

УДК 623.681.93

О.Л. Смирнов<sup>1</sup>, О.Н. Ставицкий<sup>1</sup>, Е.А. Рябоконь<sup>1</sup>, В.Н. Чепига<sup>2</sup>, Д.В. Кныш<sup>1</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков<sup>2</sup>ООО "Фактор", Днепропетровск

## АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЛС В РЕЖИМЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ

Получена система выражений, позволяющая проводить оценку затрат временных и энергетических ресурсов многофункциональной РЛС в режиме сопровождения при различных показателях качества управления этим режимом.

**Ключевые слова:** многофункциональная РЛС, режим сопровождения, временные и энергетические ресурсы, показатель качества управления.

### 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].

Применительно к режиму сопровождения это означает, что временные ресурсы МФ РЛС, расходуемые на сопровождение цели, определяются длительностью её облучения  $T_{обл}$ , а энергетические – количеством энергии  $E_{обл}$ , излучаемой за время  $T_{обл}$ .

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. В частности, КЭП режима сопровождения  $\xi_c$  показывает, какая доля общего ресурса МФ РЛС расходуется на обслуживание цели в течение периода обзора пространства длительностью  $T_{обз}$  [3, 4]

$$\xi_c = T_{обл} / T_{обз} = E_{обл} / E, \quad (1)$$

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

Определение величины  $\xi_c$  или, другими словами, анализ распределения временных и энергетических ресурсов МФ РЛС при различных показателях качества управления рассматриваемым режимом, позволяет провести сравнительную оценку эффективности применения этих показателей при

изменении условий функционирования РЛС и ЗРК. Поэтому основным содержанием обсуждаемой в настоящей статье проблемы является получение системы выражений, связывающих величину  $\xi_c$  (а также, следовательно,  $T_{обл}$  и  $E_{обл}$ ) с характеристиками МФ РЛС, влияющими на качество её работы в режиме сопровождения.

**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 получение системы математических выражений, обеспечивающих анализ расхода временных и энергетических ресурсов МФ РЛС при использовании различных показателей качества управления режимом сопровождения.

**Постановка задачи.** Имеются три частных показателя качества управления режимом сопровождения МФ РЛС, которые соответственно минимизируют ошибки оценки координат цели ( $J_1$ ), время её сопровождения ( $J_2$ ) или энергозатраты РЛС ( $J_3$ ) [3]. Необходимо получить оценки величины КЭП режима сопровождения  $\xi_c$ , связывающего между собой всю совокупность рассматриваемых показателей качества, при различных условиях функционирования РЛС и ЗРК.

### Изложение основного материала

Рассмотрим МФ РЛС, которая без пропусков и повторов угловых направлений осуществляет обзор

заданной области пространства (зоны обзора) за соответствующий период обзора  $T_{обз}$ . Несколько последовательных периодов обзора составляют т.н. цикл управления РЛС, под которым будем понимать интервал времени, в пределах которого предварительно рассчитанное управление режимами работы МФ РЛС является неизменным [5]. При относительно небольшом (не превышающим нескольких десятков секунд) располагаемом времени обслуживания цели длительность цикла управления  $T_{цy}$  должна определяться с учётом разведывательных и огневых возможностей ЗРК (дальности перехода на автосопровождение обнаруженной цели  $R_{ac}$  и величины дальней границы зоны поражения  $D_{пор}^{др}$ ), а также скорости цели  $V_{ц}$ :

$$T_{цy} = (R_{ac} - D_{пор}^{др}) / V_{ц} \quad (2)$$

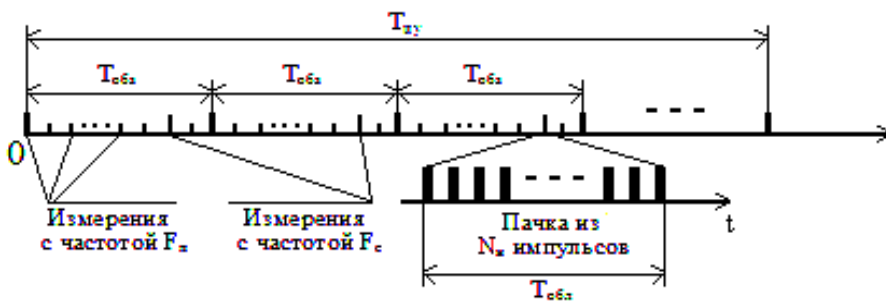


Рис. 1. Временные соотношения исследуемого процесса

При сопровождении цели, например, по дальности  $R$  объём пачки излучаемых импульсов равен [1, 7]:

$$N_{и} = \frac{c^2 \tau_{и}^2}{4\pi q_1 \sigma_R^2} \quad (3)$$

где  $c$  – скорость света;  $\tau_{и}$  – длительность зондирующего импульса;  $q_1$  – отношение сигнал/шум для одного зондирующего импульса [4];  $\sigma_R^2$  – дисперсия ошибки оценки дальности при  $N_{и}$ -кратном зондировании.

