

УДК 621.396.969.181.24

А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ РАБОТНОГО ВРЕМЕНИ ЗРК ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ РЛС ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ С ШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ

*Проведен анализ возможностей сокращения рабочего времени ЗРК за счет применения в РЛС целеуказания с зондирующих сигналов с широкой полосой частот, которая обеспечивает разрешение элементов воздушных целей по дальности.*

**Ключевые слова:** рабочее время ЗРК, радиолокационная обработка сигналов, обзорные РЛС целеуказания, широкая полоса частот, точность боевой информации.

### Введение

**Постановка проблемы.** Развитие средств воздушно-космического нападения (СВКН) предопределяет повышение требований к авиации и зенитным ракетным комплексам (ЗРК) относительно уничтожения воздушных целей, эффективность применения которых в значительной степени определяется качеством радиолокационной разведки и выдачей боевой и разведывательной информации [1].

Эффективность применения ЗРК по маневрующим и групповым целям воздушного противника, а также применение им противорадиолокационных ракет требует сокращения рабочего времени ЗРК. Это может достигаться путем высокой точности целеуказания (ЦУ), которое обеспечивает безошибочное обнаружение и захват воздушной цели (ВЦ). Однако при этих условиях воздушной обстановки возникают динамические ошибки координат целеуказания, которые значительно ухудшают вероятность безошибочного обнаружения и увеличивают рабочее время ЗРК. В настоящее время основным средством ведения постоянной разведки воздушного пространства есть обзорные радиолокационные станции (РЛС), к одной из задач которых относится своевременная выдача боевой информации [1], с точностью существенным образом высшей, чем разведывательной. Таким образом одним из путей сокращения рабочего времени ЗРК является повышение возможностей по выдаче боевой информации РЛС боевого режима радиотехнических войск (РТВ) для обеспечения

высокой вероятности безошибочного обнаружения и захвата цели при боевой работе ЗРК по скоростным, маневренным и групповым целям [7].

**Анализ литературы.** В [3] результатами моделирования доказано, что применение сигналов с широкой полосой частот, которая обеспечивает разрешение элементов воздушных целей по дальности, позволяет увеличить точность измерения дальности, а также азимута для всех типов целей при отношении сигнал-шум более 13 – 15 дБ. В [2] предложен метод измерения радиальной скорости при обработке одной пачки широкополосных (ШП) сигналов, отраженных от цели. А в [4, 5] показано, что алгоритм экстраполяции, с учетом оценок радиальной скорости цели полученной при обработке ШП сигналов позволяет значительно уменьшить динамическую ошибку экстраполяции дальности, вызванную интенсивным маневром и наличием «кажущихся» ускорений, при несущественном увеличении флуктуационной ошибки независимо от величины полного вектора скорости. В [6] предложен метод обнаружения маневра ВЦ путем оценки сигнальной информации полученной на основе применения широкополосных (ШП) сигналов. Таким образом разработка и совершенствование методов обработки ШП и сверхширокополосных (СШП) сигналов позволит уменьшить ошибки радиолокационных измерений и расширить вектор измеренных параметров цели. В свою очередь учет дополнительных параметров движения воздушной цели при вторичной обработке радиолокационной информации (ВО РЛИ) обеспечит снижение ошибок це-

леуказання, предотвращение срыва и перепутывания сопровождаемых трасс целей. Далее рассматриваются возможности снижения рабочего времени ЗРК за путем достижения требуемой точности и дискретности боевой информации при применении в РЛС РТВ и ЗРВ сигналов с широкой полосой частот, которые обеспечивают разрешение элементов воздушных целей по дальности.

### Основная часть

Повышение точности боевой информации обзорных РЛС целеуказания представляет собой многоэтапный процесс взаимосвязанных операций и приемов радиолокационной обработки сигналов с широкой полосой частот. Совокупность операций  $F(y)$  обработки широкополосных сигналов  $y(t)$  обеспечивает повышение точности боевой информации, от которой зависит величина вероятности безошибочного обнаружения воздушной цели  $p_{цц}$ . С математической точки зрения задача повышения вероятности безошибочного обнаружения ВЦ сводится к отысканию такого оператора системы  $F(y)$ , при котором достигается максимум вероятности безошибочного обнаружения воздушной цели  $p_{цц}$  как целевого функционала:

$$p_{цц} = \Phi(F(y)). \quad (1)$$

Одним из методов синтеза структуры является динамическое программирование, при этом экстремум функционала ищется путем ряда последовательных шагов, что в ряде случаев облегчает решение задачи при применении ЭВМ [5].

