

УДК 623.681.93

Д.В. Кныш

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## АНАЛИЗ БОЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗРК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ СОПРОВОЖДЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЛС

В статье на основе анализа боевой эффективности ЗРК при применении существующих показателей качества управления режимом сопровождения МФ РЛС сделан вывод о том, что принятие однозначного решения о предпочтении при управлении режимом сопровождения того или иного из рассматриваемых показателей качества является невозможным.

**Ключевые слова:** многофункциональная РЛС, режим сопровождения.

### Введение

**Постановка проблемы.** Эффективность многофункциональной радиолокационной станции (МФ РЛС) зенитного ракетного комплекса (ЗРК) в любом из режимов её работы зависит от управления этим режимом, оптимального в смысле принятого показателя качества. Реализация данного управления приводит к затратам временных и энергетических ресурсов МФ РЛС, под которыми понимаются соответственно время и энергия излучения в заданном направлении [1, 2].

Управление различными режимами работы МФ РЛС осуществляется путём целенаправленного изменения их характеристик, выбираемых из совокупности т.н. регулируемых (управляемых) параметров и обеспечивающих требуемые значения принятых для каждого режима показателей качества [1, 2]. Совокупность управляемых параметров, в свою очередь, может быть заменена единым управляемым параметром - нормированным коэффициентом энергопотребления (КЭП)  $k$ -го функционального режима РЛС.

**Анализ последних исследований и публикаций.** К последним исследованиям по данной тематике относятся работы [3] и [4]. В них получены относительные оценки расхода ресурсов МФ РЛС в режиме сопровождения при использовании различных показателей качества управления, которые по отдельности минимизируют энергозатраты РЛС, время или ошибки сопровождения цели. Однако в этих работах отсутствуют общие выражения, позволяющие получать такие оценки при изменении характеристик (или условий функционирования) РЛС и ЗРК в целом, что и определяет актуальность данной публикации.

**Целью статьи** является проведение анализа боевой эффективности ЗРК при применении существующих показателей качества управления режимом сопровождения МФ РЛС.

### Основная часть

В общем случае под боевой эффективностью ЗРК понимается его способность выполнять боевую задачу по предотвращению ущерба, который могут нанести средства воздушного и ракетного нападения противника обороняемому объекту [2].

Показатель боевой эффективности ЗРК в виде предотвращённого ущерба наиболее удобен для оценки качества работы МФ РЛС как одной из его подсистем. При этом величина данного показателя  $U$  может быть определена как разность между выигрышем  $G$ , который обеспечивает данная МФ РЛС самому ЗРК, и затратами на его достижение  $C$  [3].

Пусть МФ РЛС наводит по одной ЗУР на  $N_{ц}$  однотипных целей из общего количества находящихся в её зоне обзора  $N_{ц}^{обз}$  целей. Тогда выражение для расчета  $G$  записывается следующим образом [4]:

$$G = (N_{ц}/N_{ц}^{обз})N_{ц}^0 \exp(-\sigma_{эн}^2/l_0^2), \quad (1)$$

где  $N_{ц}^0$  - пороговая величина пропускной способности МФ РЛС;  $\sigma_{эн}^2$  - дисперсия ошибки определения положения сопровождаемой цели в экстраполированной точке её траектории;  $l_0$  - параметр закона поражения, определяемый при величине промаха наводимой ЗУР по обстреливаемой цели  $h$  как

$$l_0 = \sqrt{(-h^2/2)/\ln 0,6} [3].$$

Дисперсия экстраполированной ошибки  $\sigma_{эн}^2$  в соотношении (1) характеризует качество информации, выдаваемой МФ РЛС. При сопровождении цели по дальности, а также принятых ранее моделях её движения и проводимых измерений, значение этой дисперсии находится по формуле [2]:

$$\sigma_{эн}^2 = P_{эн} \sigma_R^2, \quad (2)$$

где  $P_{эн}$  - коэффициент, учитывающий число измерений, используемых при экстраполяции ошибки  $\sigma_R^2$  на заданное количество интервалов прогнозирования  $p$ , равных периоду обзора пространства  $T_{обз}$ :

$$P_{эн} = 2 \frac{(n-1)(2n-1) + 6p(n-1) + 6p^2}{n(n^2-1)}.$$

Управление качеством выдаваемой информации, т.е. оптимизация режима сопровождения рассматриваемой МФ РЛС, как было отмечено выше, осуществляется путём изменения его некоторых параметров. Однако взаимосвязанность большинства этих параметров, очевидная из анализа соотношений (1) и (2), не позволяет организовать управление изолированно по каждому из них [3]. Поэтому введём единый управляемый параметр - нормированный КЭП режима сопровождения  $\xi_c$ , показывающий, какая доля временных или энергетических ресурсов МФ РЛС расходуется на сопровождение цели на протяжении периода обзора  $T_{обз}$  [2]:

$$\xi_c = T_{обл}/T_{обз} = E_{обл}/E, \quad (3)$$

где  $E$  – энергия, излученная МФ РЛС за время  $T_{обз}$ .