Величина  $N_{и}$  однозначно связана с временем облучения цели [7]:

$$T_{обл} = N_{и} / F_{и} \quad (4)$$

поэтому расходуемый на сопровождение цели временной ресурс может быть определён как

$$T_{обл} = \frac{c^2 \tau_{и}^2 K_n}{4\pi q_1 F_{и} \sigma_{тр}^2} \quad (5)$$

где  $K_n$  – отношение требуемой величины  $\sigma_{тр}^2$  дисперсии ошибки оценивания рассматриваемой координаты к её же значению после проведения  $N_{и}$ -кратного зондирования за один период обзора [4].

Заметим, что, в отличие от эквивалентного выражения для  $T_{обл}$ , полученного в работе [4], соотношение (5) позволяет учесть длительность сопровож-

дения цели и требования к точности оценки её координат.

Например, при  $R_{ac}=15-40$  км,  $D_{пор}^{др}=10$  км,  $V_{ц}=1000$  м/с [6] и  $T_{обз}=3$  с величина  $T_{цy}$  составляет 5 – 30 с, что обеспечивает выполнение от 2 до 10 обзоров пространства.

На протяжении цикла управления РЛС проводятся измерения с частотой  $F_{и}$ , которые расходуются на реализацию её различных функциональных режимов. Основным содержанием рассматриваемого режима сопровождения является измерение координат сопровождаемой цели с частотой  $F_{с} < F_{и}$ . Каждое из этих измерений представляет собой пачку из  $N_{и}$  импульсов, частота повторений которых  $F_{и}$  выбирается из условия однозначности измерения дальности до цели [7] (рис. 1).

При относительно постоянном отношении сигнал/шум для сопровождаемой цели в течении  $n$  периодов обзора [8, 9] параметр  $K_n$  выбирается в соответствии с планируемой длительностью цикла управления  $T_{цy}$  согласно зависимости, показанной на рис. 2:

При относительно постоянном отношении сигнал/шум для сопровождаемой цели в течении  $n$  периодов обзора [8, 9] параметр  $K_n$  выбирается в соответствии с планируемой длительностью цикла управления  $T_{цy}$  согласно зависимости, показанной на рис. 2:

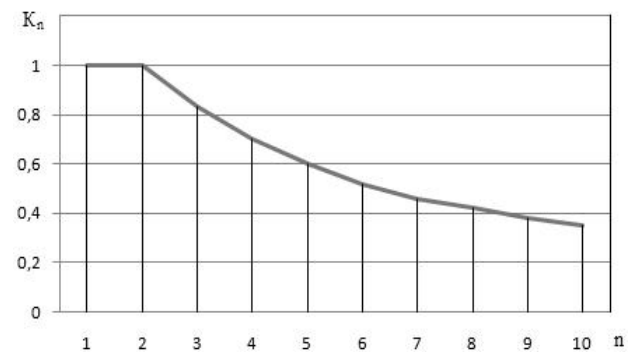


Рис. 2. Зависимость параметра  $K_n$  от количества периодов обзора  $n$

Используя соотношения (1) и (5), запишем следующее выражение для расчёта КЭП режима сопровождения, обеспечивающего заданную точность оценки координат сопровождаемой цели за соответствующее количество периодов обзора:

$$\xi_c = \frac{c^2 \tau_{\text{н}}^2 K_{\text{п}}}{4\pi q_1 F_{\text{н}} \sigma_{\text{тр}}^2 T_{\text{обз}}} \quad (6)$$

На рис. 3 представлені результати цього розрахунку для ряду значень величини  $\sigma_{\text{тр}}^2$  і дальності  $R_{\text{ас}}$  (здесь і далі, за виключенням окремо оговорених випадків, характеристики цілі і РЛС аналогічні прийнятій в роботі [3]). Аналіз отриманих результатів показує наступне.

