при этом сводится к регистрации отклонений от программной траектории и их устранению. Суть курсового метода состоит в совмещении продольной оси наводимого ЛА с направлением на цель. При использовании путевого метода с направлением на цель совмещается вектор путевой скорости управляемого самолета.

Управляющая роль АК РЛДН как воздушного пункта управления сводится к периодической передаче на борт, наводимых ЛА, корректирующих команд или передаче команд на изменение маршрута при наведении на новые цели или при выявлении опасных зон, обусловленных обнаружением систем ПВО противника.

Необходимо отметить, что появление высокоскоростных надводных и наземных целей (суда на воздушной подушке, катера, автомобили на автобанах, высокоскоростные поезда) предопределяет использование более сложных законов наведения, практически не отличающихся от методов наведения на воздушные цели.

Отдельный специфический режим управления АК РЛДН ракетами большой дальности основан на формировании для этих ракет команд радиокоррекции, особенно при их наведении на движущиеся корабли. Следует отметить, что команды радиокоррекции для таких ракет могут передаваться через управляемый ЛА и на этапе его самонаведения, при котором, как правило, используются разновидности метода последовательных упреждений [3]. При этом методе в процессе формирования сигналов управления используются взвешенные ошибки наведения по бортовым пеленгам цели и угловой скорости линии визирования. Последнее позволяет учесть влияние бокового ветра и движение цели.

Процедура передачи команд с АК РЛДН на борт самонаводящегося бомбардировщика особенно актуальна в условиях применения против него БРЛС активных помех [3, 6].

Методы наведения групп ударных самолетов, как и при наведении на воздушные цели, сводятся к управлению самолетом командира группы.

Спецификой управления ударными БПЛА является передача на их борт команд целеуказания информационным системам, а также контроль правильности «захвата» ими нужной цели. Это дает возможность по полученному от них на борт АК РЛДН телевизионному или радиолокационному изображению цели сформировать и передать на борт БПЛА команды управления. В наиболее про-

стом варианте для решения этих задач могут быть использованы трехточечные методы наведения [10], учитывающие динамику взаимного перемещения пункта управления, наводимого ЛА и цели.

Методы наведения повышенной скрытности базируются на тех же принципах, что и при наведении на воздушные цели. Наиболее рациональным является использование методов пассивной локации, как при однопозиционном, так и многопозиционном наведении.

Спецификой методов наведения на наземные ИРИ, отличающей их от типовых методов, является необходимость наведения на движущиеся излучатели, размещаемые не только на кораблях, но и на мобильных наземных РЛС, работающих в движении. Особенностью использования методов многопозиционного наведения является возможность применения полуактивных режимов работы, при которых первичным источником информации являются сигналы подсвета, излучаемые АК РЛДН и отражаемые целью.

Такой способ актуален при управлении высокоточными средствами поражения, использующими синтезирование апертуры антенны. В перспективе полуактивный режим может быть использован и при маловысотном полете.

Большие информационные возможности АК РЛДН и наличие протоколов обмена информацией с большинством сопрягаемых наземных ПУ предопределяет их использование в качестве базовых элементов единой сетевой системы управления авиацией на необорудованном театре военных действий (ТВД). В составе такой сети, кроме своих обычных задач, АК РЛДН должны обеспечивать наземные и корабельные системы ПВО целеуказаниями по загоризонтным целям. Перспективными режимами АК РЛДН являются режимы совместной работы не только с наводимыми ЛА, но и с космическими, наземными и корабельными РЛС в полуактивных и пассивных режимах [3].

Практическое решение задач информационного сопряжения продемонстрировали АК РЛДН в ходе операции ВКС России в Сирии. АК РЛДН А-50 действуя с авиабазы «Хмеймим» обеспечивал обнаружение наземных ИРИ, наведение на наземные цели самолетов фронтовой авиации, а также информационную поддержку пусков высокоточного оружия (ВТО) из акватории Средиземного моря корабельной группировкой России.

Система командного наведения АК РЛДН и его роль при организации одиночных и групповых действий авиации

Система командного радиоуправления – это совокупность функционально связанных подсистем (устройств), предназначенных для наведения ЛА по командам, формируемым на пункте управления и передаваемым на борт управляемого объекта с помощью радиолинии [11].

Система наведения истребителей с АК РЛДН представляет собой одну из наиболее сложных разновидностей систем командного радиоуправления (КРУ). В современных АК РЛДН командное наведение выполняет следующие функции [1].

1. Дежурство истребителей в воздухе.
2. Наведение истребителей на все типы воздушных целей из положения дежурства на аэродроме и в воздухе.
3. Проводка истребителей по маршруту при их действиях по наземным (морским) целям.
4. Проводка истребителей по маршруту для расчистки воздушного пространства и блокирования аэродромов противника.
5. Вывод на назначенный рубеж для последующего сопровождения самолетов других родов авиации.
6. Вывод самолетов к топливозаправщику.
7. Привод на аэродром посадки.
8. Организация приема/передачи управления.

Решение всех функциональных задач системы командного наведения обеспечивается в процессе совместной работы информационно-управляющих систем АК РЛДН и управляемых самолетов.

В общем случае, в АК РЛДН используются следующие режимы наведения [3]:

- командное наведение;
- командное наведение с координатной поддержкой;
- полуавтономные действия.

Командное наведение самолетом осуществляется путем выдачи на его борт команд наведения и целеуказания, сформированных на ПУ, при наличии на нем регулярной информации о целях и самолете.

Командное наведение с координатной поддержкой наряду с командами наведения и целеуказания предусматривает периодическую передачу на борт самолета информации о координатах цели, что позволяет в любой момент перейти к таким способам выхода в боевое соприкосновение, как бортовое наведение или бортовой поиск. Последние иногда рассматриваются как разновидности обобщенного способа выхода в боевое соприкосновение, называемого бортовым управлением и используемого при полуавтономных действиях истребителей.

Режим полуавтономных действий используется для наведения одиночных и групп истребителей в автоматизированных системах управления, при которых задачи поиска, наведения и атаки решаются их бортовыми средствами управления по информации, поступающей от внешних источников.

Возможность осуществления полуавтономных действий истребителей обеспечивается их бортовой вычислительной системой, по регулярной и прерывистой информации о координатах и параметрах движения целей, передаваемой по командной радиолнии управления с АК РЛДН. В этом режиме летчик может самостоятельно решать задачу управления самолетом для вывода в район обнаружения и атаки воздушного противника. Различают следующие режимы полуавтономных действий [3]:

- бортовое наведение;
- бортовой поиск.

Следует иметь в виду, что при таких режимах управления (бортовое наведение, бортовой поиск) команды наведения для истребителя на ПУ не формируются. При бортовом наведении информация координатной поддержки выдается ПУ с темпом, позволяющим истребителю устойчиво выходить в область атак цели. Бортовое наведение, как правило, используется для действий ударных групп.

Бортовой поиск используется при наличии на АК РЛДН разовой прерывистой, либо априорной информации о цели, по которой нельзя реализовать командное и бортовое наведение. Кроме того, в случае длительного прекращения поступления на борт информации при командном и бортовом наведении истребитель автоматически переключается на бортовой поиск, используя принятые ранее и сохраненные координаты. При этом аппаратура истребителя осуществляет экстраполяцию положения цели на текущий момент времени по последним данным координатной поддержки. В случае возобновления передачи на борт истребителя соответствующей информации имеется возможность «вернуться» к управлению по командам или по информации, передаваемой через КРУ.

Бортовой поиск характерен для действий поисковых групп и реализуется в результате совместного поиска цели бортовыми РЛС группы в боевом порядке, обеспечивающем наибольшую зону просматриваемого пространства и необходимое взаимное перекрытие зон обзора РЛС. Обнаружив цель, ведущий группы организует боевые действия группы по ее уничтожению.

Групповые действия направлены на решение какой-либо общей боевой задачи группой из нескольких истребителей. Групповые действия обеспечиваются наличием на борту аппаратуры автоматизированного обмена информацией между самолетами группы и ее отображения на специальных индикаторах. Это позволяет использовать в АК РЛДН один канал наведения для управления группой, передавая команды и информацию о координатах цели и тактической обстановке на борт ведущего группы. В свою очередь, ведущий самостоятельно управляет своей группой, осуществляя координацию действий всех ее экипажей.

Группа истребителей может вести боевые действия одним из трех способов [3]:

- 1) путем командного управления с АК РЛДН;
- 2) полуавтономно;
- 3) автономно.

Командное управление с АК РЛДН предполагает движение ведущего истребителя группы в соответствии с передаваемыми ему командами. Остальные истребители группы, получая и выполняя те же команды или выполняя команды ведущего, выдерживают определенный боевой порядок.

