

ВОЕННАЯ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Основные направления совершенствования радиолокационного обеспечения полетов авиации

*Полковник В.Ю. КУЗЬМЕНКОВ,
кандидат технических наук*

Подполковник А.В. ГУБАНОВ

Подполковник Ю.В. СПИРИН

ОПЫТ локальных войн и вооруженных конфликтов последнего времени показывает, что эффективное применение авиационных комплексов (АК) различного назначения днем и ночью, в простых и сложных метеоусловиях невозможно без информации об обстановке в воздухе. Основными, а порой и единственными источниками этой информации являются радиолокационные средства различного назначения. К ним прежде всего следует отнести наземные РЛС обнаружения, наведения и целеуказания, подвижные радиовысотомеры, радиолокационные системы посадки, запросчики госопознавания, вторичные радиолокаторы системы управления воздушным движением, АК радиолокационного дозора и наведения (РЛДН). От того, насколько полно и своевременно будет доведена радиолокационная информация (РЛИ) до лиц, принимающих решения на авиационных ПУ, напрямую зависит качество этих решений.

Процессы сбора, обработки, хранения и представления на рабочие места должностных лиц боевых (оперативных) расчетов ПУ радиолокационной информации и ее доведения до потребителей обычно называют радиолокационным обеспечением (РЛО). Если в качестве потребителей выступают авиационные органы и пункты управления, то говорят о РЛО полетов авиации.

Современные РЛС способны функционировать в сложной целевой и помеховой обстановке. Они в состоянии обнаруживать помимо летательных аппаратов ракеты класса «земля — воздух» и «воздух — воздух», интенсивную облачность, стаи птиц и другие опасные для авиации объекты. По совокупности сигнальных и траекторных признаков возможно распознавание воздушных целей и выдача информации потребителям в реальном масштабе времени. Однако при существующем порядке сбора, обработки, представления от источников данных РЛИ характеристики информационного обеспечения (полнота, достоверность, оперативность) весьма далеки от потенциальных. Как следствие — своя авиация несет потери от средств своей же противовоздушной обороны (ПВО), от столкновения с препятствиями на посадочном курсе, от попадания в очаги опасных метеоявлений, к полетам в которых экипажи не готовы, от столкновения с птицами. В этой связи является актуальным определение направлений совершенствования информационного обеспечения авиационных ПУ данными об обстановке в воздухе.

Для обоснования путей совершенствования РЛО полетов авиации целесообразно использовать системный подход, при котором совокупность радиолокационных средств и комплексов автоматизации сбора и обработки РЛИ в интересах РЛО считать сложной технической системой, а степень совершенствования РЛО рассматривать с точки зрения прироста показателей качества системы более высокого уровня. При этом получаемый выигрыш соотносить с затратами.

Исследованием таких объектов занимается радиолокационная системотехника¹. Основной аппарат системотехники — оценка эффективности. В интересах исследования РЛО полетов авиации на основе оценки его эффективности решается широкий круг задач: определение направлений совершенствования существующих образцов радиолокационной техники; обоснование оптимального (рационального) типажа радиолокационных средств или комплексов для информационного обеспечения потребителей; обоснование требований к радиолокационной технике с целью формирования корректного тактико-технического задания на ее разработку; выбор рациональной структуры и параметров составных частей радиолокационных систем, комплексов или средств, гарантирующих достижение требуемых значений показателей эффективности; сравнительный анализ радиолокационных систем, комплексов и средств; выбор эффективных способов применения радиолокационных средств по назначению в различных условиях обстановки.

Известны различные подходы к расчету показателей эффективности. К ним прежде всего относится свертка тактико-технических характеристик объекта исследований с весовыми коэффициентами, характеризующими важность конкретного параметра для выполнения определенной задачи. При другом подходе в качестве показателя эффективности применяются величины, выраженные с помощью аналитических зависимостей от характеристик как объекта исследований, так и обеспечиваемой системы. Следующим подходом является статистическое моделирование процесса РЛО системы более высокого уровня. Довольно часто показатели эффективности более низкого уровня рассчитываются с использованием аналитических зависимостей или математического моделирования. Затем для расчета комплексного (или обобщенного) показателя они сворачиваются с вектором весовых коэффициентов.