Т.к. измерения дальности до сопровождаемой цели, проводимые МФ РЛС в каждом из  $n$  последовательных периодов обзора, являются равнозначными, то дисперсия  $\sigma_R^2$  в выражении (2) может быть вычислена применительно к первому периоду обзора, который начинается после перехода на автосопровождение цели на дальности  $R_{ac}$ .

Используя выражения (1) и (2), представим величину  $\sigma_R^2$  как:

$$\sigma_R^2 = \frac{(4\pi)^2 k T_o c^2 \tau_n^2 R_{ac}^4}{G_a^2 \lambda^2 \sigma_u P_{cp} T_{обл}}. \quad (4)$$

Время облучения цели, согласно (3), зависит от КЭП режима сопровождения, поэтому соотношение (4) примет следующий вид:

$$\sigma_R^2 = C_c / \xi_c, \quad (5)$$

где  $C_c$  - коэффициент, связывающий ошибку измерения дальности до цели с долей ресурсов МФ РЛС  $\xi_c$ , выделенной на её обслуживание [2]:

$$C_c = \frac{(4\pi)^2 k T_o c^2 \tau_n^2 R_{ac}^4}{G_a^2 \lambda^2 \sigma_u P_{cp} T_{обз}}.$$

С учётом выражений (2) и (5) заменим соотношение (1) зависимостью выигрыша  $G$  от управляемого параметра  $\xi_c$ :

$$G = (N_{ц}/N_{ц}^{обз}) N_{ц}^0 \exp(-(P_n C_c) / (\xi_c I_0^2)). \quad (6)$$

Выигрыш (6) достигается ценой некоторых энергетических и временных затрат  $C$ , которые при отсутствии ложных тревог могут быть определены как [2]:

$$C = \xi_c (N_{ц}/N_{ц}^{обз}) N_{ц}^0. \quad (7)$$

Таким образом, искомое выражение для расчёта боевой эффективности ЗРК окончательно примет следующий вид:

$$U = (N_{ц}/N_{ц}^{обз}) N_{ц}^0 (\exp(-(P_n C_c) / (\xi_c I_0^2)) - \xi_c). \quad (8)$$

Предотвращённый ущерб (8) фактически представляет собой вероятность поражения ЗРК атакующей обороняемый объект цели, информация о которой обеспечивается МФ РЛС [8, 10, 18, 31]. На рис. 1 показана зависимость этой вероятности от

различных значений КЭП режима сопровождения. Порядок его значений соответствует полученным в [3] результатам, количество интервалов экстраполяции  $p=2$ , а численные величины остальных используемых параметров цели и РЛС аналогичны принятым ранее.

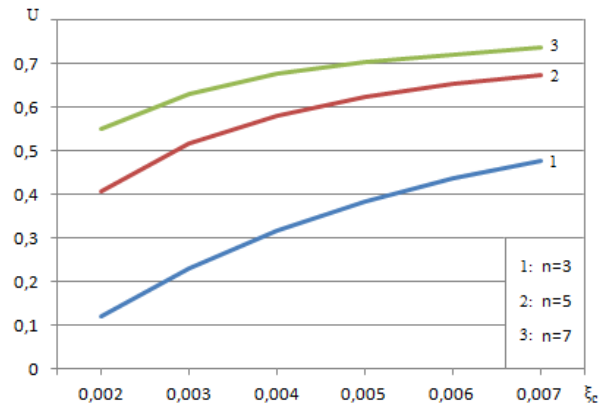


Рис. 1. Зависимость боевой эффективности ЗРК от КЭП режима сопровождения МФ РЛС при различной длительности цикла управления

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что боевая эффективность ЗРК монотонно возрастает при повышении доли ресурсов МФ РЛС, выделяемой на сопровождение каждой обстреливаемой цели, и увеличении длительности этого сопровождения. Таким образом, соотношение (8) устанавливает зависимость между значением боевой эффективности ЗРК и КЭП режима сопровождения  $\xi_c$  входящей в его состав МФ РЛС, обеспечивающим минимизацию того из показателей качества (1) и (2), в соответствии с которым осуществляется управление рассматриваемым режимом в данной конкретной ситуации.

Первый из этих показателей, применяемый для снижения ошибок оценивания координат сопровождаемой цели на заданном рубеже может быть записан как:

$$J_1 = P_n (C_c / \xi_c), \quad (9)$$

где  $P_n$  - коэффициент, пропорциональный числу измерений, используемых при определении ошибки оценки рассматриваемой координаты цели:

$$P_n = \frac{2(2n - 1)}{n(n + 1)}.$$

Показатель качества управления, соответствующий задаче увеличения рубежа выдачи целеуказания, фактически равен количеству периодов обзора, в течение которых достигается требуемая точность сопровождения цели  $\sigma_{тр}^2$ . Следовательно, выражение для его расчёта примет следующий вид:

$$J_2 = (2C_c) / (\sigma_{тр}^2 \xi_c) - 0,5 + \sqrt{(0,5 - (2C_c) / (\sigma_{тр}^2 \xi_c))^2 - (2C_c) / (\sigma_{тр}^2 \xi_c)}. \quad (10)$$

Как было показано в [3], цикл управления рассматриваемым режимом состоит из  $n$  последовательных периодов обзора, для каждого из которых время облучения цели  $T_{обл}$  в выражении (3) является различным. Поэтому показатель качества, максимизирующий пропускную способность РЛС, после соответствующих преобразований будет равен:

$$J_3 = P_{cp} T_{обл} \xi_c \left( 1 + \sum_{i=2}^n R_i^4 / R_{ac}^4 \right), \quad (11)$$

где  $R_i$  – дальность до цели в  $i$ -том периоде обзора.