Повышение вероятности безошибочного обнаружения воздушной цели производится с целью сокращения рабочего времени ЗРК, что возможно при выполнении необходимых условий:

- обзорная РЛС обнаружила ВЦ и ее траекторию;
- обзорная РЛС производит правильную селекцию истинной отметки ВЦ, и правильное целераспределение ЗРК;
- точность боевой информации на выходе устройств ВО РЛИ обеспечивает требуемую величину  $p_{цц}^*$ .

Вероятность выдачи ЦУ, точность которого обеспечивает безошибочное обнаружение ВЦ необходимо рассчитывать с учетом динамических (систематических) ошибок по [7]:

$$p_{цц}^* = \left[ \Phi^* \left( \frac{0,5R_r - \Delta r_{цц}}{\sigma r_{цц}} \right) - \Phi^* \left( \frac{-0,5R_r - \Delta r_{цц}}{\sigma r_{цц}} \right) \right] \times \left[ \Phi^* \left( \frac{0,5R_{vr} - \Delta V r_{цц}}{\sigma V r_{цц}} \right) - \Phi^* \left( \frac{-0,5R_{vr} - \Delta V r_{цц}}{\sigma V r_{цц}} \right) \right] \times$$

$$\times \left[ \Phi^* \left( \frac{0,5R_\beta - \Delta \beta_{цц}}{\sigma \beta_{цц}} \right) - \Phi^* \left( \frac{-0,5R_\beta - \Delta \beta_{цц}}{\sigma \beta_{цц}} \right) \right] \times \left[ \Phi^* \left( \frac{0,5R_\epsilon - \Delta \epsilon_{цц}}{\sigma \epsilon_{цц}} \right) - \Phi^* \left( \frac{-0,5R_\epsilon - \Delta \epsilon_{цц}}{\sigma \epsilon_{цц}} \right) \right], \quad (2)$$

где  $\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$  – интеграл вероятности;

$R_\beta, R_\epsilon, R_r, R_{vr}$  – размеры просматриваемого без поиска пространства на экранах индикаторов по соответствующим координатам;

$\Delta r_{цц}, \Delta V r_{цц}, \Delta \beta_{цц}, \Delta \epsilon_{цц}$  – динамические ошибки целеуказания;

$\sigma r_{цц}, \sigma V r_{цц}, \sigma \beta_{цц}, \sigma \epsilon_{цц}$  – СКО ошибок выдачи ЦУ.

Следовательно, вероятность безошибочного обнаружения можно рассчитать как:

$$p_{цц} = p_{цц}^* \cdot p_{D/F} \cdot p_{от} \cdot p_{пс}, \quad (3)$$

где  $p_{D/F}$  – условная вероятность правильного обнаружения ВЦ;

$p_{от}$  – вероятность обнаружения траектории ВЦ;

$p_{пс}$  – вероятность правильной селекции ВЦ.

Поэтому необходимо исследовать операции радиолокационной обработки ШП сигналов в следующем порядке:

- обнаружение пачки ШП сигналов;
- измерение радиальной скорости;
- измерение дальности;
- измерение азимута;
- экстраполяция и фильтрация отметок траекторий ВЦ;
- селекция отметок и траекторий ВЦ.

Учет возможности повышения вероятности безошибочного обнаружения ВЦ на каждом этапе обработки радиолокационной информации по данным обзорных РЛС обеспечивает повышение основных показателей боевой информации:

- достоверность;
- полнота;
- точность.

Тогда для повышения вероятности безошибочного обнаружения ВЦ ЗРК необходимо решать следующие задачи.

Обнаружение ВЦ обзорными РЛС с ШП сигналами необходимо производить в результате накопления энергии всей пачки отраженных ШП сигналов. Качество автоматического обнаружения пачки ШП сигналов оценивать при  $p_{D/F} \geq 0,9$ .

Вероятность правильной селекции  $p_{пс}$  необходимо повышать путем разработки метода селекции с учетом радиальной скорости и сигнальной информации ШП сигналов. При этом величина  $p_{пс}$  долж-

на забезпечувати требуемую дискретність часу видачі бойової інформації, а також правильне целерасподілення ВЦ, особливо в умовах багатоцільової ситуації супроводження групових маневруючих ВЦ.