Примером такого подхода является методика оценки эффективности функционирования РЛС с использованием коэффициента реализации возможностей (КРВ). Этот коэффициент в векторном виде представляет собой отношение реальных характеристик (которые получены на испытаниях или методом моделирования) к потенциально возможным (которые рассчитываются по известным мощности передатчика, чувствительности приемника, структуре зондирующего сигнала, размерам антенной системы и зоны обзора). В качестве параметров РЛС были выбраны: максимальная дальность обнаружения, разрешающие способности по координатам и точности их измерения после первичной обработки. Полученный таким образом КРВ в векторной форме может быть преобразован в скаляр сверткой с вектором весовых коэффициентов. Физический смысл КРВ аналогичен смыслу коэффициента полезного действия. Действительно, потенциальные возможности РЛС являются пределом, к которому нужно стремиться, но достичь которых практически не реально. КРВ показывает, какая часть из заложенных возможностей приносит пользу (обеспечивает качество РЛИ), а какая утеряна по причине неоптимальности обработки и потерь при передаче сигнала и др. Похожий подход был предложен в одной из первых отечественных монографий по теории радиолокации применительно к задаче синтеза оптимального измерителя². Там в качестве показателя эффективности, количественно характеризующего близость анализируемого устройства к оптимальному, рассматривалось отношение дисперсии ошибок измерения данного устройства к потенциально возможной.

Различные условия ведения боевых действий, многообразие решаемых авиацией задач, повышение возможностей радиолокационных систем, комплексов и средств предполагают постоянное совершенствование методик оценки эффективности РЛО. Поэтому **развитие методи-**

¹ Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Советское радио, 1971.

² Бакут П.А., Болшаков И.А., Тартаковский Г.П. Вопросы статистической теории радиолокации. В 2-х томах / Под ред. Г.П. Тартаковского. М.: Советское радио, 1963. Т. 2.

ческого аппарата анализа и синтеза информационного обеспечения потребителей данными об обстановке в воздухе является одним из направлений совершенствования РЛО.

Отправной точкой РЛО можно считать обработку сигналов на РЛС, качество которой во многом предопределяет успех всех последующих операций. Как упоминалось выше, для оценки эффективности первичной обработки можно сравнить потенциальные возможности РЛС с реальными. Опыт создания РЛС различного назначения показывает, что существует значительный разрыв между потенциальными возможностями и характеристиками, которые демонстрируют локаторы в процессе испытаний и эксплуатации. Случается, что причина этому — существующие традиции, которые мешают повысить качество РЛИ. Наиболее яркий пример — суммарно-разностный метод амплитудной пеленгации, который применяется во многих образцах радиолокационной техники. Однако при наличии квадратурных каналов (что есть практически в каждой РЛС) он не является оптимальным. Алгоритм, минимизирующий среднеквадратическую ошибку пеленгации для данного случая, описан в специальной литературе³. Существуют и другие квазиоптимальные методы обработки, которые ведут к потерям (и порой существенным) в качестве РЛИ.

Важными в РЛО полетов являются данные и о протяженных целях, к которым относятся прежде всего опасные метеоявления, стаи птиц и скопления насекомых в воздухе, выбросы в атмосферу при техногенных катастрофах и природных катаклизмах, облака дипольных отражателей, области повышенной ионизации. В истории авиации известно значительное число происшествий и катастроф, связанных с отсутствием у экипажей информации о подобных объектах на маршруте полета.

Таким образом, **совершенствование алгоритмов обработки сигналов, в том числе отраженных от протяженных целей**, является также одним из основных направлений совершенствования РЛО.

Во-первых на этапе сбора РЛИ от источников необходимо определить топологию группировки РЛС для формирования оптимального (по определенному критерию) радиолокационного поля (РЛП). Современные подходы по планированию РЛО заключаются в автоматизированном расчете поля, создаваемого подчиненными РЛС, на цифровой карте местности для различных высот обнаружения. Окончательное решение о размещении РЛС на местности принимает должностное лицо по изображению на карте. Такой подход обладает серьезными недостатками — субъективным характером получаемых результатов и отсутствием количественных оценок. Поэтому качество формируемого РЛП целесообразно оценивать на основе расчета коэффициента перекрытия пространства действия. При этом возможно получить количественные величины, характеризующие степень пересечения РЛП с теми областями пространства, данные из которых действительно необходимы для управления авиацией. При прочих равных условиях наилучшей будет топология, обеспечивающая максимум коэффициента перекрытия пространства действия. Кроме того, описанный подход позволит оценить необходимость применения АК РЛДН для более полного освещения тех областей пространства, где наземные РЛС не могут обеспечить контроль обстановки в воздухе. Как показали события на Кавказе, это особенно актуально для горных театров военных действий.

Во-вторых, назрела необходимость выдавать с РЛС на обеспечиваемый пункт управления результаты первичных замеров в совокупности

³ Красногоров С.И. Матричный анализ в задачах отыскания экстремумов. Ногинск: НИЦ 30 ЦНИИ МО РФ, 1998.