Выражения (9 – 11) позволяют рассчитать величины соответствующих показателей качества при различных значениях КЭП режима сопровождения.

Современный ЗРК МД должен поражать обстреливаемую цель одной ЗУР с вероятностью не ниже 0,4 [4]. Для рассматриваемых условий такая вероятность поражения обеспечивается при величине КЭП режима сопровождения МФ РЛС не менее 0,0055 (рис. 1). При этом показатели качества  $J_1 - J_3$  принимают следующие значения (рис. 2):

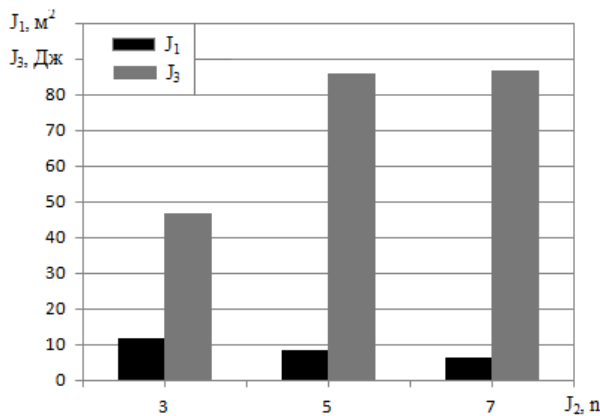


Рис. 2. Численные значения существующих показателей качества управления режимом сопровождения МФ РЛС при фиксированном КЭП

Результаты, представленные на рис. 1, позволяют сделать вывод о том, что для фиксированной величины  $\xi_c$  боевая эффективность ЗРК вида (8)

достигает своего наибольшего значения при максимальной длительности сопровождения цели, которой соответствует минимум показателя  $J_1$ . Однако в этом случае показатели  $J_2$  и  $J_3$  имеют максимумы (рис. 2). Следовательно, данная величина управляемого параметра режима сопровождения  $\xi_c$  не может считаться оптимальной с точки зрения увеличения рубежа выдачи целеуказания или повышения пропускной способности МФ РЛС. С другой стороны, очевидно, что минимизация показателей  $J_2$  и  $J_3$  при неизменном  $\xi_c$  приводит к уменьшению значения выражения (8).

## Вывод

Таким образом, принятие однозначного решения о предпочтении при управлении режимом сопровождения того или иного из рассматриваемых показателей качества является невозможным, а их взаимная противоречивость обуславливает необходимость поиска некоего компромисса между ними для обеспечения требуемого уровня боевой эффективности ЗРК [3].

## Список литературы

1. Конторов Д.С. Введение в радиолокационную системотехнику / Д.С. Конторов, Ю.С. Голубев-Новожилов. – М.: Сов. радио, 1971. – 368 с.
2. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация / С.З. Кузьмин. – К.: КВИЦ, 2000. – 428 с
3. Выбор показателя качества управления режимом сопровождения многофункциональной РЛС / О.Л. Смирнов, О.Н. Ставицкий, Е.А. Рябоконт, В.Н. Чепига // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУ ПС, 2009. – Вип. 2(20). – С. 38-41.
4. Оптимальное управление режимом сопровождения многофункциональной РЛС / О.Л. Смирнов, О.Н. Ставицкий, Е.А. Рябоконт, Д.В. Кныш // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2011. – Вип. 4(94). – С. 74-78.

Поступила в редколлегию 14.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. Е.Л. Казаков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## АНАЛІЗ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗРК ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ІСНУЮЧИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМОМ СУПРОВОДУ МФ РЛС

Д.В. Кныш

У статті на основі аналізу бойової ефективності ЗРК при застосуванні існуючих показників якості управління режимом супроводу МФ РЛС зроблений вивід про те, що ухвалення однозначного рішення про перевагу при управлінні режимом супроводу того або іншого з даних показників якості є неможливим.

**Ключові слова:** багатофункціональна РЛС, режим супроводження.

## ANALYSIS OF BATTLE EFFICIENCY ANTI-AIRCRAFT AT APPLICATION OF EXISTENT INDEXES OF QUALITY OF MANAGEMENT MODE OF ACCOMPANIMENT OF MULTIFUNCTIONAL RADAR STATION

D.V. Knysh

In the article on the basis of analysis of battle efficiency of anti-aircraft at application of existent indexes of quality of management the mode of accompaniment of multifunctional radar station a conclusion is done that acceptance of synonymous decision about a preference at a management the mode of accompaniment one or another from the examined indexes of quality is impossible.

**Keywords:** multifunctional radar station, tracking mode.