

# АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ РЛС АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ДОЗОРА И НАВЕДЕНИЯ

**В. С. Верба**

Генеральный директор — генеральный конструктор  
Открытое акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега»

Получена 19 ноября 2012 г.

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы совершенствования бортовых радиолокационных систем авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения и основные пути их решения.

**Ключевые слова:** авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения, бортовые радиолокационные системы, сетцентрические технологии, живучесть, информативность.

**Abstract.** Problems of development of onboard radar systems of airborne early warning and control systems are studied. Guidelines for their solution are given.

**Keywords:** airborne early warning and control systems, onboard radar systems, network centric technologies, survivability, informativeness.

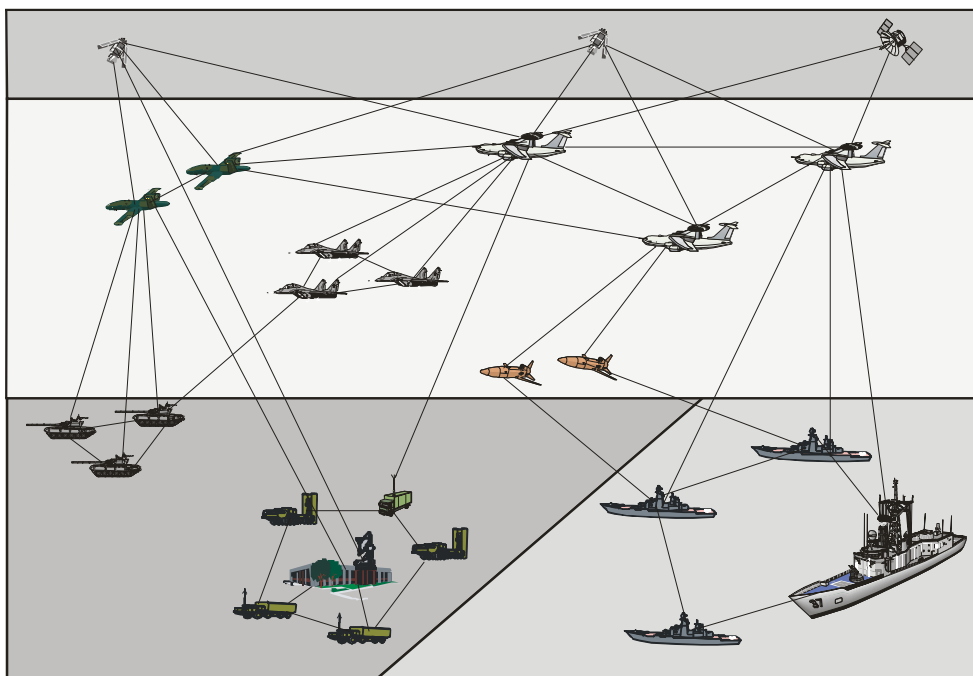
В общем случае, перечень задач, решаемых бортовыми РЛС (БРЛС), и требования к их тактико-техническим показателям (ТТП) всегда определялись особенностями боевого применения. При этом на протяжении длительного времени этот перечень и требования практически не изменялись, что предопределило эволюционный характер развития РЛС с постепенно улучшающимися показателями.

Следует отметить, что по реализации этих требований БРЛС к концу 80-х годов прошлого века практически подошли к пределу своего совершенства и дальнейшие улучшения ТТП достигались путём неадекватно возрастающих затрат.

Однако за последние два десятилетия произошло существенное изменение взглядов на способы и приёмы ведения боевых действий во всех

сферах, в воздухе, на земле и в космосе, обусловленное принятием стратегии бесконтактных сетецентрических войн и появлением новых видов вооружений.

В соответствии с этой стратегией, боевые действия ведутся не вблизи линии боевого соприкосновения, а на любом участке территории противника, путём нанесения ударов большими группами пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (ЛА). При этом возможность нанесения ударов по любым участкам территории противника потребовало соответствующего информационного обеспечения в виде глобальной сетецентрической информационно-управляющей системы (ИУС) (рис. 1) [1].



**Рисунок 1** — Принцип организации сетецентрической системы

Для нашей страны с её огромной территорией и информационно оголётными северными направлениями единственным реальным средством защиты территории от массированных ударов является использование высококомобильных авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения (АК РЛДН), наделённых управленческими функциями.

