

УДК 681.5.03.033

*А. А. КОВАЛЬЧУК*, канд. техн. наук,  
*І. І. САЧУК*, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,  
*А. А. СОСУНОВ*, канд. техн. наук, доцент

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ПОДСИСТЕМ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ПО РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ, ДАЛЬНОСТИ И УГЛОВОЙ КООРДИНАТЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЛС**

В статті наведені постановка задачі та результати аналізу перепускної здатності підсистем автосупроводження по радіальній швидкості, дальності та кутовій координаті. Показано, що для практично реалізуємих значень відношення сигнал/шум перепускна здатність багатofункціональної радіолокаційної станції з фазованою антенною решіткою обмежується можливостями підсистеми супроводження за радіальною швидкістю.

В статті приведені постановка задачі та результати аналізу пропускної здатності підсистем автосупроводження по радіальній швидкості, дальності та кутовій координаті. Показано, що для практично реалізуємих значень відношення сигнал/шум пропускна здатність багатofункціональної радіолокаційної станції з фазованою антенною решіткою обмежується можливостями підсистеми супроводження по радіальній швидкості.

The problem of analyzing the throughput of the tracking subsystem by radial velocity, range, and angular coordinates is set and results of its solving are presented in the paper. It is shown that for practically achievable signal to noise ratios the throughput of multifunction radar with phase antenna array is restricted by the capabilities of subsystem for tracking by radial velocity.

**Введение.** Многоканальные РЛС с фазированной антенной решеткой (МК РЛС с ФАР) представляют собой сложные технические устройства, решающие разнообразные задачи по поиску, сопровождению и оцениванию координат воздушных объектов (ВО). В настоящее время такие РЛС широко используются в радиолокационных комплексах благодаря ряду своих преимуществ, в том числе многоканальности за счет временного разделения каналов. В МК РЛС с ФАР при сопровождении определенного ВО последовательные моменты измерения его координат разделяются интервалами времени длительностью  $T$ .

**Постановка задачі.** В режимі супроводження одним із показателів якості функціонування МК РЛС с ФАР може бути прийнята пропускна здатність. В роботах [1, 2] управління довжиною  $T$  інтервала часу між радіоконтактами використовується для оптимізації пропускної здатності. В таких МК РЛС с ФАР, як правило, використовуються системи роз'єднаного автосупроводження [3]. При використанні квазінепрерывного сигналу це системи автосупроводження по кутовим координатам, дальності і радіальній швидкості. При цьому, незважаючи на роз'єднаний характер супроводження, функціонування слідящих систем залежить друг від друга.

Параметри кожної з вищеуказаних слідящих систем автосупроводження впливають на пропускну здатність (один із показателів якості) МК РЛС с ФАР. Дослідження такого впливу дозволить визначити найбільш критичну систему автосупроводження, удосконалення якої забезпечить найбільший приріст показателя якості, або (при обратній постановці задачі) сформулювати вимоги до характеристикам слідящих систем.

В роботах [4, 5] проведено дослідження для системи автосупроводження по радіальній швидкості і дальності. В даній статті буде проведено порівняльний аналіз всіх слідящих систем – систем автосупроводження по радіальній швидкості, дальності і кутовій координаті.

**Целью данной статьи** является сравнительная оценка потенциальной пропускной способности МК РЛС с ФАР для подсистем автосупроводения по радиальной скорости, дальности и угловой координате при различных отношениях сигнал/шум на основе постановки задачи оптимизации, изложенной в [2], с использованием эквивалентных статистических характеристик частотного, временного и углового дискриминаторов из работы [6].

В качестве базовой модели задачи оптимизации примем двухфазную модель массового обслуживания с использованием эквивалентных статистических характеристик частотного, временного и углового дискриминаторов, описанную в работах [2, 4, 7]. При использовании эквивалентных статистических характеристик дискриминаторов (рис. 1) в работе [6] предложен показатель качества радиотехнической следящей системы – вероятность устойчивого сопровождения  $p_n$ . Этот показатель представляет собой вероятность нахождения ошибки сопровождения к следующему радиоконтакту с ВО в пределах апертуры эквивалентной характеристики дискриминатора.

Для стохастической модели движения [8] ВО при адекватности принятой модели движения ВО его реальному движению (при отсутствии систематической ошибки) вероятность устойчивого сопровождения может быть рассчитана в соответствии с выражением [6]

$$p_n = \Phi\left(\frac{L_x}{2\sqrt{2}\sigma_\epsilon}\right), \quad (1)$$

где  $\Phi(\cdot)$  – функция Лапласа;

$L_x$  – ширина апертюры эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора;

$\sigma_e^2 = D_e$  – дисперсия ошибки экстраполяции координаты ВО.