Полуавтономные действия состоят в том, что непосредственные команды управления движением истребителей формируются ведущим группы на основании информации, передаваемой с АК РЛДН.

Автономные действия группы осуществляются без какого-либо участия пункта наведения, а только по командам ведущего.

Методы наведения, используемые в АК РЛДН для управления авиацией

Рассмотрим более подробно методы наведения, используемые в АК РЛДН для управления истребителями, особенности функционирования системы наведения в различных режимах, принципы построения и особенности функционирования командных радиолиний управления.

Методы наведения истребителей с АК РЛДН на воздушные цели должны обеспечивать формирование такой требуемой траектории, наведение по которой обеспечивает вывод ЛА к определенному времени в зону уверенного захвата цели хотя бы одной из визирных систем (БРЛС, ОЭС, оптическим прицелом и т. д.).

В связи с тем, что на этапе дальнего наведения самолет управляется по курсу, высоте и скорости [10], различают и соответствующие методы наведения.

Методы наведения по высоте определяют формирование требуемых значений высоты для любого момента времени, обеспечивающих желаемый профиль полета в вертикальной плоскости.

Методы наведения по курсу предопределяют формирование требуемых значений курса, обуславливающих желаемую траекторию наведения в горизонтальной плоскости.

Методы наведения по скорости обуславливают вычисление требуемых значений скорости, гарантирующих выход истребителя в район цели к заданному времени.

В качестве наиболее простого и надежного метода наведения в горизонтальной плоскости оправданно использовать метод перехвата, целесообразный во всех случаях, когда нет жестких ограничений на ракурс атаки цели.

Метод погони (прямой метод) используется при наведении в заднюю полусферу и соответствующих взаимных положениях истребителя и цели или в начале наведения, когда еще отсутствуют устойчивые оценки параметров движения цели. Во всех остальных случаях применяется метод маневра.

При методе маневра для истребителей старых типов, как правило, назначается атака из задней полусферы.

Формирование пространственной траектории самолета обеспечивается соответствующими алгоритмами наведения. При расчете профиля полета используются характеристики полета по базовой программе набора высоты, скорости и характеристики схода с нее. В расчетные формулы входят путь, время и топливо, необходимые для выполнения рассматриваемого элемента профиля, а также секундные расходы топлива при различных режимах работы двигателей. В алгоритмах также используются характеристики БРЛС истребителя и характеристики ракет.

Координированное наведение имеет место при одновременном наведении группы истребителей на воздушные, особенно групповые цели. Координация процедур наведения на цель различных групп ЛА должна обеспечить их одновременный вывод в заданные районы относительно цели на заданные расстоя-

ния и под заданными углами к траектории движения поражаемых объектов. При этом целесообразно обеспечивать вывод наводимых групп ЛА с различных сторон. Наиболее приемлемым способом координированного наведения считается наведение трех групп истребителей, одна из которых выводится в зону атаки под ракурсом близким к нулю.

При выходе истребителя в боевое соприкосновение в режиме бортового наведения на его борт выдается только регулярная координатная поддержка по сопровождаемой цели. Сближение с целью, и последующая атака выполняются истребителем самостоятельно.

Управление БПЛА с АК РЛДН

Одним из направлений повышения эффективности воздушной разведки, особенно в зонах повышенной опасности, является организация с АК РЛДН управления БПЛА предназначенных для обнаружения и распознавания наземных целей [12]. При этом наиболее простым является вариант боевого применения БПЛА, предусматривающий выполнение двух этапов.

Этап 1 – взлет и полет БПЛА по маршруту. Маршрут полета формируется на борту БПЛА по введенной перед взлетом информации о маршрутных точках полета. При этом взлет и полет БПЛА осуществляются по определенной программе. Аналогично осуществляется и посадка БПЛА.

Этап 2 – боевое применение БПЛА. Когда БПЛА находится в зоне предполагаемого боевого применения, управление им берет оператор, находящийся на АК РЛДН. После этого БПЛА могут совершать полет по задаваемой оператором программе или находиться под его непосредственным управлением.

При использовании ударных БПЛА, предназначенных для уничтожения наземных объектов в зонах повышенной опасности или на больших удалениях от АК РЛДН, скорее всего, будут применяться несколько вариантов управления.

При использовании первого варианта ударный БПЛА пускает ракеты «воздух – земля» (или сбрасывает бомбы), автоматически наводящиеся на цели в соответствии с командами целеуказания, поступающими от АК РЛДН.

При втором варианте управление запущенными ракетами осуществляет штурман наведения АК РЛДН, используя трехточечный метод, в соответствии с которым линия визирования ракета-цель должна совмещаться с линией визирования БПЛА-цель.

Возможен и третий вариант управления БПЛА, при котором он используется в качестве средства поражения (так называемый режим «камикадзе»).

Особенности управления группой БПЛА с АК РЛДН

Использование групповых средств, как для нападения, так и защиты является одной из особенностей ведения современных боевых действий. Следует подчеркнуть, что групповое использование различных видов ЛА, обеспечивая существенные преимущества по сравнению с одиночным применением, вместе

с тем в значительной мере усложняет процедуру группового управления и информационного обеспечения.

Преимуществами группового применения БПЛА являются [3]:

1. Сложность обнаружения, разрешения и оценки количественного состава и сопровождения для средств противоборствующей стороны, особенно при использовании группы БПЛА в виде «роя».
2. Возможность организации совместной обработки информации в группе, обеспечивающей повышение информативности и живучести.
3. Расширение объема и площади информационно-управляющего покрытия.

Факторы, характеризующие сложность группового применения БПЛА [3]:

1. Появление еще одного более высокого иерархического уровня управления, обеспечивающего реализацию целевого назначения группы.
2. Сложность управления информационными потоками внутри группы.
3. Сложность формулирования коллективного интереса, который должны реализовать системы управления и информационного обеспечения каждого участника группы.
4. Сложность ранжирования целей в группе по степени важности.
5. Сложность целераспределения как в группах наведения, так и защиты.

При этом сложность, характерная для одной и противостоящих групп, автоматически становится преимуществом для другой стороны.

Общая проблема группового применения средств нападения и защиты – высокие требования к производительности вычислителей, рассчитывающих алгоритмы траекторного управления и их информационного обеспечения. Эти требования обусловлены значительным увеличением размерности обобщенного вектора состояния группы, что вследствие «проклятия размерности» приводит к неадекватно большому возрастанию размерности решения задачи синтеза управления и фильтрации [13].

Разработка принципиально нового математического аппарата оптимизации высокоразмерных систем, обеспечивающего синтез управляющих сигналов в рамках разумных требований к вычислительной производительности, весьма проблематична. Более рациональным оказывается подход, основанный на использовании разновидностей классической теории оптимизации для декомпозированных обобщенных моделей состояния [3].

Наиболее простым вариантом такой декомпозиции является разбиение обобщенного вектора состояния группы на подвекторы, определяющие состояние отдельного элемента группы с учетом состояния других элементов. Этот подход дает возможность перейти от одновременного управления всей группой к последовательному во времени управлению отдельными элементами, с учетом состояния других участников группы [3].

Еще один подход основан на переходе к иерархическому управлению отдельными элементами – лидерами, которые, в свою очередь, управляют лидерами групп более низкого уровня и т. д.

Таким образом, способами управления группами БПЛА могут быть [14]:

- *централизованное управление*, при котором все команды, передаваемые на БПЛА, формируются на ПУ (наземном или воздушном).
- *децентрализованное управление*, при котором индивидуальные команды для каждого БПЛА формируются внутри группы, обеспечивая достижение общей цели.
- *управление ведущими*, при котором на ПУ формируются команды управления отдельными ведущими БПЛА (ведущими групп), каждый из которых, в свою очередь, управляет несколькими ведомыми БПЛА.

Отличительной особенностью групповых действий БПЛА является то, что при обеспечении заданной пространственной конфигурации группы управление конкретным БПЛА (его позицией) зависит не только от его собственного состояния, но и от пространственного положения других БПЛА группы. В связи с этим, важное значение имеет решение задачи построения заданной пространственной конфигурации группы БЛА за заданное (минимальное) время [15].

Многовариантность описания процедур траекторного управления конфигурацией группы БПЛА приводит к чрезвычайному разнообразию используемых методов синтеза законов управления. Выбор метода синтеза управления группами БПЛА обусловлен как формой описания математической модели отдельных элементов, так и классом управлений, получаемых в процессе синтеза. Анализ различных подходов к синтезу управления [16, 17] показал, что весьма перспективным направлением в решении задачи построения требуемой топологии группы БПЛА является использование математического аппарата концепции обратных задач динамики [17], который позволяет сформировать достаточно простые законы управления для широкого класса моделей состояния, включая и нелинейные, что характерно для описания пространственных эволюций БПЛА.