При этом следует подчеркнуть, что роль основного всепогодного источника информации в составе АК РЛДН по-прежнему играют бортовые РЛС [2].

Из всех особенностей ведения сетецентрических войн, необходимо выделить прежде всего те, которые непосредственно определяют перечень задач, решаемых АК РЛДН и их БРЛС. К этим особенностям относятся:

- расширение номенклатуры новых видов боевой техники с качественно новыми свойствами (сверхманевренные и гиперзвуковые летательные аппараты, нестратегические баллистические ракеты, сверхзвуковые крылатые ракеты и т. д.);
- преобладание групповых действий;
- перенос центра тяжести боевых действий в сторону беспилотных летательных аппаратов;
- усиление роли средств разведки различного базирования;
- возможность доступа к информации в режиме реального времени, в любой точке земного шара за счёт использования локальных и глобальных информационных сетей;
- качественное усиление роли информационного превосходства.

Потребности разработки БРЛС АК РЛДН нового поколения предопределяют необходимость выделения так называемых критических технологий, направленных на решение наиболее сложных проблем бортовой радиолокации. При этом под критическими технологиями ниже понимается не только процесс производства РЛС, но и совокупность научных и технических мероприятий по определению узких мест в процессе создания перспективных БРЛС и анализу направлений их устранения.

Цель статьи — рассмотрение «узких мест», затрудняющих разработчикам создание БРЛС АК РЛДН нового поколения, и определение направления их совершенствования.

Перечень наиболее критических технологий создания таких АК РЛДН и их БРЛС предусматривает:

- создание унифицированного ряда БРЛС для АК РЛДН различной значимости (стратегических, оперативных, тактических), базирующихся на различных типах носителей: пилотируемых ЛА различной дальности,

аэростатах, дирижаблях. Особенно важным является создание АК РЛДН сверхдлительного барражирования (до нескольких суток) на базе беспилотных ЛА (БЛА);

- разработку алгоритмов совместной обработки информации в составе многопозиционных систем наведения;

- разработку многофункциональной многодиапазонной РЛС, обеспечивающей совместную работу с РЛС космического базирования, с РЛС самолётов тактической авиации и наземными (корабельными) РЛС как в режимах «воздух-воздух», так и в режимах «воздух-поверхность»;

- создание принципиально новых алгоритмов сопровождения сверхскоростных целей с оцениванием не только первых, но и вторых и более высоких производных линейных и угловых координат;

- разработку более совершенных алгоритмов многоцелевого сопровождения с бесстробовой идентификацией и более достоверным ранжированием целей по степени важности, в том числе и в условиях роя;

- создание сферических зон ответственности с оптимизацией процедур их просмотра на базе активных фазированных антенных решёток;

- качественное совершенствование пассивных режимов с оцениванием дальности и скорости для обеспечения всеракурсного перехвата воздушных целей;

- разработку режимов защиты от СВЧ-оружия функционального поражения (СВЧ-вакуумные приборы, режим электромагнитного оружия);

- разработку режимов сверхдальнего обнаружения на уровне шумового фона;

- комплексирование всех информационных датчиков в рамках создания интегрированных радиочастотных систем;

- управление информационными потоками в многопозиционных РЛС.

Необходимо отметить, что каждое из перечисленных направлений влечёт за собой необходимость решения целого комплекса достаточно сложных задач.

Широкое использование территориально распределённых (многопозиционных) информационно-управляющих систем (ИУС) различного назначения чрезвычайно обостряет проблему управления в них информационными потоками.

Решение этой проблемы включает:

- формализацию информационных потоков, обоснование критериев и показателей качества управления ими;
- распределение функций между позициями (ударные, информационные, провоцирующие и т. д.);
- управление пространственным положением позиций;
- управление способами информационного взаимодействия отдельных позиций многопозиционных ИУС (активный, полуактивный, пассивный);
- выбор приоритетных источников информации на каждой позиции (РЛС, ОЭС, РТР);
- отождествление информации, приходящей от различных позиций и датчиков;
- управление составом и режимами работы информационных датчиков на каждой позиции;
- управление электромагнитной совместимостью с построением гибких диаграмм работы, адаптирующихся к условиям функционирования во временной, частотной и пространственной областях;
- управление радиоэлектронной защитой (РЭЗ);
- усиление роли адаптивных алгоритмов обнаружения и оценивания;
- управление первичными информационными полями;
- обеспечение информационного превосходства.