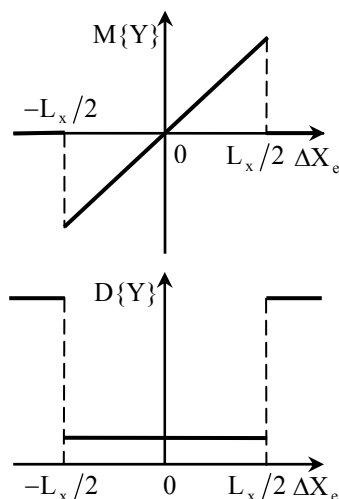


Рис. 1. Эквивалентные дискриминационная и флюктуационная характеристики дискриминатора

Показатель  $p_n$  при отсутствии систематической ошибки является функцией длительности интервала времени  $T$  между радиоконтактами и отношения сигнал/шум  $q$  и неявным образом входит в функционал пропускной способности  $R$  [2]

$$R = F(L_{t_{ny}}, L_{t_{nz}}, L_{t_{cp}}, L_{t_{con}}, T, T_1, q), \quad (2)$$

где  $L_{t_{ny}}$  – функция распределения длительности интервалов времени  $t_{ny}$  между целеуказаниями;

$L_{t_{nz}}$  – функция распределения длительности интервалов времени  $t_{nz}$  поиска и захвата ВО на сопровождение;

$L_{t_{cp}}$  – функция распределения длительности интервалов времени  $t_{cp}$  до срыва сопровождения ВО;

$L_{t_{con}}$  – функция распределения длительности интервалов времени  $t_{con}$  сопровождения ВО;

$T_1$  – длительность интервала времени радиоконтакта с ВО.

С помощью указанного показателя можно оценить только потенциальную (максимально достижимую) пропускную способность.

В работе [2] проведен анализ возможных путей решения задачи оптимизации и показано, что решение этой задачи в общем случае связано с большими трудностями.

Самый простой случай соответствует показательным законам распределения интервалов времени между выдачей целеуказания, поиска и захвата, сопровождения и до срыва сопровождения.

В этом случае двухфазная модель массового обслуживания является марковской с дискретным пространством состояний. По графу переходов между состояниями легко выписывается система дифференциальных уравнений для вероятностей состояний  $S_{ij}$  ( $i$  – количество воздушных объектов на этапе поиска и захвата,  $j$  – количество воздушных объектов на этапе сопровождения) [7]. При этом показатель  $R$  может быть рассчитан через финальные вероятности состояний и решение задачи может быть получено путем относительно несложных вычислений [5, 9]

$$R = \frac{\mu_2}{\lambda} \left( \sum_{j=1}^{k-1} j(P_{0j} + P_{1j}) + kP_{0k} \right) = \frac{\bar{t}_{ny}}{\bar{t}_{con}} \left( \sum_{j=1}^{k-1} j(P_{0j} + P_{1j}) + kP_{0k} \right), \quad (3)$$

где  $P_{ij}$  – финальные вероятности состояний  $S_{ij}$ ;

$\mu_2$  – интенсивность сопровождения;

$\lambda$  – интенсивность потока целеуказаний;

$\bar{t}_{ny}$  – средняя длительность интервала времени между целеуказаниями;

$\bar{t}_{con}$  – средняя длительность интервала времени сопровождения ВО.

Воспользуемся этой же моделью в данной статье и поясним технологию получения зависимостей, приведенных на рис. 2.

Достаточно сложной задачей, требующей проведения объемного статистического исследования, является получение зависимости показателя  $p_n$  от длительности интервала времени  $T$  между радиоконтактами для различных отношений сигнал/шум  $q$ .

Для конкретных частотного, временного и углового дискриминаторов указанная работа уже проделана. Для вероятности устойчивого сопровождения  $p_n$  будем использовать результаты работы [6], в которой приведены зависимости показателя  $p_n$  от длительности интервала времени  $T$  между радиоконтактами для нескольких отношений сигнал/шум  $q$ , полученные при использовании эквивалентных статистических характеристик частотного, временного и углового дискриминаторов.