Методи первинної обробки ШС сигналів повинні забезпечувати підвищення точності бойової інформації шляхом зменшення СКО помилок вимірюваних параметрів виявленого сигналу:

$$\left| \sigma_{\hat{\beta}_{\text{ШП}}}, \sigma_{\hat{\Gamma}_{\text{ШП}}} \right| < \left| \sigma_{\hat{\beta}_{\text{УЗК}}}, \sigma_{\hat{\Gamma}_{\text{УЗК}}} \right| \quad (4)$$

Також на етапі первинної обробки необхідно забезпечити розширення вектора спостережуваних параметрів сигналу шляхом вимірювання радіальної швидкості ВЦ в межах виявленої пачки ШП сигналів:

$$\left| \hat{\beta}_{\text{УЗК}}, \hat{\Gamma}_{\text{УЗК}} \right| \Rightarrow \left| \hat{\beta}_{\text{ШП}}, \hat{\Gamma}_{\text{ШП}}, \hat{V}_{\text{ШП}} \right|. \quad (5)$$

Підвищення точності бойової інформації на етапі ВО РЛІ необхідно забезпечити шляхом розробки методів траєкторного супроводження, які враховують оцінки радіальної швидкості, отримані при первинній обробці пачки ШП сигналів. При цьому врахування оцінки радіальної швидкості необхідно забезпечити як в полярній, так і прямокутній системі координат.

Враховувати оцінки радіальної швидкості ВЦ, отримані по двом оцінкам дальності і в результаті обробки кожної пачки ШП сигналів для безпечного виявлення маневра ВЦ.

## Висновки

Одним з шляхів скорочення робочого часу ЗРК і підвищення ймовірності безпомилкового виявлення є підвищення точності бойової інформації, що представляє собою багатетапний процес взаємопов'язаних операцій і прийомів радіолокаційної обробки сигналів з широкою смугою частот.

В роботі проведено аналіз основних етапів обробки радіолокаційної інформації по даним

РЛС цілеуказання і можливостей підвищення показателів її точності, достовірності і повноти. Установлено однозначна функціональна зв'язь між показателями процесу забезпечення бойової інформації ЗРК.

Визначено сукупність завдань, рішення яких призводить до скорочення робочого часу ЗРК при бойовій роботі по груповим, маневрним ВЦ.

## Список літератури

1. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торочин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України. – Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
2. Ковтунов А.Л. Методи виявлення ширококутових сигналів та виміру радіальної швидкості цілі в оглядових РЛС / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 4(33). – С. 78-81.
3. Ковтунов А.Л. Методи вимірювання координат повітряних цілей в оглядових РЛС з використанням надширококутових радіолокаційних сигналів / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 7(105). – С. 91-94.
4. Методи вторинної обробки РЛІ в обзорних РЛС використовують полярну систему координат з застосуванням СШП сигналів / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, З.З. Закиров, М.П. Батуринов // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2013 – Вип. 1(34). – С. 74-78.
5. Методи вторинної обробки радіолокаційної інформації в обзорних РЛС використовують прямокутну систему координат з застосуванням СШП сигналів / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, З.З. Закиров, М.П. Батуринов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(108). – С. 70-74.
6. Ковтунов А.Л. Метод виявлення маневра радіолокаційної цілі в обзорних РЛС з використанням суперширокополосних сигналів / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, М.П. Батуринов, Л.В. Польшина // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 3(36). – С. 71-75.
7. Неупокоев Ф.К. Протиповітряний бій / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воєніздат, 1989. – 262 с.

Поступила в редакцію 7.11.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Сухаревський, Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МОЖЛИВОСТІ ЗІ СКОРОЧЕННЯ РОБОЧОГО ЧАСУ ЗРК ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ РЛС ЦІЛЕКАЗІВКИ ІЗ ШИРОКОСМУГОВИМИ СИГНАЛАМИ

А.Л. Ковтунов С.П. Лещенко

Проведено аналіз можливостей скорочення робочого часу ЗРК за рахунок застосування в РЛС цілеказівки зондувальних сигналів із широкою смугою частот, що забезпечує розрізнення елементів повітряних цілей по дальності.

**Ключові слова:** робочий час ЗРК, радіолокаційна обробка сигналів, оглядові РЛС цілеказівки, широка смуга частот, точність бойової інформації.

## REDACTION POSSIBILITIES OF OPERATING TIME OF ANTI-AIRCRAFT COMPLEX USING RADARS OF TARGET DESIGNATION WITH BROADBAND SIGNALS

A.L. Kovtunov, S.P. Leshchenko

Redaction possibilities of operating time of anti-aircraft complex using radars of target designation from probing signals with broadband frequencies, which gives the resolution of air targets elements of range, are analyzed.

**Keywords:** operating time of anti-aircraft complex, radar signals processing, surveillance radars of target designation, broad frequency band, accuracy of urgent information.