Рассмотрим более подробно некоторые из них.

В условиях возрастания количества информационных датчиков радиодиапазона и систем связи и управления чрезвычайно возрастает роль электромагнитной совместимости, требующей согласования режимов работы во временной области, по частоте, поляризации и направлению излучения и

приёма. Решать удовлетворительно все эти задачи эмпирическими приёмами уже невозможно. Требуется специальный аппарат оптимизации ресурсов в энергетической, частотной, временной и пространственной областях.

Чрезвычайное расширение номенклатуры помех и усиление их имитирующих способностей делают бессмысленной концепцию разработки средств радиоэлектронной защиты по принципу «от каждой помехи — своё средство защиты». В связи с этим необходимо разрабатывать единый комплекс помехозащиты (ПЗ) с широко разветвленным аппаратом обнаружения и анализа помех с соответствующим выходом на игровые приёмы активной ПЗ. Теоретической основой такого подхода может служить математический аппарат теории оптимальных систем со случайной структурой [3].

Альтернативой является использование пассивных режимов работы в рамках многопозиционных РЛС. Однако использование пассивных режимов функционирования требует разработки высокоточных алгоритмов оценивания местоположения источников радиоизлучений, а также дальности и скорости сближений с целями.

Проблема управления первичными информационными полями становится особенно актуальной в связи с использованием многопозиционного принципа построения и решения задач ПЗ (нуль на помеху) при наличии технологической базы в виде АФАР.

Использование многопозиционных ИУС в рамках группового применения ЛА предопределяет необходимость разработки новых алгоритмов оценивания, адаптирующихся к изменению их взаимного пространственного положения и одновременности прихода измерений на различные позиции [4].

Информационное превосходство обеспечивается совокупностью мер, среди которых наряду с обеспечением радиоэлектронной защиты и радиоэлектронного подавления РЛС противника необходимо выделить:

- защиту от СВЧ-оружия функционального поражения [5];
- использование режимов электромагнитного оружия [6];

- управление алгоритмическими воздействиями на вычислительные системы противоборствующей стороны [7].

Одним из наиболее эффективных приёмов преодоления ПВО является использование эффекта «роя», возникающего в случаях, когда количество целей превышает пропускную способность РЛС. Практически единственным способом преодоления этого недостатка является переход от индивидуального сопровождения каждой цели к более эффективному сопровождению групп в целом, с определением их тактического назначения, количественного состава и занимаемой объёмной области. Такой приём позволяет осуществлять бесрывное сопровождение больших групп целей даже РЛС с низкой пропускной способностью [8].

Всё более возрастающую роль в рамках сетецентрических бесконтактных войн играют БЛА различного назначения.

Следует подчеркнуть, что, если при решении разведывательных задач оптимизация требуемой топологии размещения БЛА в пространстве не представляет значительной сложности, то управление ударными БЛА в условиях групповых действий является достаточно сложной задачей.

Отдельной задачей является встраивание АК РЛДН в глобальную сетецентрическую систему в качестве основного ядра. Целесообразность этого обусловлена не только его огромными информационными возможностями, но и наличием протоколов обмена с большинством видов воздушной, наземной и морской техники (рис. 2) [2].

Тенденции дальнейшего развития бортовой радиолокации, предопределённые проблемами создания эффективных БРЛС в условиях сетецентрических войн, направлены на одновременное улучшение всех их системных показателей: эффективности функционирования [9], живучести [10], информативности [11], динамичности [12] и чувствительности [13] к изменению условий функционирования. Функциональные связи между этими показателями иллюстрируются рис. 3 [14].

