

УДК 621.391

В.Ш. Хісматулін, О.О. Сосунов, А.О. Ковальчук

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЛГОРИТМІВ СУПРОВОДЖЕННЯ ЦІЛЕЙ ЗА РАДІАЛЬНОЮ ШВИДКІСТЮ

*Розглянуті неадаптивний та адаптивні алгоритми супроводження цілей за радіальною швидкістю. Надані результати порівняльного дослідження точності та стійкості адаптивних алгоритмів супроводження аеродинамічних цілей за радіальною швидкістю з рівнобіжною фільтрацією та неадаптивного алгоритму.*

**Ключові слова:** аналіз, якість функціонування, алгоритм супроводження, радіальна швидкість.

### Постановка проблеми та аналіз літератури

В РЛС сантиметрового діапазону інтервал часу кореляції відбитого сигналу за доплерівським зсувом частоти складає одиниці мілісекунд [1]. Тому розбіжна здатність за швидкістю і, відповідно, еквівалентна ширина дискримінаційної характеристики оптимального частотного дискримінатора має порядок 5...10 м/с. Звідси витікає, що імовірність стійкого супроводження сучасних високоманеврених аеродинамічних цілей, що мають постійну часу наростання прискорення  $\tau_m \cong 0,5 - 1$  с і здатних маневрувати з переваженням до 8...9g, при періоді спостереження  $T \approx 0,1$  с помітно знизиться вже до першого радіоконтакту після початку маневру, особливо при невеликих ОСШ, а до другого-третього радіоконтакту сигнал від цілі може вийти за межі смуги пропускання погодженого приймача. Пояснимо цей факт таким прикладом.

Нехай при різкому маневрі радіальне прискорення цілі зростає за експонентним законом (рис. 1):

$$w_r(t) = w_{r0}(1 - e^{-t/\tau_m}), \quad (1)$$

де  $w_{r0}$ ,  $\tau_m$  – максимальне значення і постійна часу зростання радіального прискорення цілі.

Якщо маневр почався безпосередньо після чергового радіоконтакту з ціллю, то збільшення її радіальної швидкості до наступного радіоконтакту ( $n = 1, 2, \dots$ ) можна визначити з виразу

$$\Delta v_r(nT) \cong \frac{(nT)^2}{\tau_m} w_{r0}, \quad (2)$$

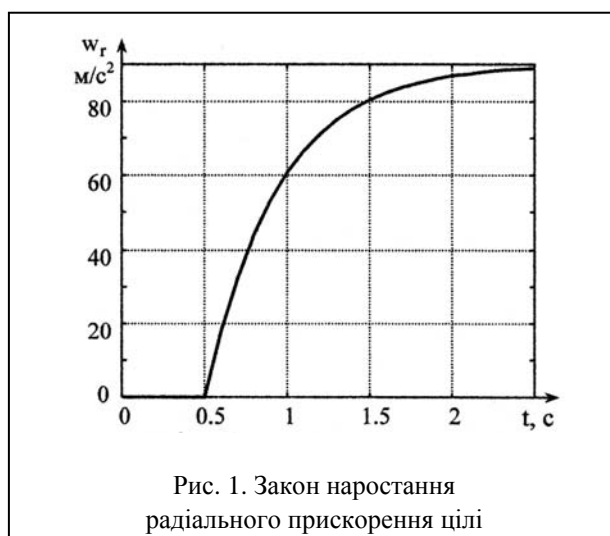


Рис. 1. Закон наростання  
радіального прискорення цілі

яке справедливе при  $nT < \tau_m$ , і буде складати до чергового радіоконтакту 1...3 м/с залежно від величин  $w_{r0}$ ,  $\tau_m$ , не говорячи про наступні радіоконтакти.

Таким чином, структура і параметри системи спостереження за радіальною швидкістю повинні вибиратися таким чином, щоб вона була здатна як можна більш швидко компенсувати динамічну помилку, яка виникає в моменти початку та кінця маневру цілі.

**Мета статті** – проведення аналізу якості функціонування алгоритмів супроводження цілі за радіальною швидкістю, адаптивних до маневру, що базуються на введенні гіпотез (альтернатив) про величину математичного сподівання складового вектора прискорення цілі та неадаптивного алгоритму [2 – 7 та ін.].