с показателями качества измерений. Сейчас выдача информации о целях в виде результатов вторичной обработки (трассы) часто считается основной формой обмена РЛИ с потребителями. Недостаток такого подхода — низкое качество сопровождения маневрирующих целей из-за сравнительно редкого получения замеров на единичной РЛС. При сглаживании единичных замеров, поступающих от нескольких РЛС, этот недостаток можно устранить. Основной причиной ограниченного применения такого подхода является низкая достоверность текущих показателей качества измерений, которые должны выдавать на КСА источники РЛИ. Действительно, текущие ошибки измерений зависят от применяемого метода обработки, разрешающей способности по измеряемой координате, отношения сигнал—шум, отклонения от нормали к антенне и от равносигнального направления (при оценке угловых координат). Некоторые из перечисленных параметров могут меняться в широких пределах, а зависимость их связи с текущими ошибками на практике может описываться не аналитической функцией. Тем не менее представляется целесообразным требовать от разработчиков РЛС формировать показатели качества измерений.

В-третьих, необходимо управлять источниками РЛИ. Такая необходимость возникает, как правило, при изменении целевой и помеховой обстановки и производится в целях увеличения полноты информации, улучшения качества данных об обстановке в воздухе. Известны теоретические исследования вопросов управления функционированием радиолокационных систем, комплексов и средств⁴. Однако практическая реализация разработанных алгоритмов весьма проблематична. Это связано с необходимостью иметь достоверные сведения о целевой, помеховой, тактической обстановке и др. В реальных условиях погрешности имеющихся исходных данных, скорее всего, сделают использование данных методов неэффективным. По крайней мере анализа влияния этих ошибок на устойчивость функционирования системы РЛО в известной литературе не найдено.

Реализованные же на практике алгоритмы управления подчиненными локаторами на существующих КСА сбора и обработки РЛИ не позволяют в полной мере использовать новые методы управления современными РЛС. Как правило, применяются алгоритмы с фиксированными параметрами, которые имеют ограниченные возможности по адаптации к изменяющейся обстановке.

В общем виде постановка задачи оптимального управления энергетическими ресурсами радиолокационного комплекса (РЛК) может быть сформулирована следующим образом. Существует группировка N локаторов, стоящих на одной позиции. Требуется оптимизировать расход энергетических ресурсов при решении различных задач, приоритеты которых определяет потребитель. Считается, что существует множество непересекающихся областей пространства, где требуется обнаруживать цели. Они отличаются друг от друга темпом обзора и приоритетами, которые задает потребитель. Задача оптимизации расхода энергетических ресурсов комплекса решается путем определения очереди реализации заявок на излучение для РЛС в интересах сопровождения конкретной цели, осмотра зоны обнаружения, выполнения захвата, распознавания и др. В простой воздушной обстановке, когда ресурса группировки достаточно для удовлетворения всех потребителей, управлять энергетическими ресурсами локаторов нет особой необходимости. Оптимизация имеет смысл при возникновении конфликтов

⁴ Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. Киев: Издательство «Квіц», 2000.

между запросами. Например, одному потребителю требуется только осмотр всей зоны ответственности «вкруговую», а другому — и высокоточное сопровождение маневрирующей цели (что подразумевает работу в секторе). Тогда оптимизационную задачу можно сформулировать следующим образом: *«при дефиците энергетических ресурсов потери потребителей с учетом приоритетов невыполненных заявок должны быть минимальными»*. Полученное решение данной оптимизационной задачи показывает, что эффективность РЛО полетов авиации возрастает, когда имеются РЛС кругового обзора метрового диапазона и РЛС дециметрового диапазона, которая работает как вкруговую, так и в секторе.

В боевых условиях дополнительным ограничением для алгоритмов управления энергетическими ресурсами РЛК является необходимость защиты входящих в него РЛС от высокоточного оружия. Влияние этих ограничений на эффективность РЛО еще предстоит оценить.

Таким образом, улучшение алгоритмов управления источниками РЛИ в части их размещения на местности, получения от РЛС единичных замеров и оптимизации расхода энергетических ресурсов является еще одним важным направлением совершенствования РЛО полетов авиации.

На этапе совместной обработки первичных измерений, полученных от разных источников, необходимо осуществлять траекторное сглаживание с учетом текущих ошибок измерений. Проведенные исследования показали, что даже при значительных расхождениях истинных и предполагаемых дисперсий ошибок оптимальная обработка дает выигрыш по сравнению с обработкой в предположении о равноточных измерениях⁵.

Важным этапом вторичной обработки является обнаружение маневра воздушного объекта. Предлагается обнаруживать маневр путем проверки простой статистической гипотезы вновь разработанными способами, которые в отличие от известных позволяют оценивать текущую (т. е. имеющую место в данный момент времени) вероятность правильного обнаружения маневра определенной интенсивности при фиксированной вероятности ложной тревоги. Данный подход позволяет **повысить качество сопровождения маневрирующих объектов за счет своевременного переключения гипотезы движения цели в траекторном фильтре**.