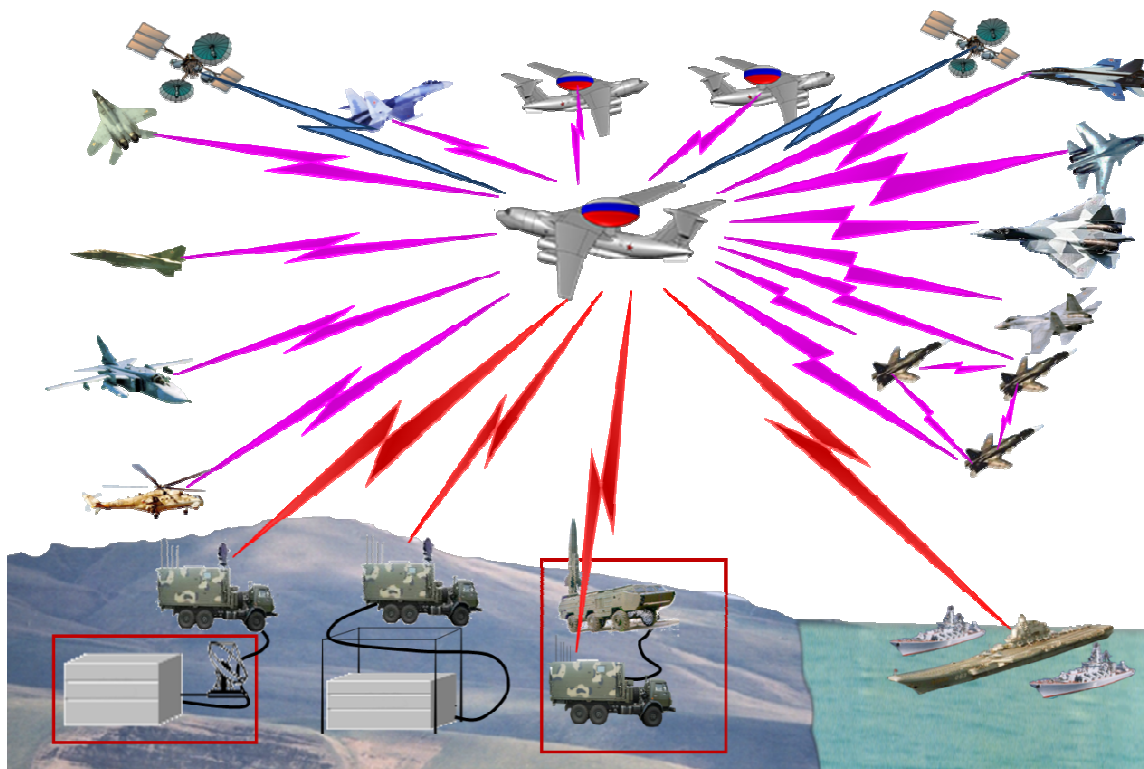


Рисунок 2 — Роль АК РЛДН в сетевидной информационно-управляющей системе

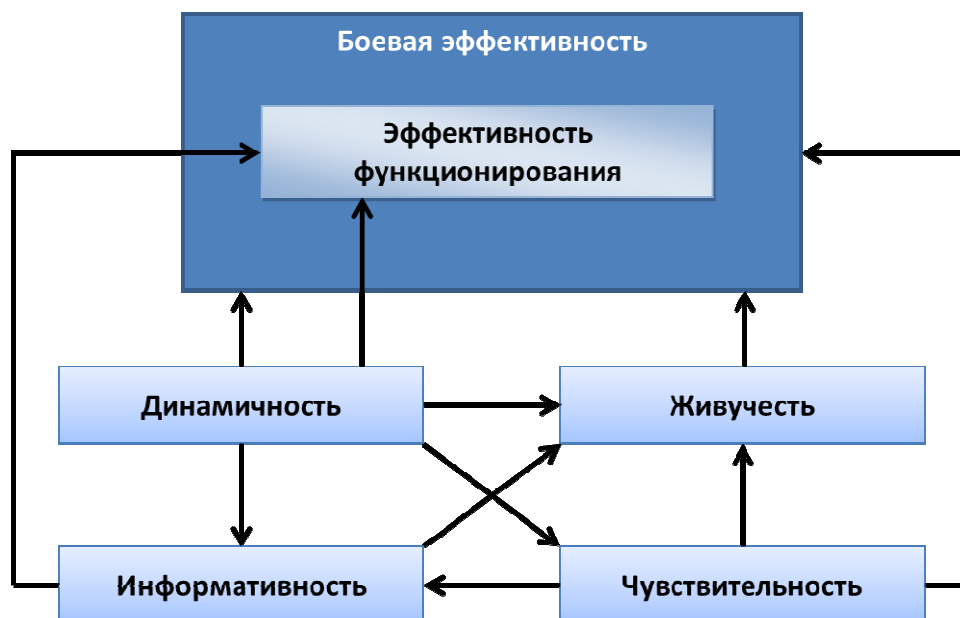


Рисунок 3 — Функциональные связи системных показателей эффективности



Практически единственным способом одновременного улучшения всех системных показателей является переход к многопозиционным РЛС (МП РЛС), в которых несколько пространственно разнесенных приёмников и передатчиков функционируют как единое целое [15].