Иерархическое управление группой БПЛА

Одним из способов уменьшения размерности задачи группового управления БПЛА является использование иерархического подхода к ее решению [18]. В рамках такого подхода БПЛА разбиваются на подгруппы, в которых выделяется ведущий БПЛА (лидер). Затем подгруппы разбиваются на более мелкие части с выделением «своих» ведущих БПЛА и т. д. Управление всей группой и внутри нее осуществляется ступенчато от ведущего БПЛА верхней подгруппы к ведущим БПЛА нижней подгруппы.

Преимущества такого управления [3]:

- относительная вычислительная простота решения задачи управления из-за существенного снижения ее размерности;
- высокая живучесть сети управления, так как отказ (уничтожение одного из ведущих БПЛА) не приводит к полной потере управления, а если учесть возможность взаимозаменяемости ведущих БПЛА, то уничто-

жение одного или нескольких из них практически не ограничивает функциональные возможности всей группы.

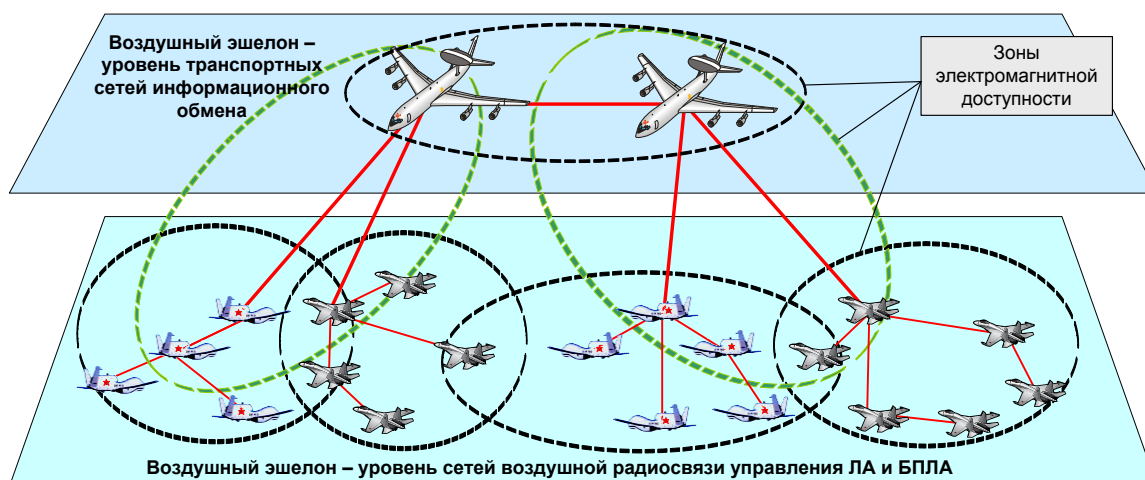


Рис. 2. Иерархическое управление ЛА и БПЛА с АК РЛДН

Отметим, что такое формальное представление системы управления в виде иерархической системы позволяет существенно уменьшить размерность задачи синтеза оптимального управления и упростить данную задачу [3].

Децентрализованное сетевое управление группой БПЛА

Кроме иерархического управления группой БПЛА возможны и другие различные способы [14, 19]. Одним из самых эффективных является управление группой БПЛА в составе сетецентрической системы [20-23].

При сетевом способе построения системы управления выполнение спланированных действий в процессе решения общей целевой задачи возлагается на бортовые системы управления БПЛА, которые одновременно корректируются оператором ПУ с помощью распределенной сети связи. Таким образом, оператор и группа БПЛА объединяются в единую информационную сеть, в которой всем ее участникам доступны информационные ресурсы друг друга, а отдельные БПЛА обладают определенной автономностью действий.

Воздействия оператора сводятся к постановке целевой задачи для группы и контролю за ходом ее выполнения. Все БПЛА поддерживают между собой связь и постоянно обмениваются информацией.

Основным принципом сетецентризма является возможность для любого элемента системы получать информацию от любого другого элемента. Преимуществами такой сетевых системы управления группой БПЛА по сравнению с другими способами реализации совместных действий является следующее [20-23]:

- решение задачи планирования и управления групповыми действиями всех БПЛА может осуществляться параллельно во времени для всех элементов группы;

- возможность оперативного создания и реконфигурации БПЛА различных типов (ударных, разведывательных, БПЛА-ретрансляторов и т. д.) в группы различного боевого назначения;
- высокая скрытность обмена данными по радиолиниям, так как расстояния между БПЛА в группе невелики и для обмена могут быть использованы сигналы с низкой энергетикой, а данные от оператора БПЛА принимают в пассивном режиме;
- высокая живучесть группы БПЛА, так как функции вышедших из строя участников могут быть оперативно перераспределены между оставшимися БПЛА.

Следует отметить, что теоретические и прикладные вопросы организации управления в таких децентрализованных сетевых системах проработаны в недостаточной степени, в том числе и потому, что отсутствуют методы синтеза алгоритмов управления отдельными объектами в процессе решения общей задачи [3].

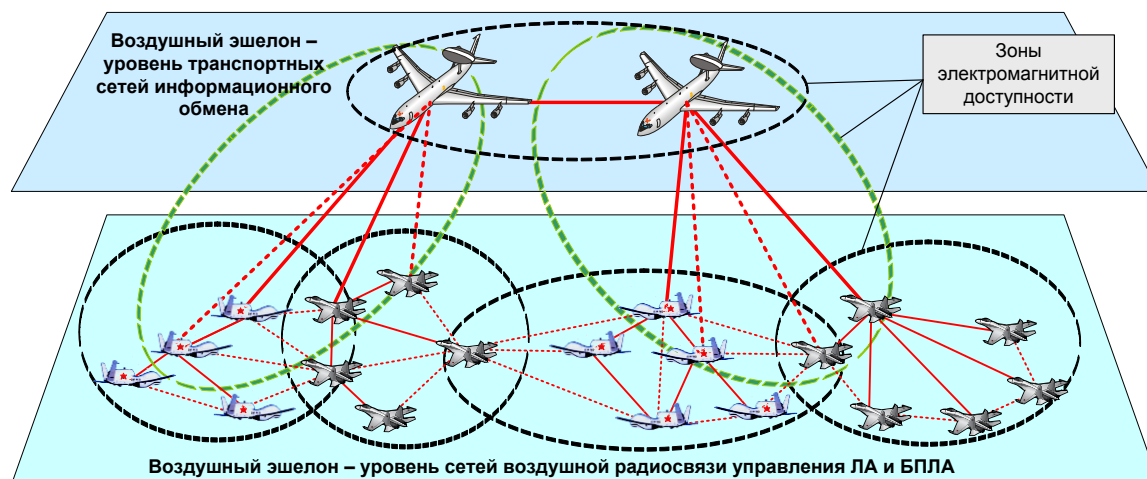


Рис. 3. Децентрализованное сетевое управление ЛА и БПЛА с АК РЛДН

Проблемные вопросы информационного обеспечения групповых действий БПЛА

Специфика групповых действий, как средств нападения, так и средств защиты, предопределяет необходимость информационного обмена между участниками группы и использования режима многоцелевого сопровождения с достоверной идентификацией измерений. Использование для этих целей комплексной обработки сигналов [24] на основе канонического алгоритма оптимального оценивания с одновременным приходом измерений от различных датчиков становится непродуктивным. Это обусловлено, прежде всего, неодновременностью прихода сигналов от разнородных датчиков как внутри одного БПЛА, так и от других БПЛА за счет изменения их взаимного расположения в пространстве. В связи с этим настоятельной необходимостью является разра-

ботка алгоритмов оптимального оценивания, инвариантных ко времени поступления измерений.

Другая особенность – необходимость в получении постоянной информации о пространственном положении как своих БПЛА, так и целей, что определяет использование режимов многоцелевого сопровождения. Особенностью такого сопровождения являются достаточно большие интервалы времени между поступлениями измерений от одной цели, достигающие нескольких секунд [25], в то время как целеуказания средствам поражения и сигналы управления носителем должны формироваться непрерывно.

Задача непрерывного формирования этих сигналов при дискретном поступлении измерений может быть решена в рамках математического аппарата аналого-дискретной фильтрации. Суть этого варианта фильтрации состоит в том, что экстраполяция оцениваемых координат осуществляется с малым шагом, приближаясь по своей точности к аналоговым алгоритмам, в то время как коррекция прогноза выполняется редкоприходящими измерениями.