Требувана точність супроводження цілі при зміні дальності  $R_{\text{ас}}$  зберігається за рахунок регулювання витрати часових і енергетических ресурсів МФ РЛС. При цьому різні комбінації значень  $\sigma_{\text{тр}}^2$  і  $R_{\text{ас}}$  фактично визначають умови функціонування РЛС (ЗРК). Кожній такій комбінації відповідає своє значення  $\xi_c$ , забезпечуюче мінімум показателя якості  $J_1$  або  $J_2$ , який може бути досягнутий в даних умовах. При зміні вимог до точності супроводження цілі або виборі нового рубежа переходу на автосупроводження відбувається перерозподіл часових і енергетических ресурсів МФ РЛС, виражене відповідним зміном величини КЭП  $\xi_c$ . Крім того, параметр  $\xi_c$ , в відповідності з (1), визначає енерговитрати МФ РЛС в розглянутому режимі при фіксованих значеннях  $\sigma_{\text{тр}}^2$  і (або)  $R_{\text{ас}}$ , т.е. величину показателя  $J_3$ . Таким чином, вираження (6) встановлює однозначну взаємозв'язок між КЭП режиму супроводження РЛС  $\xi_c$  і умовами її функціонування.

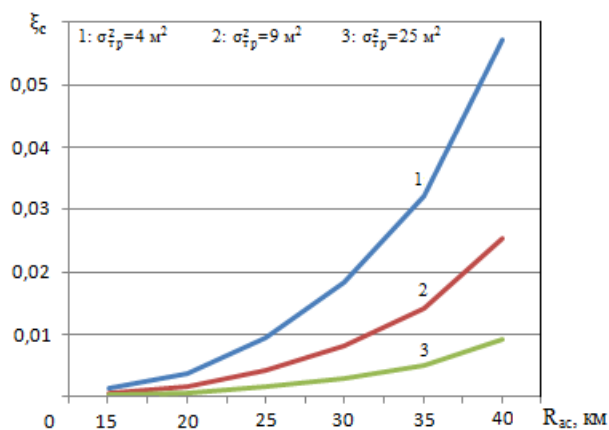


Рис. 3. КЭП режиму супроводження при різних вимогах до точності оцінки координат цілі і дальності переходу на автосупроводження

Соотношения (1) – (6) позволяют непосредственно определять величины затрат временных и энергетических ресурсов МФ РЛС, необходимых для реализации режима супроводження, при различных показателях качества управления этим ре-

жимом.

На рис. 4 приведены варианты распределения указанных ресурсов МФ РЛС для разных значений точности оценки координат сопровождаемой цели и длительности её сопровождения, выраженной через соответствующее количество периодов обзора.

Анализ представленных данных показывает, что для выполнения различных требований к точности и длительности сопровождения цели, а также расходу ресурсов МФ РЛС, величина КЭП  $\xi_c$  должна изменяться в широком диапазоне. Т.к. в большинстве случаев эти требования являются принципиально противоречивыми [3, 4], то, следовательно, оптимальное значение  $\xi_c$  может быть только результатом некоторого компромисса между ними.

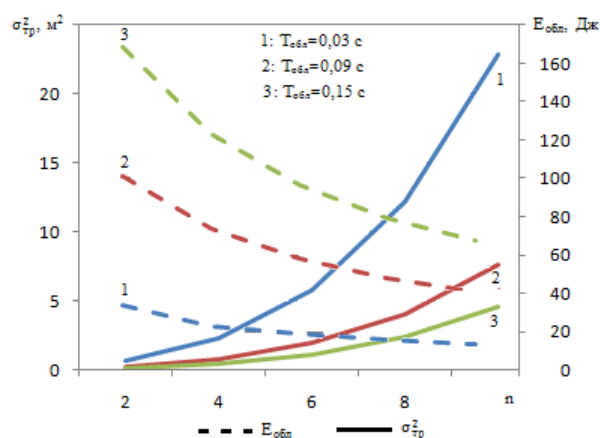


Рис. 4. Распределение временных и энергетических ресурсов МФ РЛС при различных требованиях к точности оценки координат цели и длительности её сопровождения

Изменение величины КЭП  $\xi_c$  не только приводит к варьированию характеристик режима супроводження, но и оказывает косвенное влияние на другие одновременно реализуемые режимы работы МФ РЛС. Например, используя описанный в работе [5] подход, представим длительность периода обзора МФ РЛС, осуществляющей осмотр заданного сектора пространства с одновременным супроводжением  $N$  целей, в следующем виде:

$$T_{\text{обз}} = \left[ \frac{\Phi_{\text{аз}} \Phi_{\text{ум}}}{\Theta_{\text{аз}} \Theta_{\text{ум}}} - N \right] \frac{M}{F_{\text{п}}} + \sum_{i=1}^N T_{\text{обл}i}, \quad (7)$$

где  $\Phi_{\text{аз}}$  и  $\Phi_{\text{ум}}$  – размер зоны обзора МФ РЛС в азимутальной и угломестной плоскостях соответственно;  $\Theta_{\text{аз}}$  и  $\Theta_{\text{ум}}$  – ширина диаграммы направленности антенны (ДНА) МФ РЛС в азимутальной и угломестной плоскостях соответственно;  $M$  – количество просмотров одного углового направления зоны обзора.