Давая огромные преимущества, МП РЛС требуют усложнения алгоритмов функционирования, связанных с обеспечением взаимной синхронизации, необходимостью управления пространственным положением позиций, выбором режимов работы (активный, полуактивный, пассивный), выбором приоритетного источника информации, её отождествлением и ряда других. В США этим вопросам уделяется большое внимание [16].

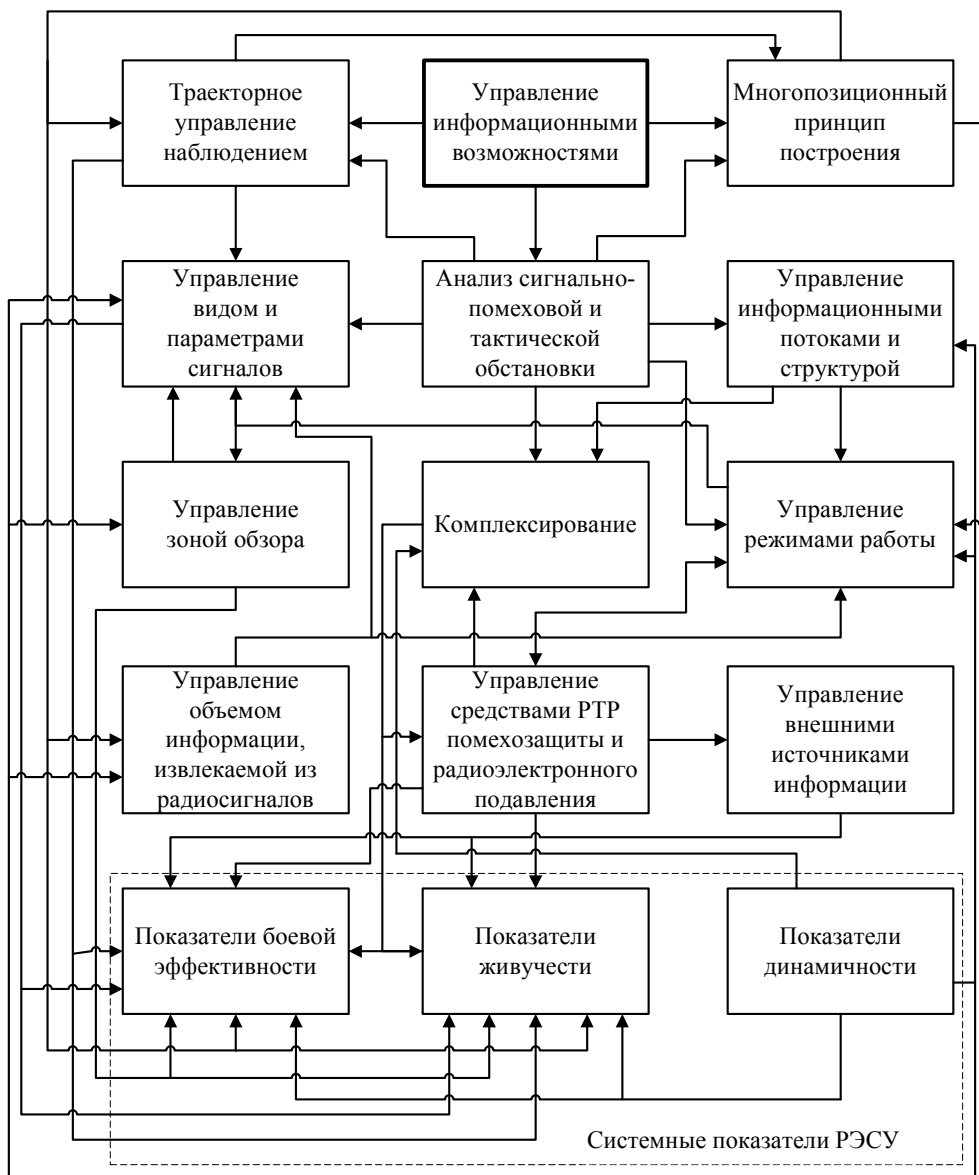
Нет смысла говорить об эффективности РЛС, если она не обладает живучестью. Комплекс мероприятий, направленных на повышение живучести, иллюстрируется рис. 4.