Точность и устойчивость алгоритма аналого-дискретной фильтрации, как и других классических алгоритмов оценивания, зависит от соответствия условий функционирования тем моделям состояния, которые были положены в основу синтеза. Между тем, спецификой функционирования авиационных информационных систем, включая радиолокационные, является высокая степень неопределенности априорных сведений, обусловленная произвольным маневрированием целей, наличием различного рода радиопомех и т. д. В таких условиях классические алгоритмы оптимального оценивания функционируют с точностью, существенно худшей, чем это определяется уравнениями потенциальных апостериорных дисперсий ошибок фильтрации, или вообще теряют устойчивость вследствие расходимости процессов оценивания.

Перспективным направлением, позволяющим уменьшить влияние отмеченных недостатков, является использование алгоритмов адаптивной фильтрации [5, 26], позволяющих приспособить алгоритмы фильтрации к условиям функционирования путем изменения (усложнения) структуры фильтров или путем оценивания их параметров. К настоящему времени известно большое число процедур адаптации [5, 26]:

- процедуры совместного оценивания переменных состояния и параметров модели, положенной в основу синтеза;
- многоканальная адаптивная фильтрация;
- скользящие алгоритмы адаптации, основанные на регулировке параметров систем фильтрации.

Наиболее простые и чаще всего используемые на практике алгоритмы адаптации основаны на автоматической коррекции коэффициентов усиления невязки или на коррекции результатов прогноза [13].

При местоопределении и сопровождении маневрирующих целей обостряется проблема отождествления приходящих от них измерений. Существующие способы идентификации измерений [28], основанные на использовании стробов отождествления, не обеспечивают требуемую достоверность, разрешение и точность дальнейшего сопровождения. Суть этого способа состоит в том, что

относительно экстраполированного положения на момент прихода измерения строится пространственный строб по дальности, скорости и угловым координатам. Если сигнал, отраженный от цели, попадает внутрь этого stroba, то принимается решение об ее идентификации, в противном случае – нет.

При сопровождении интенсивно маневрирующих целей необходимо значительно увеличивать размеры стробов, что при групповых действиях может привести к их перекрытию и снижению достоверности отождествления.

В связи с этим нужно использовать более эффективные приемы идентификации, основанные на использовании экстремальных критериев на базе квадратичных функционалов, позволяющих учесть существенно большее количество признаков принадлежности полученных измерений конкретной цели.

Командная радиолиния управления – как основное средство управления авиацией с АК РЛДН

Основным средством для управления одиночными и групповыми действиями самолетов является технические средства радиосвязи реализующие командную радиолинию управления, посредством которой и осуществляется передача команд различного назначения на борт самолетов и их воспроизведение в них для решения задач траекторного управления, информационного обеспечения и управления аппаратурой управляемого ЛА.

В общем случае, на борт самолета передаются главные (функциональные) и разовые команды.

Главные команды (значения которых изменяются в процессе наведения) [3]:

- требуемый курс;
- требуемая скорость наводимого ЛА;
- скорость сближения;
- дальность до цели;
- высота полета;
- азимут;
- угол места цели;
- координаты перехватчика и др.

Среди разовых команд различают информационные, управляющие и команды взаимодействия.

Информационные команды (дают летчику представление о воздушной и наземной обстановке) [3]:

- разовая дальность до цели;
- полусфера атаки;
- перенацеливание;
- признак способа выхода в боевое соприкосновение;
- признак государственной принадлежности;
- признак поражаемого объекта (тип наземной цели: одиночная, групповая);
- число своих самолетов в группе и т.д.

Управляющие команды [3]:

- форсаж;
- разворот (вправо, прямо, влево);
- включение РЛС на излучение;
- номер программы полета в вертикальной плоскости;
- привод на аэродром и др.

Команды взаимодействия (передаются на борт наводимого ЛА перед переходом в зону ответственности другого ПУ) [3]:

- номер пункта наведения;
- номер новой волны;
- номер нового шифра и т.д.

В зависимости от конкретной ситуации вся передаваемая информация формируется в виде циклограмм (наборов команд), которые и передаются на борт управляемого объекта. В общем случае различные наборы команд используются для командного наведения на воздушные цели, для обеспечения координатной поддержки, привода на аэродром, передачи информации о тактической обстановке при полуавтономных действиях, передачи команд взаимодействия.

Набор любой команды формируется в виде цикла, содержащего несколько подциклов, в число которых могут входить сигналы кадровой (цикловой) и пословной (подцикловой) синхронизации, адрес (шифр) ЛА, для которого передается информация, признак номера команды и значения передаваемых команд в определенной последовательности.

В КРУ возможно засекречивание передаваемых команд, выполняемое по тем же процедурам, что и в технике радиосвязи.

При применении в КРУ передающей антенны с узкой диаграммой направленности повышается помехоустойчивость, скрытность и облегчается решение задачи электромагнитной совместимости. Ориентация передающей антенны КРУ в направлении объекта управления обеспечивается различными способами.

В системах командного радиоуправления истребителями передающая антенна КРУ может иметь очень узкую диаграмму направленности, что существенно затрудняет процесс передачи команд, так как перед его началом надо убедиться в возможности приема передаваемых команд наводимым истребителем. С этой целью КРУ сопрягается с системой активного запроса-ответа (САЗО) и, в частности, может иметь общую с ней передающую антенну. Для работы с конкретным истребителем САЗО получает целеуказание от ЭВМ пункта наведения. При нахождении истребителя в луче диаграммы направленности передающей антенны САЗО посылает сигнал запроса. В случае приема этого сигнала на борту истребителя ответчик последнего формирует ответный сигнал, который свидетельствует о возможности приема команд данным истребителем. Наряду с ответными сигналами по обратному каналу САЗО с истребителя может передаваться и различная другая информация [10].

Перспективные направления совершенствования командных радиолиний управления авиацией

Все основные показатели системы «АК РЛДН – ЛА (БПЛА)» зависят от совершенства информационного обмена в рамках этой системы. Можно иметь самые совершенные методы наведения и системы их информационного обеспечения, но при низких показателях надежности, скрытности и помехоустойчивости и при низкой скорости передачи информации по КРУ конечный результат наведения будет неэффективным. В связи с этим помимо развитию системы управления БПЛА первостепенное внимание необходимо уделить развитию соответствующей системы связи – командным радиолиниям управления.

Необходимо отметить, что при ведении групповых действий авиации в условиях РЭП значимость радиолиний возрастает еще больше, поскольку они должны обеспечивать не только автономное наведение индивидуальных ЛА, полуавтономные действия, координированное наведение, но и информационный обмен между собой для всех участников группы.

При этом выполнение согласованных групповых действий при взаимном удалении ЛА требует применения сетевых принципов информационного обмена как внутри группы, так и в АК РЛДН, который является не только центром управления, но и одновременно абонентом сети [3].

Сетевой информационный обмен в группе ЛА реализуется путем частотного, временного или кодового метода разделения абонентов радиосети [29].

Частотное разнесение (FDMA) при большом числе абонентов радиосети требует значительного частотного ресурса, который на сегодня отсутствует, а также наличия частотных защитных интервалов для исключения взаимного влияния каналов управления друг на друга.

В настоящее время наиболее распространено временное разделение абонентов (TDMA). Возможности этого метода [3]:

- исключение влияния каналов управления ЛА в группе друг на друга, так как они разнесены во времени;
- выделение большего количества временных слотов тем ЛА которые имеют более высокие требования к темпу информационного обеспечения при управлении;
- обеспечение жесткой взаимной синхронизации абонентов за счет единого времени радиосети;
- осуществление временной скрытности за счет применения методов пакетной передачи информации.

При этом анализ работ [30-34] показал, что наиболее эффективным является использование временного разделения абонентов на основе алгоритма случайного множественного доступа.

Перспективным методом разделения абонентов является метод кодового разделения CDMA, но его реализация требует применения большого числа взаимортогональных в широком смысле псевдослучайных кодовых последовательностей (ПСП). Число таких ПСП зависит от их длины, а увеличение этой длины приводит к задержкам доставки информации, т. е. налицо противоречие

– увеличение числа абонентов радиосети приводит к росту задержки доставки информации. Это противоречие разрешается применением квазиортогональных кодовых последовательностей, поскольку их значительно больше, чем взаимортогональных, и цифровых компенсаторов взаимного влияния каналов связи. Однако использование квазиортогональных кодовых последовательностей приводит к значительному аппаратному усложнению аппаратуры связи [3].