Согласно условиям рассматриваемой задачи  $N=1$ ,  $M=1$ , поэтому, объединяя соотношения (1) и (7), получим, что

$$F_{\Pi} = \left[ \frac{\Phi_{аз} \Phi_{ум} - 1}{\Theta_{аз} \Theta_{ум}} \right] \frac{1}{(1 - \xi_c) T_{обз}}. \quad (8)$$

Т.к. частота обновления информации о сопровождаемой цели в данном случае  $F_c = 1/T_{обз}$  (см. рис. 1), то выражение (8) может быть записано также как

$$F_{\Pi} = \left[ \frac{\Phi_{аз} \Phi_{ум} - 1}{\Theta_{аз} \Theta_{ум}} \right] \frac{F_c}{(1 - \xi_c)}. \quad (9)$$

Таким образом, распределение временных и энергетических ресурсов МФ РЛС в режиме сопровождения влияет на частоту измерений, проводимых рассматриваемой РЛС для реализации режима обнаружения.

### Выводы

Для проведения оценки эффективности управления режимом сопровождения МФ РЛС необходимо знать, при каком значении КЭП  $\xi_c$  достигнуты данные величины различных показателей качества этого управления. В настоящей работе предложен новый подход к определению расхода временных и энергетических ресурсов МФ РЛС в режиме сопровождения (т.е. параметра  $\xi_c$ ) при изменяющихся требованиях к точности оценки координат цели, длительности её сопровождения или затрат энергии РЛС. Получены выражения, позволяющие осуществлять анализ распределения временных и энергетических ресурсов МФ РЛС в рассматриваемом режиме путём расчёта соответствующего КЭП  $\xi_c$ .

### Список литературы

1. Конторов Д.С. Введение в радиолокационную системотехнику / Д.С. Конторов, Ю.С. Голубев-Новожилов. – М.: Советское 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 ХУ ПС. – Х., 2009. – Вып. 2 (20). – С. 38-41.
4. Оптимальное управление режимом сопровождения многофункциональной РЛС / О.Л. Смирнов, О.Н. Ставицкий, Е.А. Рябоконт, Д.В. Книш // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 4 (94). – С. 74-78.
5. Саврасов Ю.С. Алгоритмы и программы в радиолокации / Ю.С. Саврасов. – М.: Радио и связь, 1985. – 216 с.
6. Куликов А. Большие проблемы малой дальности / А. Куликов // Воздушно-космическая оборона. – 2009. – № 6 (49). – С. 23-30.
7. Вишнякова Л.В. Система автоматизированного формирования облика зенитных ракетных комплексов / Л.В. Вишнякова, В.И. Кухтенко // Техническая кибернетика. – 1993. – № 6. – С. 137-185.
8. Этингтон Д.А. Многофункциональные вращающиеся РЛС с электронным сканированием для обзора воздушного пространства / Д.А. Этингтон, П.Дж. Карилас, Дж.Д. Райт // ТИИЭР. – 1985. – Т. 73, № 2. – С. 199-216.
9. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

Поступила в редколлегию 10.10.2011

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

### АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ЧАСОВИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЮ РЛС В РЕЖИМІ СУПРОВОДУ

О.Л. Смирнов, О.М. Ставицкий, Е.О. Рябоконт, В.М. Чепига, Д.В. Книш

Отримана система виразів, що дозволяє проводити оцінку витрат тимчасових і енергетичних ресурсів багатофункціональною РЛС в режимі супроводу при різних показниках якості управління цим режимом.

**Ключові слова:** багатофункціональна РЛС, режим супроводу, тимчасові і енергетичні ресурси, показник якості управління.

### ANALYSIS OF ALLOCATION OF TEMPORAL AND POWER RESOURCES MULTIFUNCTION RLS IN MODE OF ACCOMPANIMENT

O.L. Smirnov, O.N. Stavitskiy, E.A. Ryabokon', V.N. Chepiga, D.V. Knyscch

The system of expressions, allowing to conduct the estimation of expenses of temporal and power resources of the multi-function radio-location station in the mode of accompaniment at the different indexes of quality of management this mode, is got.

**Keywords:** multifunction RLS, mode of accompaniment, temporal and power resources, index of management quality.