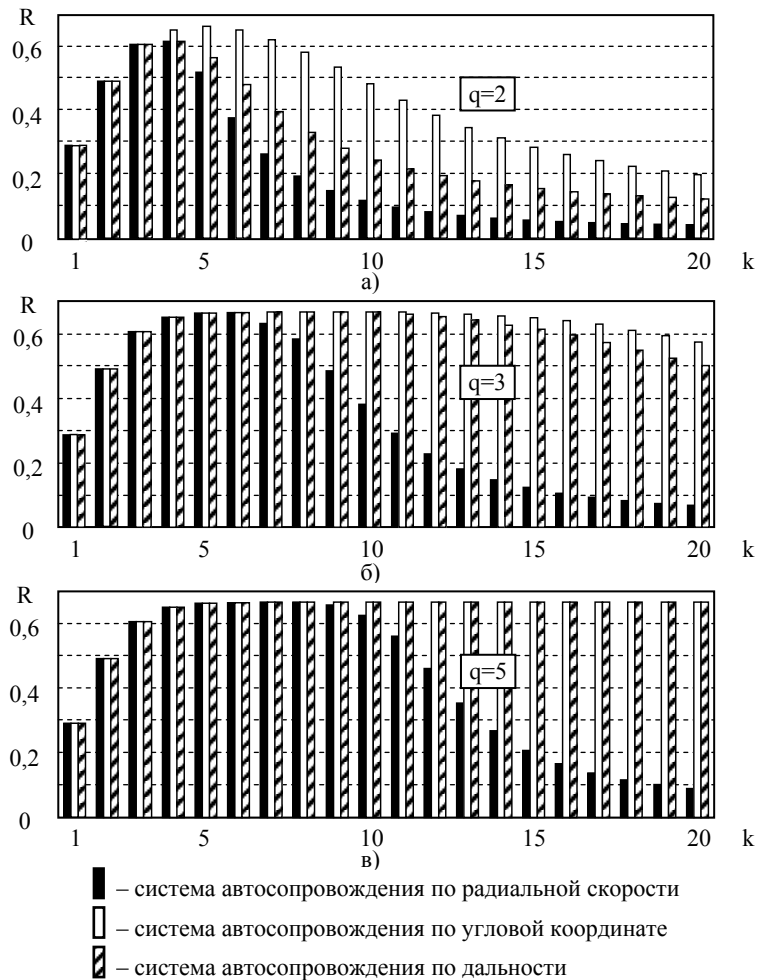


Рис. 2. Зависимость функционала пропускной способности от количества каналов

Для получения численных оценок и сопоставимости результатов данной статьи и работ [4, 5] примем исходные данные, как и в работах [4, 5]: средняя длительность интервалов времени между целеуказаниями  $\bar{t}_{ц\bar{y}} = 20$  с, средняя длительность интервалов времени поиска и захвата  $\bar{t}_{пз} = 10$  с, средняя длительность интервалов времени сопровождения  $\bar{t}_{соп} = 40$  с, средняя длительность интервалов времени до срыва сопровождения

$\bar{t}_{ср} = 0,017k / (1 - p_n(0,017k))$ , где  $k$  – количество каналов сопровождения (второй фазы), для отношений сигнал/шум  $q = 2, 3, 5$ .

**Выводы.** Анализ полученных для типовых условий результатов (рис. 2) позволяет сделать следующие выводы.

Максимум пропускной способности МК РЛС с ФАР при типовых для практики отношениях сигнал/шум  $q \geq 3$  слабо зависит от количества каналов сопровождения по дальности и угловой координате, но сильно зависит от количества каналов сопровождения по радиальной скорости.

Системы автосопровождения по радиальной скорости, дальности и угловой координате могут обеспечивать максимум пропускной способности приблизительно при одинаковом количестве каналов сопровождения каждой системы.

Потенциальные возможности всех следящих систем при отношениях сигнал/шум  $q \geq 5$  ограничиваются одноканальностью захвата.

Указанные результаты получены при допущении о независимости среднего времени поиска и захвата  $\bar{t}_{пз}$  воздушного объекта от количества свободных каналов сопровождения. Проверка обоснованности такого допущения требует отдельного исследования.

**Список литературы:** 1. Самойленко В. И., Шишов Ю. А. Управление фазированными антенными решетками. – М.: Радио и связь, 1983. – 240 с. 2. Ковальчук А. А., Парфенов Ю. Э., Сосунов А. А., Хисматулин В. Ш. Постановка задачи оптимизации пропускной способности многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой путем управления длительностью интервала времени между радиоконтактами // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Выпуск 1. – С. 76-83. 3. Максимов М. В., Меркулов В. И. Радиоэлектронные следящие системы. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с. 4. Ковальчук А. А., Сачук И. И., Сосунов А. А. Оценка потенциальной пропускной способности многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой для подсистемы автосопровождения по дальности // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Выпуск 2. – С. 48-52. 5. Ковальчук А. А., Сосунов А. А., Хисматулин В. Ш. Оценка влияния отношения сигнал/шум на пропускную способность многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой при использовании квазинепрерывного сигнала // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004, Выпуск 4. – с. 94-99. 6. Хисматулин В. Ш., Сачук И. И., Ковальчук А. А. Оценка вероятности надежного сопровождения аэродинамических целей многоканальной радиолокационной станцией // Авиационно-космическая техника и технология. Х.: Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2001. – Выпуск 22. – С. 259-262. 7. Кулинич И. А., Парфенов Ю. Э., Сосунов А. А. Модель для обоснования требований к показателю качества радиотехнической следящей системы // Системы обработки информации. Х.: ХВУ, 2003. – Выпуск 5. – С. 145-150. 8. Зингер Р. А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью // Зарубежная радиоэлектроника. – 1971. – №8, – с. 40-57. 9. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 384 с.

Поступила в редколлегию 10.09.07