Оптимальное решение современных боевых задач требует не только огромного потока информации внутри радиосети, но и адаптивного управления скоростью информационного обмена на каждом участке наведения. До непосредственного выполнения этапа атаки достаточен темп обновления информации в 10 с. Однако на конечном этапе атаки темп обновления должен быть увеличен и составлять не более 1 с. Радиосети TDMA позволяет управлять темпом обновления информации индивидуально для каждого ЛА [32]. Если к каким-то абонентам радиосети необходимо более частое обращение, то в цикле их временные окна размещаются чаще, чем у абонентов с более низким темпом обновления информации.

Применение на АК РЛДН и ЛА антенн на базе АФАР с узкими электронно-управляемыми диаграммами, позволяет организовать для определенной группы выделенных абонентов радиосети, находящихся в раскрыве диаграммы направленности антенны, отдельный кластер и обеспечить в нем информационный обмен с максимально возможной для данного кластера скоростью, без уменьшения скорости информационного обмена в остальной части радиосети. При управлении от АК РЛДН индивидуальных ЛА таким же образом может быть реализован режим «точка-точка», при котором достигается максимально возможная скорость информационного обмена излучения [3].

Важным свойством системы управления ЛА является скрытность. Обычно различают пространственную, энергетическую и имитационную скрытность.

Пространственная скрытность обеспечивается применением узконаправленных антенн с электронным управлением диаграммой направленности при помощи, например, АФАР или адаптивной антенной решетки (ААР). Обнаружить факт их излучения на больших расстояниях можно только при ориентации основного луча на разведприемник на малых расстояниях по боковому или фоновому излучению, которое обычно ослаблено на 20-30 дБ. При быстром и особенно хаотичном переключении направлений излучения обнаружение становится еще более затруднительным. Применение ААР антенн, позволяющих формировать цифровым способом нули в диаграмме направленности, ориентированные на источники радиоэлектронного подавления, еще больше затрудняют обнаружение факта излучения [3].

Энергетическая скрытность обеспечивается применением сигналов с большой базой за счет использования методов расширения спектра излучения с целью снижения его спектральной плотности ниже уровня шумов. Обнаружение таких сигналов собственным приемником осуществляется автокорреляционным методом поиска по частоте и задержке известного по форме сигнала. Для приема таких сигналов используется метод согласованной фильтрации. Поскольку форма сигнала разведприемнику неизвестна, то он реализует его об-

наружение энергетически, а поскольку спектральная плотность такого сигнала меньше плотности шума, то обнаружение факта излучения становится серьезной проблемой. К сожалению, данный метод в двоичных системах применим только к низкоскоростным системам связи, поскольку при увеличении базы сигнала спектр излучения расширяется в пропорциональное количество раз по сравнению с информационной полосой. Для решения этой проблемы в высокоскоростных системах применяют m -ичные методы передачи, при которых расширяющие ПСП замещают не двоичный элемент, а m -ичный. Для повышения эффективности обнаружения таких сигналов разведприемником, применяют различные переборные методы определения формы расширяющей ПСП, что требует больше времени на обнаружение [3].

Имитационная скрытность обычно обеспечивается применением длинных расширяющих ПСП с нелинейной структурой или периодического изменения формы ПСП, что не позволяет определить структуру сигнала в произвольный момент времени. В радиосети для преобразования произвольного канала в канал с биномиальным распределением ошибок применяются различные виды перемежения кодовых символов в радиоканале, которые можно использовать для имитационной скрытности. Применение псевдослучайного закона перемежения, который изменяется в каждом временном окне по другому псевдослучайному закону, создает практическую невозможность вскрытия информации без знания этих законов и их временной привязки [3].

Включение в состав радиосети самого АК РЛДН, как элемента управления и источника координатной поддержки, позволяет осуществлять передачу команд управления и координаты каждому ЛА группы индивидуально, что существенно уменьшает задержки доставки информации и позволяет оператору АК РЛДН управлять каждым ЛА группы индивидуально и одновременно всей группой. Знание каждым ЛА своих координат и взаимный обмен ими позволяет осуществить взаимную ориентацию антенн каждого самолета друг на друга и на АК РЛДН [3].

Гарантированное закрытие информации на уровне источника обеспечивается программно-аппаратными средствами криптографической защиты информационного обмена, путем шифрования информации источника криптографическими ключами. Применение криптографической защиты обеспечивает техническое закрытие доступа к информации, циркулирующей в радиосети [3].

Применение режима радиоэлектронной защиты основано на псевдослучайном изменении параметров излучения, например, рабочей частоты, т. е. применении метода псевдослучайной перестройки рабочей частоты ППРЧ [35]. Используя очень длинную ПСП для формирования закона ППРЧ и уменьшая длительность использования каждой частоты, можно вынудить противника отказаться от вскрытия закона ППРЧ или постановки ретранслированной помехи вслед и перейти к более энергоемкой заградительной помехе.

Для повышения достоверности и скрытности информационного обмена необходимо решить, как минимум, две задачи [3]:

- 1) удостовериться, что это нужный абонент;

- 2) определить координаты нужного абонента для осуществления целенаправленной передачи и приема.

Для решения этих задач используются различные виды идентификации.

Идентификация ЛА по первичному признаку использует запросно-ответный метод «свой-чужой» с применением аппаратуры активного запроса и ответа (гос. опознавания). Совместное функционирование системы передачи команд (СПК) и системы активного запроса и ответа (САЗО) рассмотрены в [36]. Идентификация ЛА по вторичным признакам позволяет выполнить операцию отождествления путем сравнения координат и других параметров полета ЛА, измеренных АК РЛДН, с координатами, полученными от самих ЛА в результате радиосетевого информационного обмена. При этом для обеспечения надежности идентификации и требуемой степени доверия информации, получаемой от этих ЛА, учитываются результаты контроля качества каналов связи с каждым ЛА и вероятность подавления средствами РЭП линий и сетей радиосвязи [6, 33, 35, 37-39].

Взаимное опознавание ЛА на основе координатно-связного принципа основано на привязке каждого ЛА радиосети к текущему времени и к координатам таким образом, что ЛА будет находиться в каждый дискретный момент времени в ограниченной области пространственно временных координат. Далее алгоритмически, зная тактико-технические возможности ЛА и результаты информационного обмена с ним, вычисляется вероятность его нахождения в данной области пространства. Если эта вероятность больше некоторого порогового значения, то информация, поступающая от данного ЛА, считается достоверной с учетом качества канала связи и вероятности поражения его средствами РЭП [6]. Комплекс всех этих мер защиты информации позволяет с высокой степенью достоверности отличить свой ЛА от чужого ЛА, убедиться в его управляемости от своего АК РЛДН и в степени достоверности получаемой от него информации [3].

Для решения этих задач организации сетецентрического управления группой ЛА или БПЛА необходимо применение высокоскоростного внутригруппового информационного обмена внутри группы по принципу «каждый – с каждым». Такой информационный внутригрупповой обмен реализуется с помощью полносвязной радиосети. Полносвязная радиосеть информационного обмена за счет большой избыточности внутригрупповых связей позволяет обеспечить более высокую вероятность доставки информации абонентам такой радиосети, чем вероятность доставки сообщения между абонентами, не объединенными в радиосеть. Актуальность исследования полносвязных радиосетей заключается в оптимизации информационной загрузки радиосети и процесса информационного обмена в ней, а также оптимизации их топологии к условиям применения средств РЭП [6, 40, 41]. При этом наиболее перспективным способом построения полносвязной радиосети воздушного обмена, реализующего как сетецентрические принципы управления, так и устойчивый информационный обмен в условиях РЭП является применение Mesh-технологий [27, 42-44].

Как показано в работе [6] современные средства РЭП являются высокодинамичными и постоянно адаптируются под сложившуюся ситуацию. В таких условиях на АК РЛДН необходим постоянный контроль устойчивости радиосети в изменяющейся помеховой обстановке. В связи с непредсказуемостью радиоэлектронных атак противника система связи АК РЛДН должна в реальном времени находить зоны уверенной связи при всех видах информационного обмена, в том числе с ПУ, наилучшие с точки зрения обеспечения связи при выбранных траекториях барражирования АК РЛДН и полета ЛА в зону, выполнения боевых задач, а также участки поражения зон связи средствами РЭП, осуществлять прогноз качества каналов связи и выдавать рекомендации по адаптации системы связи к текущим условиям боевого применения ЛА и БПЛА при управлении ими с АК РЛДН [3].