**Основний матеріал**

Вихідні дані. Як неадаптивний алгоритм (НА) був розглянутий варіант, синтезований на основі моделі руху цілі з її експоненціально корельованим прискоренням, яка одержала назву моделі Зінгера [8]. Адаптивні алгоритми супроводження цілі, що базуються на введенні гіпотез (альтернатив) про величину математичного сподівання складового вектора прискорення цілі, були синтезовані та запропоновані у відомій літературі [2 – 4]. Для порівняльного аналізу якості функціонування обрано алгоритм байєсового вагового підсумовування (АБВП) [4].

У зв'язку з тим, що розроблені структури містять нелінійні алгоритми ухвалення рішення, їх достовірне дослідження можливе тільки методом статистичного моделювання процесу супроводження на ЕОМ. Усі статистичні розрахунки виконувалися шляхом проведення багаторазового ( $10^3 \dots 10^6$ ) прогону і визначення результату із безлічі реалізацій.

При дослідженні в якості задаючого типового впливу використовувалася ділянка траєкторії цілі з законом наростання радіального прискорення (1) з  $w_{r0} = 90 \text{ м/с}^2$  і  $\tau_m = 0,5 \text{ с}$ . Момент початку маневру приймався рівним  $0,5 \text{ с}$ , а загальна довжина ділянки спостереження складала  $2,5 \text{ с}$  (рис. 1).

Вхідний вплив системи моделювалося у вигляді адитивної суміші задаючого впливу і шумів спостереження з урахуванням залежності статистичних характеристик частотного дискримінатора від відношення сигнал–шум (ВСШ) і величини помилки супроводження. Ширина апертури статичної характеристики дискримінатора приймалася рівною  $\pm 5 \text{ м/с}$ .

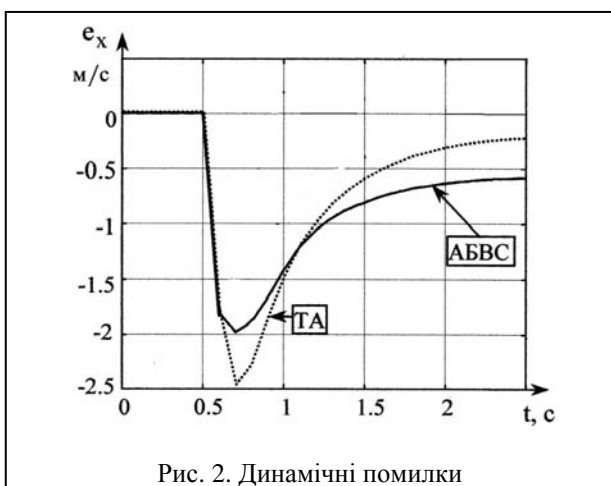


Рис. 2. Динамічні помилки

Результати моделювання. На рис. 2 – 4 наведені графіки динамічних помилок, дисперсії флюктуаційних помилок і середніх квадратів сумарних помилок супроводження для наступних алгоритмів:

