

УДК 681.5.03.033

А.М. Печкін

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ПІДСИСТЕМИ АВТОСУПРОВОДЖЕННЯ ЗА КУТОВОЮ КООРДИНАТОЮ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ РЛС З ФАЗОВАНОЮ АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ ДВОМА МОДЕЛЯМИ

Запропоновано використовувати уточнену модель, що враховує залежність середнього часу пошуку і захоплення повітряного об'єкту від кількості вільних каналів, для оцінки одного з показників якості – пропускну спроможності підсистеми автосупроводження за кутовою координатою багатоканальною РЛС з фазованою антенною решіткою. Оцінки показника якості підсистеми автосупроводження за кутовою координатою, що розраховані на підставі уточненої моделі, зіставлені з результатами, що отримані за допомогою вихідної моделі.

**Ключові слова:** автосупроводження за кутовою координатою, пропускну спроможність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Багатоканальні РЛС з фазованими антенними решітками (БК РЛС з ФАР) є складними технічними пристроями, що вирішують різноманітні завдання по пошуку, супроводженню, оцінюванню координат повітряних об'єктів (ПО). В даний час такі РЛС широко використовуються в комплексах радіолокації завдяки ряду своїх безперечних переваг, зокрема багатоканальності за рахунок часового розділення каналів. У БК РЛС з ФАР при супроводженні визначеного ПО послідовні моменти вимірювання його координат розділяються інтервалами часу тривалістю  $T$ .

У режимі супроводження одним з показників якості функціонування БК РЛС з ФАР може бути прийнята пропускну спроможність. У роботах [1, 2] управління тривалістю інтервалу часу між радіоконтактами використовується для оптимізації вказаного показника якості. У таких БК РЛС з ФАР, як правило, використовуються системи роздільного автосупроводження [3]. При використанні квазінеперервного сигналу це системи автосупроводження за кутовими координатами, дальністю і радіальною швидкістю. При цьому, незважаючи на роздільний характер супроводження, функціонування слідкуючих систем залежить один від одного. Параметри кожної з вищезгаданих слідкуючих систем автосупроводження впливають на пропускну спроможність (один з показників якості) БК РЛС з ФАР. Дослідження такого впливу дозволить визначити найбільш критичну систему автосупроводження, вдосконалення якої забезпечить найбільший приріст показника якості, або (при зворотній постановці задачі) сформулювати вимоги до характеристик слідкуючих систем.

У роботі [4] дослідження проведено для системи автосупроводження за кутовою координатою, причому результати отримані при допущенні про

незалежність середнього часу пошуку і захвату  $\bar{t}_{\text{пз}}$  повітряного об'єкту від кількості вільних каналів супроводження, що не відповідає дійсності. Тому потрібна відповідна перевірка обґрунтованості такого допущення для підсистеми автосупроводження за кутовою координатою на основі уточненої моделі [5], в якій враховується залежність величини  $\bar{t}_{\text{пз}}$  від кількості вільних каналів супроводження.

**Метою** даної статті є порівняльна оцінка потенційної пропускну спроможності БК РЛС з ФАР для підсистеми автосупроводження за кутовою координатою за допомогою двох моделей – вихідної моделі, яка не враховує залежність середнього часу пошуку і захвату  $\bar{t}_{\text{пз}}$  повітряного об'єкту від кількості вільних каналів супроводження, і уточненої моделі [5], в якій такий облік відбувається. Дослідження буде проведено при різних відношеннях сигнал/шум  $q$  на основі постановки задачі оптимізації, викладеної в [2], з використанням еквівалентних статистичних характеристик кутового дискримінатора з роботи [6] і з порівнянням з результатами роботи [4].

### Виклад основного матеріалу

Базовою (вихідною) моделлю задачі оптимізації є двофазна модель масового обслуговування з використанням еквівалентних статистичних характеристик кутового дискримінатора, що описана в роботах [2, 4, 7]. При використанні таких характеристик в роботі [6] запропонований показник якості радіотехнічної слідкуючої системи – ймовірність стійкого супроводження  $p_n$ .

Цій показник є ймовірність знаходження помилки супроводження ПО к наступному радіоконтакту в межах апертури еквівалентної характеристики дискримінатора. Показник  $p_n$  за відсутності систематичної помилки є функцією тривалості інтервалу

часу  $T$  між радіоконтактами і відношення сигнал/шум  $q$  і неявним чином входить у функціонал пропускну спроможності  $R$  [2].