Рисунок 4 — Направления повышения живучести

Устойчивой тенденцией развития бортовых РЛС является повышение их информативности, обусловленное способностью извлекать всё больший объём информации из радиосигналов.

Основные направления повышения информативности и её связи с другими системными показателями показаны на рис. 5 [14].



**Рисунок 5** — Функциональные связи информативности с другими системными показателями

Остановимся кратко на наиболее важных направлениях совершенствования БРЛС.

Усиление роли групповых действий требует качественного улучшения показателей многоцелевого сопровождения (МЦС) [17]. К наиболее важным направлениям этого режима относятся:

- сокращение времени на завязку траекторий;
- использование алгоритмов, обеспечивающих более высокую достоверность отождествления измерений;
- использование упрощённых алгоритмов адаптивной фильтрации;
- использование более эффективных алгоритмов ранжирования целей по степени важности.

Необходимо отметить, что если первые три задачи решены в теоретическом плане и полученные алгоритмы пригодны для внедрения, то последняя задача пока не нашла своего приемлемого решения.

Одним из наиболее эффективных направлений решения этой задачи является использование режима распознавания цели вплоть до типа. Для решения этой задачи необходимо проведение детального спектрального анализа принятых сигналов при использовании длительного когерентного накопления. Однако, несмотря на хорошие результаты, полученные при проведении исследований в этой области, конкретных алгоритмов использования таких процедур в РЛС до сих пор нет.

Второй проблемой группового сопровождения является разработка алгоритма МЦС в условиях роя.

Расширение номенклатуры новых типов целей (сверхманёвренные (СМЛА), гиперзвуковые (ГЗЛА) летательные аппараты и т. д.) усложнило решение задач как обнаружения, так и устойчивого сопровождения. Для получения запаса по времени (дальности) необходимо решить задачу обнаружения на уровне естественного фона. При этом, решение задач устойчивого сопровождения должно обеспечивать согласование динамических свойств БРЛС и целей, суть которого состоит в её способности реагировать на

пространственные эволюции цели и носителя. Для обеспечения устойчивого высокоточного сопровождения СМЛА и ГЗЛА необходимы новые алгоритмы обнаружения, учитывающие ускорение, и более широкий состав оцениваемых координат, включающий кроме традиционных дальности, скорости сближения и угловых координат и их высокие производные. Этому же требует и необходимость информационного обеспечения новых, более сложных методов наведения на сверхманёвренные и гиперзвуковые цели. Проведённые предварительные исследования подтвердили возможность решения этой задачи.

Хотелось бы остановиться на двух взаимосвязанных проблемах, связанных с применением СВЧ оружия функционального поражения (СВЧ ОФП), основанного на использовании сверхкоротких импульсов большой мощности. Необходимо подчеркнуть, что к настоящему времени удовлетворительного решения проблемы защиты от СВЧ ОФП нет. С другой стороны, использование разновидностей этого оружия в качестве специфического режима работы бортовой РЛС позволит во многом решить проблему защиты самолётов-носителей от наводимых на них ракет [6].