Применительно к большинству РЛС получение данных о целях — это только начало долгого пути информации от источника до потребителя, который должен принять решение на основе этой РЛИ. Поэтому вопросы построения информационных моделей представления данных об обстановке в воздухе на рабочих местах должностных лиц боевых и оперативных расчетов ПУ авиацией являются весьма актуальными. Анализ примерно двух десятков информационных моделей, применяемых в ВВС, войсках (силах) войсковой ПВО и в системе управления воздушным движением (УВД), показал, что принципы представления в них РЛИ существенно отличаются. На разных ПУ авиацией отличаются структуры полей экрана, порой одни и те же объекты отображаются разным цветом, отсутствуют звуковые сигналы и речевые сообщения. Перечень недостатков можно продолжить.

На основе проведенного анализа информационных моделей представления РЛИ в настоящее время разработаны принципы построения базовой информационной модели с возможностью ее наращивания дополнительными функциями, отражающими специфику деятельности конкретного должностного лица. В отличие от известных информационных моделей в ней кроме отображения РЛИ рассмотрены вопросы применения звуковых сигналов и речевых сообщений.

⁵ Кузьменков В.Ю., Михайлов А.Г. Критика принципа «приоритетного источника» при обработке разноточных измерений // Научно-методические материалы XXI научно-технической конференции. М.: ЦНИИ «Комета», 2001.

В современных условиях повышается значимость объективного контроля не только действий лиц боевых (оперативных) расчетов, но и полноты и качества РЛИ, поэтому актуально **внедрение современных средств регистрации и хранения РЛИ**, отображаемой на рабочих местах лиц боевых (оперативных) расчетов ПУ авиацией. Объективный контроль представляет собой комплекс мероприятий по сбору, обработке и анализу инструментально-регистрируемой информации о работоспособности авиационной техники, наземных средств обеспечения полетов, о полноте и качестве выполнения полетных заданий экипажами воздушных судов, соблюдения правил летной и технической эксплуатации авиационной техники, о действиях лиц группы руководства полетами, расчетов ПУ, центров единой системы организации воздушного движения, средств радиолокации, связи, радиотехнического обеспечения и АСУ⁶. Пункты управления авиацией считаются не готовыми к работе, если штатные средства объективного контроля неисправны, не заряжены носителями информации и на них не выполнены регламентные работы.

Для удобства анализа зарегистрированной информации в средствах объективного контроля должна иметься возможность синхронного воспроизведения видео и речевых каналов регистрации. В отличие от известных подходов к процессу объективного контроля предлагается сделать **механизм экспресс-анализа зарегистрированных данных его неотъемлемой частью**. Это необходимо в первую очередь для своевременной организации поисково-спасательных работ и выявления причин авиационных происшествий.

В процессе доведения информации потребителям возникают конфликты, когда производительность источника РЛИ по приему и обработке данных об обстановке в воздухе ограничена. Подходы к отбору информации для выдачи потребителям в разных видах и родах войск существенно отличаются. Данное обстоятельство не позволяет однозначно понимать те условия, при которых та или иная информация потребителю не поступает. Поэтому разрешение указанного противоречия на основе **применения унифицированных алгоритмов многокритериального приоритетного отбора** также важный аспект совершенствования РЛО.

Таким образом, основными направлениями совершенствования РЛО полетов авиации являются: развитие методического аппарата оценки эффективности функционирования систем, комплексов и средств РЛО; применение оптимальных методов, позволяющих оценить характеристики текущих ошибок, и реализация новых алгоритмов обработки сигналов, отраженных от пространственно-распределенных целей; планирование размещения источников РЛИ на местности с целью максимизации коэффициента перекрытия пространства действия, управления ими и получение от них единичных замеров с текущими показателями качества измерений; траекторное сглаживание разноточных неэквидистантных измерений с учетом текущих ошибок и применение алгоритмов обнаружения маневра, позволяющих оценить текущую вероятность правильного обнаружения маневра определенной интенсивности при фиксированной вероятности ложной тревоги; создание базовой информационной модели с возможностью ее наращивания дополнительными функциями, отражающими специфику деятельности конкретного должностного лица боевого (оперативного) расчета ПУ авиацией; применение современных аппаратных средств не только для хранения данных об обстановке в воздухе, но и для экспресс-анализа зарегистрированной информации; применение алгоритмов многокритериального приоритетного отбора при обмене с потребителями, обладающими ограниченной производительностью.

⁶ Федеральные авиационные правила по организации объективного контроля в государственной авиации. Введены в действие приказом МО РФ от 17 октября 2001 года № 420.