За допомогою вказаного показника можна оцінити тільки потенційну (максимально досяжну) пропуску спроможність.

У роботі [2] проведений короткий аналіз можливих шляхів рішення задачі оптимізації і показано, що рішення цієї задачі в загальному випадку пов'язане з великими труднощами.

Найпростіший випадок відповідає показовим законам розподілу випадкових величин – інтервалів часу між видачею цілевказівок, пошуку і захвату, супроводження і до зриву супроводження.

В цьому випадку двофазна модель масового обслуговування є Марківською з дискретним простором станів. По графові переходів між станами легко виписується система диференціальних рівнянь для ймовірності станів  $S_{ij}$ , де  $i$  – кількість повітряних об'єктів (цілей) на етапі пошуку і захвату,  $j$  – кількість повітряних об'єктів (цілей) на етапі супроводження. Показник  $R$  може бути розрахований через фінальні ймовірності станів і рішення задачі може бути отримано аналітично [4, 7, 8]. Скористаємося цією моделлю як вихідною (існуючою) і в даній статті.

Крім цього, необхідно отримати залежності показника  $r_n$  від тривалості інтервалу часу  $T$  між радіоконтактами для різних відношень сигнал/шум, що є самостійним достатньо складним завданням, що вимагає проведення об'ємного статистичного дослідження. Однак, для конкретного кутового дискримінатора вказана робота вже виконана. Для ймовірності стійкого супроводження  $r_n$  використовуватимемо результати роботи [6], в якій приведені залежності показника  $r_n$  від тривалості інтервалу часу  $T$  між радіоконтактами для декількох відношень сигнал/шум  $q$ , що отримані при використанні еквівалентних статистичних характеристик кутового дискримінатора.

В уточненій моделі за наявності цілей на етапі супроводження кількість каналних інтервалів, які виділяються для пошуку і захвату цілі, зменшується пропорційно кількості цілей на етапі обстрілу. Тому інтенсивність пошуку і захвату  $\mu_{1j} = 1/\bar{t}_{пз}$  ПО можна оцінити за формулою [5]:

$$\mu_{1j} = \mu_{10} (1 - j/k), \quad 0 < j < k,$$

де  $k$  – загальна кількість каналів супроводження;

$j$  – кількість ПО на етапі супроводження.

Для отримання чисельних оцінок і зіставності результатів даної статті і роботи [4] приймемо вихідні дані, як і в роботі [4]: середня тривалість інтервалів часу між цілевказівками  $\bar{t}_{цв} = 20$  с, середня тривалість інтервалів часу пошуку і захвату  $\bar{t}_{пз} = 1/\mu_{10} = 10$  с, середня тривалість інтервалів

часу супроводження  $\bar{t}_{соп} = 40$  с, середня тривалість інтервалів часу до зриву супроводження:

$$\bar{t}_{ср} = 0,017k / (1 - p_n(0,017k)),$$

де  $k$  – кількість каналів супроводження (другої фази), для відношень сигнал/шум  $q = 2, 3, 5$ .

Результати розрахунків приведені на рис. 1.

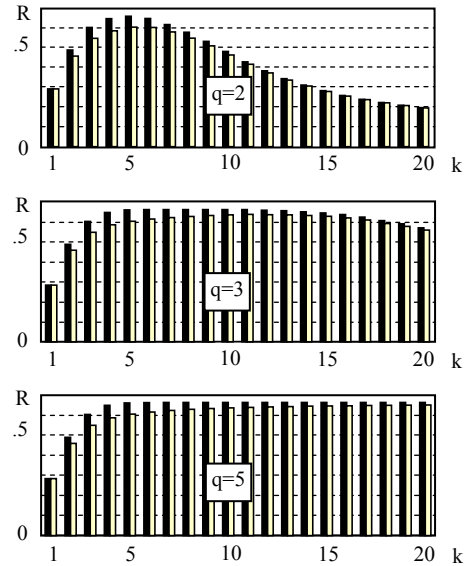


Рис. 1. Залежність показника якості  $R$  від кількості каналів  $k$  для декількох відношень сигнал/шум  $q$ :

■ – вихідна модель; □ – уточнена модель

## Висновки

1. Максимум пропускну спроможності БК РЛС з ФАР при вказаних вище вихідних даних істотно залежить від кількості каналів супроводження  $k$  за кутовою координатою тільки для відношення сигнал/шум  $q=2$  незалежно від того, яка модель використовується.