Выводы

Основой современного подхода к управлению авиацией на неподготовленных, с точки зрения поля управления, ТВД за пределами территории РФ является АК РЛДН. Данный авиационный комплекс, используя в качестве воздушного ПУ, способен обеспечить различные способы боевого применения авиации и методы наведения на воздушные и наземные цели.

Дальнейшими направлениями развития системы управления на основе АК РЛДН является:

- совершенствование способов группового управления ЛА и БПЛА;
- совершенствование способов автономных и полуавтономных действий БПЛА на основе организации «интеллектуального роя»;
- совершенствование системы управления ЛА и БПЛА за счет перехода ее к сетевым принципам;
- совершенствование системы информационного обеспечения применения авиации за счет перехода от иерархических к децентрализованным радиосетям, построенным на основе Mesh-технологий.

Литература

1. Бабич В. К., Баханов Л. Е., Герасимов Г. П., Гиндранков В. В., Гришин В. К., Горощенко Л. Б., Зинич В. С., Карпеев В. И., Левитин В. Ф., Максимович В. А., Полушкин Ю. Ф., Слатин В. В., Федосов Е. А., Федунцов Б. Е., Широков Л. Е. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред. Е.А. Федосова. Монография. – М.: Дрофа, 2004. — 816 с.
2. Антонов Д. А., Бабич Р. М., Балыко Ю. П., Белоглазов И. Н., Бернинский Е. Я., Борисов Л. В., Виноградов С. М., Войтенко В. И., Герасимов А. А., Гузев Б. Н., Доценко А. В., Жеребин А. М., Зайцев А. В., Зинич В. С., Инсаров В. В., Кислицын В. А., Кичигин Г. Г., Колпаков К. М., Корниенко В. Н., Кравченко В. С., Кульчак М. Г., Махов Е. А., Немыченков И. В., Попов В. А., Пухов А. Л., Селезнев И. С., Сорокин Ю. Н., Топорков Н. В., Федосов Е. А., Червин В. И. Авиация ВВС России и научно-

технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 734 с.

3. Верба В. С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. Монография. – М.: Радиотехника, 2014. – 528 с.

4. Канащенков А. И., Меркулов В. И. Герасимов Л. А. и др. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. В 3 т. Том 1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Полиграфист. 2006. – 655 с.

5. Меркулов В. И., Канащенков А.И., Перов А. И., Саблин В. Н. Дрогалин В. В., Герасимов А. А., Горгонев Г. И., Лепин В. Н., Петров В. В., Самарин О. Ф., Сирота О. А., Харьков В. П. Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах Ч. 1 / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2004. – 312 с.

6. Макаренко С. И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетцентрических войнах начала XXI века. Монография. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2017. – 546 с.

7. Дрожжин А. И., Алтухов Е. В. Воздушные войны в Ираке и Югославии. – М.: Техника молодежи, 2002. – 80 с.

8. Меркулов В. И. Улучшение разрешающей способности бортовой РЛС по углу путем траекторного управления наблюдением // Радиотехника. 2003. № 1.

9. Ануфриев О. Н., Герасимов А. А., Меркулов В. И., Самарин О. Ф., Чернов В. С. Ударные беспилотные летательные аппараты и их радиолокационные системы // Успехи современной радиоэлектроники. 2007. № 7.

10. Меркулов В. И., Канащенков А. И., Чернов В. С., Дрогалин В. В., Антипов В. Н., Анцев Г. В., Кулабухов В. С., Лепин В. Н., Сарычев В. А., Саблин В. Н., Самарин О. Ф., Тупиков В. А., Турецкий Л. С., Харьков В. П. Авиационные системы радиоуправления. Том 3. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.

11. Меркулов В. И., Гандурин В. А., Дрогалин В. В. и др. Авиационные системы радиоуправления: учебник для военных и гражданских ВУЗов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2008.

12. Макаренко С. И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 73-132. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/04-Makarenko.pdf> (дата обращения: 16.10.2017).

13. Меркулов В. И., Дрогалин В. В., Канащенков А. И., Лепин В. Н., Самарин О. Ф., Соловьев А. А. Авиационные системы радиоуправления. Том 1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа /

Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.

14. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустин С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит. 2009. – 280 с.

15. Меркулов В. И., Харьков В. П. Формирование заданной конфигурации сложной распределенной системы управления // Радиотехника. 2011. № 6. С. 96-101.

16. Верба В. С., Капустин С. Г., Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимизация радиоэлектронных систем управления. Методы и алгоритмы синтеза оптимального управления. Часть 1. Классификация методов решения задачи оптимального управления. Метод динамического программирования. Принцип максимума Понтрягина // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 12. С. 3-16.

17. Верба В. С., Капустин С. Г., Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимизация радиоэлектронных систем управления. Методы и алгоритмы синтеза оптимального управления. Часть 2. Прикладные методы и алгоритмы теории оптимального управления // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11. № 3. С. 3-18.

18. Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимизация иерархического управления группой БЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 8. С. 61-67.

19. Гайдук А. Р., Капустин С. Г. Концепция построения систем коллективного управления беспилотными летательными аппаратами // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 7. С. 8-16.

20. Верба В. С., Поливанов С. С. Организация информационного обмена в сетевых боевых операциях // Радиотехника. 2009. № 8. С. 57-62.

21. Кондратьев А. Е. Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых концепций ведущих зарубежных стран // Военная мысль. – 2008. № 12. С. 63-74.

22. Кондратьев А. Е. Реализация концепции сетевых войн в ВВС США // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 5. С. 44-49.

23. Макаренко С. И., Бережнов А. Н. Перспективы использования сетевых технологий управления боевыми действиями и проблемы их внедрения в вооруженных силах Российской Федерации // Вестник Академии военных наук. 2011. № 4 (37). С. 64-68.

24. Ярлыков М. С., Богачев А. С., Меркулов В. И., Дрогалин В. В. Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 1. Теоретические основы / под ред. М.С. Ярлыкова. – М.: Радиотехника, 2012. – 504 с.

25. Антипов В. Н., Исаев С. А., Лавров А. А., Меркулов В. И. Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей. – М.: Воениздат, 1994.

26. Первачев С. Р., Перов А. И. Адаптивная фильтрация сообщений. М.: Радио и связь, 1991. – 160 с.

27. Аганесов А. В., Иванов М. С., Попов С. А., Шунулин А. В. Повышение пропускной способности сети воздушно-космической радиосвязи за счет использования Mesh-технологий в системах межсетевого обмена // Теория и техника радиосвязи. 2016. № 2. С. 12-16.
28. Меркулов В. Н., Дрогалин В. В., Канащенков А. Н., Богачев А. С., Забелин И. В., Лепин В. Н., Самарин О. Ф., Сарычев В. А., Соловьев А. А., Турнецкий Л. С., Чернов В. С., Шуклин А. И. Авиационные системы радиоуправления. Том 2. Радиоэлектронные системы самонаведения / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 391 с.
29. Макаренко С. И., Сапожников В. И., Захаренко Г. И., Федосеев В. Е. Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов / под общ. ред. С. И. Макаренко. – Воронеж: ВАИУ, 2011. – 285 с.
30. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Оценка эффективности сетей воздушной радиосвязи при использовании различных алгоритмов многостанционного доступа // Тезисы докладов научно-технической конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.
31. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Модели сетей радиосвязи, использующие различные алгоритмы множественного доступа // Тезисы докладов научно-технической конференции. – Калуга: ОАО «КНИИТМУ», 2002.
32. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.
33. Макаренко С. И. Исследование влияния преднамеренных помех на возможности по ретрансляции сообщения и показатели качества обслуживания канального уровня модели OSI для системы связи со случайным множественным доступом абонентов // Информационные технологии моделирования и управления, 2010, № 6 (65). С. 807-815.
34. Аганесов А. В. Модель сети воздушной радиосвязи на основе протокола случайного множественного доступа CSMA/CA // Системы управления, связи и безопасности. 2015. №1. С. 67-97. – URL: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-01/06-Aganesov.pdf> (дата обращения: 16.10.2017).
35. Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. СПб.: – Свое издательство, 2013. – 166 с.
36. Вербя В. С. Авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения как элемент сетецентрической информационно-управляющей системы // Радиотехника. 2014. №5. С. 15-20.
37. Макаренко С. И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния // Журнал радиоэлектроники. 2011. № 9. С. 2-2. - URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf> (дата обращения 03.10.2017).
38. Макаренко С. И. Оценка качества обслуживания пакетной радиосети в нестационарном режиме в условиях воздействия внешних дестабилизирующих

факторов / Журнал радиоэлектроники. 2012. № 6. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf> (дата обращения 03.10.2017).

39. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Новиков Е. А. Исследование канальных и сетевых параметров канала связи в условиях динамически изменяющейся сигнально-помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 10. С. 2. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (дата обращения 03.10.2017).

40. Михайлов Р. Л., Макаренко С. И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69-79.

41. Антонович П. И., Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Ушанев К. В. Перспективные способы деструктивного воздействия на системы военного управления в едином информационном пространстве // Вестник Академии военных наук. 2014. № 3(48). С. 93-101.

42. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Модель объединенной воздушно-космической сети связи с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потоков на основе Mesh-технологий // Инфокоммуникационные технологии. 2016. № 1. С. 7-16.

43. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Балансировка информационной нагрузки между воздушным и космическим сегментами объединенной воздушно-космической сети связи построенной на основе Mesh-технологий // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Том 7. № 1. С. 17-25.

44. Аганесов А. В., Иванов М. С., Попов С. А. Применение Mesh-технологий в системах межсетевого обмена с целью повышения пропускной способности каналов связи // Охрана, безопасность, связь. 2017. № 1-1. С. 196-203.

References

1. Babich V. K., Bakhanov L. E., Gerasimov G. P., Gindrankov V. V., Grishin V. K., Goroshchenko L. B., Zinich V. S., Karpeev V. I., Levitin V. F., Maksimovich V. A., Polushkin Iu. F., Slatin V. V., Fedosov E. A., Fedunov B. E., Shirokov L. E. *Aviatsiia PVO Rossii i nauchno-tekhnicheskii progress: boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra* [Air defense of Russia and scientific-technical progress: combat systems and system yesterday, today, tomorrow]. Moscow, Drofa Publ., 2004. 816 p. (in Russian).

2. Antonov D. A., Babich R. M., Balyko Iu. P., Beloglazov I. N., Berninskii E. Ia., Borisov L. V., Vinogradov S. M., Voitenko V. I., Gerasimov A. A., Guzeev B. N., Dotsenko A. V., Zherebin A. M., Zaitsev A. V., Zinich V. S., Insarov V. V., Kislitsyn V. A., Kichigin G. G., Kolpakov K. M., Kornienko V. N., Kravchenko V. S., Kul'chak M. G., Makhov E. A., Nemychenkov I. V., Popov V. A., Pukhov A. L., Seleznev I. S., Sorokin Iu. N., Toporkov N. V., Fedosov E. A., Chervin V. I. *Aviatsiia VVS Rossii i nauchno-tekhnicheskii progress. Boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra* [Aviation of the Russian air

force and scientific-technical progress. Combat systems and system yesterday, today, tomorrow]. Moscow, Drofa Publ., 2005. 734 p. (in Russian).

3. Verba V. S. *Aviatsionnye komplekсы radiolokatsionnogo dozora i navedeniia. Printsipy postroeniia, problemy razrabotki i osobennosti funktsionirovaniia. Monografiia* [Aircraft radar patrol and guidance. Principles, problems of development and peculiarities of functioning. Monograph]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2014. 528 p. (in Russian).

4. Kanashchenkov A. I., Merkulov V. I., Gerasimov L. A. and etc. *Radiolokatsionnye sistemy mnogofunktsional'nykh samoletov. Tom 1. RLS – informatsionnaia osnova boevykh deistvii mnogofunktsional'nykh samoletov. Sistemy i algoritmy pervichnoi obrabotki radiolokatsionnykh signalov* [The radar system of multifunctional aircraft. In 3 volumes. Volume 1. Radar – information-based fighting multifunctional aircraft. Systems and algorithms for primary processing of radar signals]. Moscow, Poligrafist Publ., 2006. 655 p. (in Russian).

5. Merkulov V. I., Kanashchenkov A. I., Perov A. I., Sablin V. N., Drogalin V. V., Gerasimov A. A., Gorgonov G. I., Lepin V. N., Petrov V. V., Samarin O. F., Sirota O. A., Khar'kov V. P. *Otsenivanie dal'nosti i skorosti v radiolokatsionnykh sistemakh Ch. 1* [Estimation of range and speed in radar systems, Part 1]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 312 p. (in Russian).

6. Makarenko S. I. *Informatsionnoe protivoborstvo i radioelektronnaia borba v setetsentrisheskikh voinakh nachala XXI veka. Monografiia* [Information warfare and electronic warfare to network-centric wars of the early XXI century. Monograph]. Saint Petersburg, Naukoemkie Tekhnologii Publ., 2017. 546 p. (in Russian).

7. Drozhzhin A. I., Altukhov E. V. *Vozdushnye voyny v Irake i Iugoslavii* [Air war in Iraq and Yugoslavia]. Moscow, Tekhnika molodezhi Publ., 2002. 80 p. (in Russian).

8. Merkulov V. I. *Uluchshenie razreshaiushchei sposobnosti bortovoi RLS po uglu putem traektorного upravleniia nabliudeniem* [Improving the resolution of the onboard radar in the corner by trajectory control monitoring]. *Radiotekhnika*, 2003, no. 1 (in Russian).

9. Anufriev O. N., Gerasimov A. A., Merkulov V. I., Samarin O. F., Chernov V. S. *Udarные беспилотные летательные аппараты i ikh radiolokatsionnye sistemy* [Percussion unmanned aerial vehicles and radar systems]. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2007, no. 7 (in Russian).

10. Merkulov V. I., Konashenkov A. I., Chernov V. S., Dragalin V. V., Antipov V. N., Antsev G. V., Kulabukhov V. S., Lepin V. N., Sarychev V. A., Sablin V. N., Samarin O. F., Tupikov V. A., Turnetskii L. S., Khar'kov V. P. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia. Tom 3. Sistemy komandnogo radioupravleniia. Avtonomnye i kombinirovannye sistemy navedeniia* [Aviation radio system. Volume 3. Command radio control. Autonomous and combined guidance system]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 320 p. (in Russian).

11. Merkulov V. I., Gandurin V. A., Drogalin V. V. and etc. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia* [Aircraft systems control]. Moscow, Air force engineering Academy named after Professor N.E. Zhukovskogo, 2008.

12. Makarenko S. I. Military Robots – the Current State and Prospects of Improvement. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 2, pp. 73-132. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/04-Makarenko.pdf> (accessed 16 October 2017) (in Russian).

13. Merkulov V. N., Drogalin V. V., Kanashchenkov A. N., Lepin V. N., Samarin O. F., Solov'ev A. A. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia. Tom 1. Printsipy postroeniia sistem radioupravleniia. Osnovy sinteza i analiza* [Aviation radio system. Volume 1. Principles of systems radioupravlenie. Fundamentals of synthesis and analysis]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2003. 192 p. (in Russian).

14. Kalyayev I. A., Gaiduk A. R., Kapustin S. G. *Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniia v gruppakh robotov* [Models and algorithms of collective control in groups of robots]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009. 280 p. (in Russian).

15. Kharkov V. P., Merkulov V. I. Formation of Specific Spatial Configuration of Complex Distributed Control System. *Radiotekhnika*, 2011, no. 6, pp. 96-101 (in Russian).

16. Verba V. S., Kapustyan S. G., Merkulov V. I., Khar'kov V. P. Optimisation of radio-electronic control systems. Synthesis of optimal control Classification of method of solution of optimal control problem. Dynamic programming. Pontryagin's maximum principle. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2012, vol. 10, no. 12, pp. 3-16 (in Russian).

17. Verba V. S., Kapustyan S. G., Merkulov V. I., Khar'kov V. P. Optimisation of radio-electronic control systems. Synthesis of optimal control. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 3-18 (in Russian).

18. Kharkov V. P., Merkulov V. I. Synthesis of an algorithm of hierarchical control of UAVs group. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2012, vol. 10, no. 8, pp. 61-67 (in Russian).

19. Gaiduk A. R., Kapustyan S. G. Conceptual aspects of group application of unmanned aerial vehicles. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2012, vol. 10, no. 7, pp. 8-16 (in Russian).

20. Verba V. S., Polivanov S. S. Organizatsiia informatsionnogo obmena v setetsentricheskikh boevykh operatsiiakh [Organization of information exchange in network-centric combat operations]. *Radiotekhnika*, 2009, no. 8, pp. 57-62 (in Russian).

21. Kondratev A. E. Obshchaia kharakteristika setevykh arkhitektur, primeniaemykh pri realizatsii perspektivnykh setetsentricheskikh kontseptsii vedushchikh zarubezhnykh stran [General characteristics of the network architectures used in the implementation of promising network-centric concepts of leading foreign countries]. *Military Thought*, 2008, no. 12, pp. 63-74 (in Russian).