АБВП при використанні п'яти фільтрів умовної

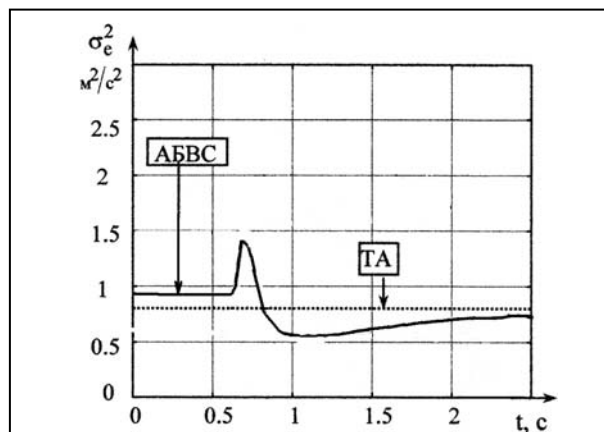


Рис. 3. Дисперсії флюктуаційних помилок

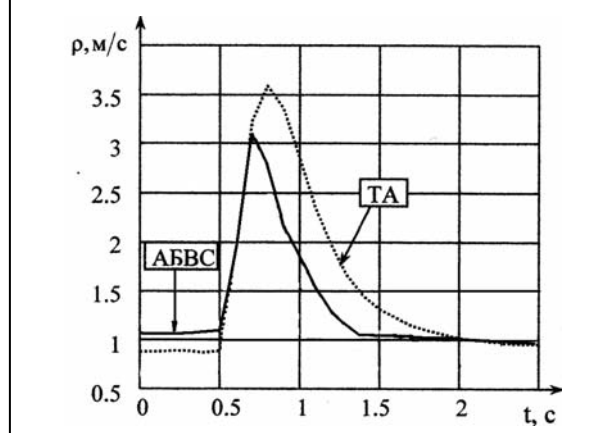


Рис. 4. Середньоквадратичні помилки

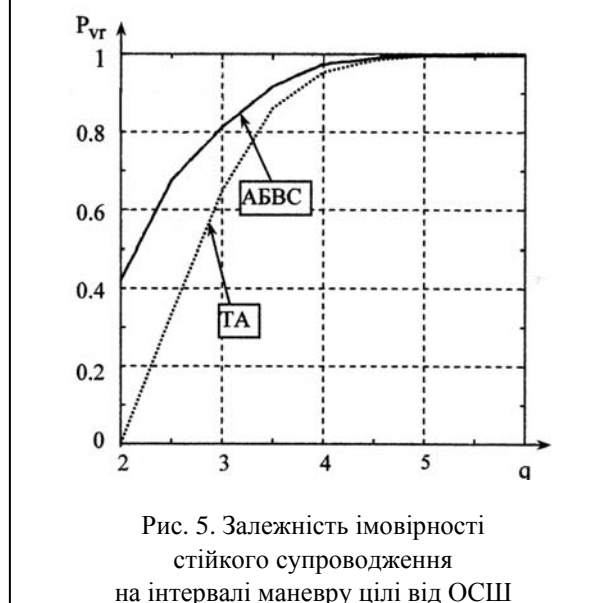


Рис. 5. Залежність імовірності стійкого супроводження на інтервалі маневру цілі від ОСШ

оцінки (ФУО) і довжині ковзного вікна  $n_0 = 3$ ;

"неадаптивного" алгоритму (НА) з параметрами, оптимальними для  $\sigma_{w_r} = 35 \text{ м/с}^2$ ,  $\tau_m = 8 \text{ с}$ .

На рис. 5 наведені залежності імовірності стійкого супроводження від ОСШ на розглянутій інтервалі траєкторії з інтенсивним маневром. Як показали результати випробувань, максимальну стійкість і точність супроводження забезпечує АБВП.

### Висновки

У системі з АБВП при інтенсивному маневрі цілі максимальна динамічна помилка на 20 % менша за помилку, що має місце в НА; на інтервалах до початку маневру дисперсія флюктуаційної помилки супроводження перевищує дисперсію помилки НА, а після початку маневру наближається до дисперсії помилки в одному ФУО; середній квадрат сумарної помилки на інтервалі до початку маневру більший за помилку, що дається НА, а після початку маневру менша за помилку НА на 10...20 %.

Порівняно з неадаптивним алгоритмом особливо помітний виграв у стійкості супроводження досягається при малих ОСШ, тобто за найбільш складних умов.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Островитянов Р.В., Басалов Ф.А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
2. Первачев С.В., Перов А.И. Адаптивная фильтрация сообщений. – М.: Радио и связь, 1991. – 160 с.
3. Хисматулин В.Ш. Исследование возможностей повышения качества сопровождения цели путем учета межкоординатных связей: Дис. ... канд. техн. наук: 20.02.14. – Х., 1977. – 217 с.
4. Хисматулин В.Ш., Сачук И.И. Структуры радиотехнических следящих систем, синтезированных на основе многоальтернативной модели движения маневрирующей цели // Сборник научных трудов ХВУ. – Х.: ХВУ, 1999. Вып. 3(25). – С. 13–17.
5. Ricker G.G., Williams J.R. // IEEE Trans. – 1978. – V. AES-14, № 1.
6. Перов А.И. Адаптивные алгоритмы сопровождения маневрирующих целей // Радиотехника. – 2002. – № 7. – С. 73 – 81.
7. Кузьмин С. З. Цифровая радиолокация. – К.: КВИЦ, 2000. – 428 с.
8. Зингер Р.А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью // Зарубежная радиоэлектроника. – 1971. – № 8. – С. 40 – 57.

Надійшла 04.05.2006

Рецензент: д-р техн. наук професор О.В. Голенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.