2. Для відношень сигнал/шум  $q \geq 3$  максимум пропускну спроможності  $R$  слабо залежить від кількості каналів супроводження  $k$  за кутовою координатою незалежно від використовуваної моделі.

3. Значення показника пропускну спроможності  $R$ , що розраховані за допомогою існуючої і уточненої моделі, відрізняються не більше ніж на 10%, причому максимуми досягаються при однаковій кількості каналів супроводження  $k$  для відношення сигнал/шум  $q=2$  і при різній кількості каналів супроводження  $k$  для відношень сигнал/шум  $q \geq 3$ .

4. Система автосупроводження за кутовою координатою забезпечує максимум пропускну спроможності для відношень сигнал/шум  $q \geq 3$  при кількості каналів супроводження  $k \geq 5$  при використанні вихідної моделі, а з врахуванням висновку 2, і при використанні уточненої моделі.

Таким чином, оптимальна кількість каналів супроводження за кутовою координатою, при якій забезпечується максимум пропускну спроможності

R, фактично не залежить від того, яка модель використовується – вихідна або уточнена. Тому простішу вихідну модель доцільно використовувати при оптимізації системи за пропускною спроможністю, а уточнену модель – для тих задач, де важливе абсолютне (а не тільки екстремальне) значення показника R.

### Список літератури

1. Самойленко В.И. Управление фазированными антенными решетками / В.И. Самойленко, Ю.А. Шишов. – М.: Радио и связь, 1983. – 240 с.
2. Ковальчук А.А. Постановка задачи оптимизации пропускной способности многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой путем управления длительностью интервала времени между радиоконтактами / А.А. Ковальчук, Ю.Э. Парфенов, А.А. Сосунов, В.Ш. Хисматулин // Системы обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 1. – С. 76-83.
3. Максимов М.В. Радиоэлектронные следящие системы / М.В. Максимов, В.И. Меркулов. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
4. Ковальчук А.А. Оценка потенциальной пропускной способности многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой для подсистемы автосопровождения по угловой координате / А.А. Ковальчук, И.И. Сачук, А.А. Сосунов // Системы обробки інформації. – Х.: ХУПС, –

2005. – Вып. 5(45). – С. 35-37.

5. Васильев В.А. Уточненная модель для обоснования вымог до показателя качества радиотехнической следящей системы зенитного ракетного комплекса / В.А. Васильев, И.И. Сачук, О.О. Сосунов // Системы озброєння і військової техніки. – 2008. – № 2 (14). – С. 28-30.

6. Хисматулин В.Ш. Оценка вероятности надежного сопровождения аэродинамических целей многоканальной радиолокационной станцией / В.Ш. Хисматулин, И.И. Сачук, А.А. Ковальчук // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2001. – Вып. 22. – С. 259-262.

7. Кулинич И.А. Модель для обоснования требований к показателю качества радиотехнической следящей системы / И.А. Кулинич, Ю.Э. Парфенов, А.А. Сосунов // Системы обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2003. – Вып. 5. – С. 145-150.

8. Венцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.

Надійшла до редколегії 5.05.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, старший науковий співробітник В.В. Баранник, Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ПОДСИСТЕМЫ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ПО УГЛОВОЙ КООРДИНАТЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЛС С ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ ДВУМЯ МОДЕЛЯМИ

А.Н. Печкин

Предложено использовать уточненную модель, учитывающую зависимость среднего времени поиска и захвата воздушного объекта от количества свободных каналов, для оценки одного из показателей качества – пропускной способности подсистемы автосопровождения по угловой координате многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой. Рассчитанные на основе уточненной модели оценки показателя качества подсистемы автосопровождения по угловой координате сопоставлены с результатами, полученными с помощью исходной модели.

**Ключевые слова:** автосопровождение по угловой координате, пропускная способность.

## THE ANGLE TRACKING SUBSYSTEM QUALITY PARAMETER ESTIMATION OF MULTICHANNEL PHASE-ARRAY RADAR BY TWO MODELS

A.M. Pechkin

It is suggested to use the improved model for the estimation of one of quality parameters – the angle tracking subsystem throughput of multichannel phase-array radar. The estimations of parameter obtained on the basis of the improved model are compared with results got by an initial model.

**Keywords:** angle tracking, throughput.