22. Kondratev A. E. Realizatsiia kontseptsii setetsentricheskaia voina v VVS SShA [Implementation of the concept of network-centric warfare in the U.S. air force]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2009, no. 5, pp. 44-49 (in Russian).

23. Makarenko S. I. Berezhnov A. N. Perspektivy ispol'zovaniia setetsentricheskikh tekhnologii upravleniia boevymi deistviiami i problemy ikh vnedreniia v vooruzhennykh silakh Rossiiskoi Federatsii [Prospects of using

network-centric technologies for the management of the fighting and problems of their implementation in the armed forces of the Russian Federation]. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2011, vol. 37, no. 4, pp. 64-68 (in Russian).

24. Iarlykov M. S., Bogachev A. S., Merkulov V. I., Drogalin V. V. *Radioelektronnye komplekсы navigatsii, pritselivaniia i upravleniia vooruzheniem letatel'nykh apparatov. Tom 1. Teoreticheskie osnovy* [Radio-Electronic systems of navigation, sighting and weapons control aircraft. Vol. 1. Theoretical foundations]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2012. 504 p. (in Russian).

25. Antipov V. N., Isaev S. A., Lavrov A. A., Merkulov V. I. *Mnogofunktsional'nye radiolokatsionnye komplekсы istrebitelei* [Multifunction radar complexes fighters]. Moscow, Voenizdat Publ., 1994. (in Russian).

26. Pervachev S. R., Perov A. I. *Adaptivnaia fil'tratsiia soobshchenii* [Adaptive filtering of messages]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1991. 160 p. (in Russian).

27. Aganesov A. V., Ivanov M. S., Popov S. A., Shunulin A. V. Increasing space-air communications system network bandwidth using Mesh technology in interworking systems. *Radio Communication Theory and Equipment*, 2016, no. 2, pp. 12-16 (in Russian).

28. Merkulov V. N., Drogalin V. V., Kanashchenkov A. N., Bogachev A. S., Zabelin I. V., Lepin V. N., Samarin O. F., Sarychev V. A., Solov'ev A. A., Turnetskii L. S., Chernov V. S., Shuklin A. I. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia. Tom 2. Radioelektronnye sistemy samonavedeniia* [Aircraft radio system. Volume 2. Electronic guidance system]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2003. 391 p. (in Russian).

29. Makarenko S. I., Sapozhnikov V. I., Zakharenko G. I., Fedoseev V. E. *Sistemy svyazi* [Communication systems]. Voronezh, Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin, 2011. 285 p. (in Russian).

30. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Otsenka effektivnosti setei vozduшной radiosvazi pri ispol'zovanii razlichnykh algoritmov mnogostantsionnogo dostupa [Evaluation of the Effectiveness of the Networks to Air Radio Communications Using Different Algorithms for Multiple Access]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv», 2002 (in Russian).

31. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Modeli setei radiosvazi, ispol'zuiushchie razlichnye algoritmy mnozhestvennogo dostupa [Model Radio Communications Networks that use Different Algorithms for Multiple Access Telecommunications]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv», 2002 (in Russian).

32. Makarenko S. I. Adaptivnoe upravlenie skorostiami logicheskikh soedinenii v kanale radiosvazi mnozhestvennogo dostupa [Adaptive Control Speed Logical Connections in the Radio Multiaccess Channel]. *Information and Control Systems*, 2008, no. 6, pp. 54-58 (in Russian).

33. Makarenko S. I. Issledovanie vliianiia prednamerennykh pomekh na vozmozhnosti po retransliatsii soobshcheniia i pokazateli kachestva obsluzhivaniia

kanal'nogo urovnia modeli OSI dlia sistemy sviazi so sluchainym mnozhestvennym dostupom abonentov [The Study of the Influence of Intentional Interference at the Relay Capabilities of the Message and the Quality of Service Link Layer of the OSI Reference Model for Communication Systems with Random Multiple Access Subscribers] *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2010, vol. 65, no. 6, pp. 807-815 (in Russian).

34. Aganesov A. V. Model of Radio Network with CSMA/CA Protocol. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 1, pp. 67-97. Available at: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-01/06-Aganesov.pdf> (accessed 16 October 2017) (in Russian).

35. Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov S. A. *Pomekhozashchishchennost' sistem sviazi s psevdosluchainoi perestroikoi rabochei chastoty. Monografija* [Interference Resistance Communication Systems with Frequency-Hopping Spread Spectrum. Treatise]. Saint Petersburg, Svoe Izdatelstvo Publ., 2013, 166 p. (in Russian).

36. Verba V. S. Airborne warning and control systems as part of network-centric information management system. *Radiotekhnika*, 2014, no. 5, pp. 15-20 (in Russian).

37. Makarenko S. I. The Countermeasures of the Radio Networks with the Random Multiple Access by Changing the Radionet State to Non-Stable. *Radio electronics journal*, 2011, no. 9. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf> (accessed 03 October 2017) (in Russian).

38. Makarenko S. I. Estimation of quality of service in radio network with package transmitting in unstationary mode under influence of external destructive factors. *Radio Electronics Journal*, 2012, no. 6. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf> (accessed 03 October 2017) (in Russian).

39. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., Novikov E. A. Issledovanie kanal'nykh i setevykh parametrov kanala sviazi v usloviakh dinamicheskoi izmeniaiushcheisya signal'no-pomekhovoi obstanovki [The Research of Data Link Layer and Network Layer Parameters of Communication Channel in the Conditions Dynamic Vary of the Signal and Noise Situation]. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 10. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (03 October 2017) (in Russian).

40. Mikhailov R. L., Makarenko S. I. Estimating Communication Network Stability under the Conditions of Destabilizing Factors Affecting it. *Radio and telecommunication systems*, 2013, no. 4, pp. 69-79 (In Russian).

41. Antonovich P. I., Makarenko S. I., Mihaylov R. L., Ushanev K. V. New means of destructive effects on network centric military command, control and communication systems in the information space. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2014, vol. 48, no. 3, pp. 93-101 (in Russian).

42. Aganesov A. V., Makarenko S. I. Model of united air-space network with decentralized traffic routing based on Mesh technology. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2016, no. 1, pp. 7-16 (in Russian).

43. Aganesov A. V., Makarenko S. I. The traffic balancing method between aero and space segments in aerospace network based on Mesh-technology. *H&ES Research*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 17-25 (in Russian).

44. Aganesov A. V., Ivanov M. S., Popov S. A. Application Mesh-технологий in systems of the gateway exchange for the purpose of increase of throughput of communication channels. *Okhrana, bezopasnost, sviaz*, 2017, no. 1-1. pp. 196-203 (in Russian).

Статья поступила 17 октября 2017 г.

Информация об авторе

Смирнов Сергей Владимирович – соискатель ученой степени кандидата наук. Старший преподаватель кафедры эксплуатации бортового авиационного радиоэлектронного оборудования. ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: маршрутизация трафика, воздушные сети радиосвязи, Mesh-технологии. E-mail: web-shark@mail.ru

Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а.

The Analysis of Ways and Means to Control the Aircrafts from AWACS

Smirnov S. V.

Relevance. At the present time, aerospace forces of Russia are applied outside of Russia. In this case, main of task is to control the aircrafts when ground control stations are not available. For this reason the airborne warning and control system (AWACS) is used as an air command post to control the aircrafts. The aim of paper is to analyse the ways and means to control the aircrafts from AWACS, as well as the formation of proposals for the further development of AWACS control system. **Results and their novelty.** Elements of novelty of the paper are results of analysis of guidance methods and controls aircrafts from AWACS. So the analysis showed that the modern trend in the development of AWACS control system is control as manned aircrafts, as unmanned aerial vehicles (UAVs). Moreover, to control the UAV is characterized by solution of a new class of problems associated with managing on basis of principle of "intelligent swarm" and the implementation of semi-autonomous and autonomous control. Also the actual direction of research is to develop air radio full-networks that can be used to implement network-centric control from AWACS and have increased resistance from jamming. **Practical significance.** The analysis presented will be useful technical and military experts to justify the new methods of combat use of aircrafts outside the territory of Russia, and also for justification of new technical systems of control and communication for AWACS.

Keywords: control system, aircraft, UAVs, communications system, command radio link, airborne warning and control system, network of air communication

Information about Author

Sergei Vladimirovich Smirnov - Doctoral Student. Senior Lecturer of Department of Exploitation of Aircraft Electronic Equipment. Military Training and Research Center of the Air Force "Military Air Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Ju. A. Gagarin". Field of research: traffic routing, air communication networks, Mesh-networks. E-mail: web-shark@mail.ru

Address: Russia, 355000, Voronezh, Street of Old Bolsheviks, 54a.