В заключение необходимо отметить, что для создания БРЛС нового поколения необходимо в ближайшей перспективе реализовать:

1. Обнаружение интенсивно маневрирующих целей (ИМЦ) на уровне естественного фона, обеспечивающее увеличение дальности действия БРЛС.
2. Бессрывное высокоточное сопровождение одиночных ИМЦ, обеспечивающее согласование динамичности БРЛС с динамичностью целей и носителей.
3. Распознавание вплоть до типа целей.
4. Разработку более совершенных алгоритмов многоцелевого сопровождения в условиях групповых действий, которые должны обеспечить:
  - а) уменьшение времени завязки за счёт использования ФАР (АФАР);
  - б) высокодостоверную бесстробовую идентификацию измерений;
  - в) упрощённую адаптивную фильтрацию большого количества целей;

г) высокодостоверное ранжирование целей по степени их важности;

д) групповое сопровождение в условиях «роя».

5. Использование многопозиционного принципа построения БРЛС, обеспечивающего одновременное улучшение эффективности, живучести и информативности.

6. Использование траекторного управления наблюдением.

7. Разработку алгоритмов управления информационными потоками в многопозиционных и интегрированных БРЛС.

8. Усиление роли пассивных режимов работы БРЛС.

9. Использование режима электромагнитного оружия для защиты от наводимых ракет.

10. Разработку средств защиты от СВЧ оружия функционального поражения.

11. Встраивание РЛС в сетецентрические ИУС.

В технологическом плане это, прежде всего, разработка отечественной элементной базы высокоэффективных АФАР, многоядерных бортовых вычислительных систем с открытой архитектурой, и широкополосных помехозащищённых радиолиний обмена.

## Литература

1. **Верба В. С., Поливанов С. С.** Организация информационного обмена в сетецентрических боевых операциях. // Радиотехника. — 2009. — № 8.

2. **Верба В. С.** Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития. — М. : Радиотехника. — 2008.

3. **Бухалев В. А.** Распознавание, оценивание и управление в системах со случайной скачкообразной структурой. — М. : Наука, Физматлит, 1996.

4. **Меркулов В. И.** Алгоритм линейного оценивания с текущей коррекцией прогноза по неодновременным приходящим измерениям. // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2009. — № 8.

5. **Добыкин В. Д., Дрогалин В. В., Меркулов В. И.** Функциональное поражение радиоэлектронных систем. // Фазотрон. — 2006. — № 3, 4.

6. Бортовые системы управления боевыми режимами современных и перспективных самолетов. Книга 1. Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников. / Под ред. Е. А. Федосова. — М. : ГосНИИ АС, 2009.

7. **Дрогалин В. В., Казаков В. Д., Меркулов В. И.** Преднамеренные алгоритмические воздействия на цифровые вычислительные системы авиационных радиолокационных систем. // Фазотрон. — 2007. — № 1, 2.

8. **Верба В. С., Меркулов В. И., Дрогалин В. В. и др.** Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах. Ч. 3. / Под ред. В. С. Вербы и В. И. Меркулова. — М. : Радиотехника, 2010.

9. **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.

10. **Верба В. С., Гандурин В. А., Меркулов В. И.** Живучесть авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения. // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2008. — Т. 6. — № 3.

11. **Верба В. С.** Управление информационными возможностями многофункциональных бортовых радиолокационных комплексов. // Радиотехника. — 2007. — № 10.

12. **Меркулов В. И.** Динамичность авиационных комплексов и бортовые радиоэлектронные системы. // Радиотехника. — 2010. — № 1.

13. **Меркулов В. И., Дрогалин В. В., Богачев А. С. и др.** Авиационные системы радиоуправления. Т. 1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа. / Под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. — М. : Радиотехника, 2003.

14. **Верба В. С.** Системные показатели авиационных радиоэлектронных систем управления. // Успехи современной радиоэлектроники. — 2012. — № 12.

15. **Верба В. С., Меркулов В. И.** Многопозиционные радиоэлектронные системы наведения. Возможности и ограничения. // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2010. — Т. 8. — № 1.

16. Бортовые системы управления боевыми режимами современных и перспективных самолетов. Книга 2. Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников. / Под ред. Е. А. Федосова. — М. : ГосНИИ АС, 2010.

17. **Ярлыков М. С., Богачев А. С., Меркулов В. И., Дрогалин В. В.** Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 2. Применение авиационных радиоэлектронных комплексов при решении боевых и навигационных задач. / Под ред. М. С. Ярлыкова. — М. : Радиотехника, 2012.