

Науковий журнал

3.2006

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

**(Вісник Технологічного
університету Поділля)**

Технічні науки

**Ювілейний спецвипуск до
40-річчя заснування Інституту
механіки та інформатики**



Хмельницький 2006

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Засновано в липні 1997р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2006, №3 (80)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Головний редактор	Скиба М.Є. , заслужений працівник народної освіти України, академік УТА, професор, ректор Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії	Сілін Р.І. , заслужений працівник народної освіти України, академік МАІ, академік АІН України, академік УТА, д.т.н., професор
Заступник головного редактора	Каллун В.Г. , академік УТА, д.т.н., професор
Відповідальний секретар	Гуляєва В.О. , завідувач патентно-інформаційним відділом, Хмельницький національний університет

Члени редколегії

Технічні науки

д.т.н. Кіницький Я.Т., к.т.н. Баннова І.М., д.т.н. Гладкий Я.М., к.т.н. Домбровський А.Б., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костогрив С.Г., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Мазур М.П., к.т.н. Рандзюк І.А., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. Мясішев О.А., д.т.н. Параска Г.Б., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., к.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Лїба В.П., д.ф.-м.н. Качурик І.І., д.т.н. Кострицький В.В. (Київ), д.т.н. Березненко М.П. (Київ), д.т.н. Злотенко Б.М. (Київ), д.т.н. Коновал В.В. (Київ), д.т.н. Мельничук П.П. (Житомир), д.т.н. Назаров В.В. (Хмельницький), д.т.н. Орловський Б.В. (Київ), д.т.н. Праховнік А.В. (Київ), д.т.н. Чередниченко П.І. (Чернігів), к.т.н., Волков О.І. (Київ)
prof. dr hab. inż. Józef Gawlik (Польща, Краків), dr h.c. prof. dr hab. inż. Leszek Dobrzański (Польща, Глівіце), dr hab. inż., prof. Edward Lisowski (Польща, Краків), prof. dr hab. inż. Wladimir Liubimow (Польща, Жешув), prof. dr hab. inż. Stanisław Michalowski (Польща, Краків), prof. dr hab. inż. Stanisław Pietrowski (Польща, Лодзь), dr inż. Adam Tabor (Польща, Краків), dr hab. inż., prof. Krzysztof Szwałski (Польща, Краків), dr hab. inż., prof. Grzegorz Milewski (Польща, Краків)

Відповідальний за випуск директор ІМІ к.т.н., професор Драпак Г.М.

Технічний редактор к.т.н. Горященко К.Л.

Редактор-коректор Броженко В.О.

Адреса редакції: Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, Хмельницький національний університет
редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
☎ (8-03822) 2-51-08
e-mail: patent_1@beta.tup.km.ua
web: <http://visniktup.narod.ru> <http://vestnik.ho.com.ua>
http://library.tup.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідчення про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року (перереєстровано)

© Хмельницький національний університет, 2
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2006

**ОЦІНКА СУКУПНОГО ВПЛИВУ ХАОТИЧНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕШКОД
ТА ФЛУКТУАЦІЙНОГО ШУМУ НА ТОЧНІСТЬ ПЕРВИННИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

У роботі проаналізовано вплив хаотично-імпульсних перешкод та флукуаційних шумів на точність бортових вимірювань кутових координат повітряного судна у системі посадки сантиметрового діапазону.

ВСТУП

У радіотехнічних системах різного цільового призначення широкого розповсюдження набули схеми вимірювання навігаційних параметрів замкненого типу, які мають певні переваги перед схемами з безпосереднім відліком в умовах наявності дестабілізуючих факторів [1]. Загальноприйнятий метод підвищення точності вищезгаданих схем полягає в оптимізації смуги пропускання системи стеження ΔF_{opt} , виходячи з міркувань мінімізації суми динамічної та флукуаційної складових результуючої похибки $\sigma^2 = \sigma_d^2 + \sigma_{\text{фл}}^2$. У системах посадки сантиметрового діапазону величина ΔF_{opt} знаходиться у межах 0,1-1,5 Гц для нормальних умов польоту [3, 4]. Проте для повітряних суден, які заходять на посадку, характерним є режим інтенсивного маневрування при суттєвих обмеженнях у просторі та часі можливостей компенсації супутніх похибок пілотування, тому для зменшення динамічної складової σ_d^2 апертуру часового дискримінатора збільшують до величини $(2-3)\tau_s$, де τ_s – тривалість сигнального імпульсу [2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИЗНАЧАЛЬНІ СПІВВІДНОШЕННЯ

Розширення апертури часового дискримінатора позитивно впливає на надійність процедури стеження, але разом з тим збільшує ризик появи в апертурі дискримінатора окрім сигнального імпульсу ще й інших, побічних імпульсів, наприклад, від суміжно працюючого радіоелектронного обладнання, сигналів відбиття від місцевих предметів, навколишніх аеродромних споруд, індустріальних перешкод тощо. Як правило, час появи таких імпульсів, їх амплітуда, інтенсивність та тривалість є по суті випадкові величини. У літературі подібну категорію імпульсів класифікують як хаотичну імпульсну перешкоду (ХІП) і моделюють пуасонівським потоком рідких подій заданої інтенсивності [5]. У даній роботі досліджується сукупний вплив саме таких перешкод та флукуаційних шумів на точність первинних вимірювань кутових координат повітряного судна у бортовій підсистемі посадочної системи сантиметрового діапазону.

Розглянемо статистичні характеристики оцінок часового положення кутового сигнального імпульсу у разі широкої апертури часового дискримінатора при спільній дії хаотичної імпульсної перешкоди та флукуаційного шуму. Припустимо, що усередині часового інтервалу $[0 T_c]$ при $T_c > \tau_s$ знаходиться сигнальний імпульс, "розмитий" відносно дійсного його часового положення t_0 адитивним нормальним шумом. У цьому

випадку виміри часового положення сигналу розподіляються за нормальним законом $N(t_0, \sigma_w^2)$. Якщо імпульс ХІП, який перевищив захисний поріг вимірювального пристрою, потрапляє в апертуру дискримінатора, тобто у часовий інтервал $[0, T_c]$ і передеє сигнальному імпульсу, то відбувається хибне спрацювання вимірювача і це у кінцевому рахунку сприяє зростанню похибок вимірювань. Інтегральний закон розподілу одиничних вимірів $F(t)$ можна отримати за формулою додавання ймовірностей:

$$F(t) = F_c(t) + F_n(t) - F_c(t) \cdot F_n(t), \quad (1)$$

де $F_c(t) = \frac{1}{\sigma_w \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma_w^2}} dt$ – інтегральний нормальний закон розподілу ймовірностей;

$F_n(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ – інтегральний закон розподілу інтервалів часу між двома послідовними подіями пуассонівського потоку [5]. Густина розподілу одиничних вимірів $f(t)$ визначають за загальним правилом – диференціюванням $F(t)$ по параметру t :

$$f(t) = f_c(t) + f_n(t) - f_c(t) \cdot f_n(t) - F_c(t) \cdot f_n(t). \quad (2)$$

При змiщенні розподілу (2) на величину t_0 отримуємо закон розподілу похибок одиничних вимірів при сукупній дії ХІП та флуктуаційного шуму.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Конкретний вигляд розподілу (2) залежить від статистичної моделі ХІП. Якщо припустити, що ХІП являє собою пуассонівський потік рідких подій з заданою інтенсивністю λ , причому усі випадкові імпульси перевищують поріг спрацювання вимірювального пристрою, то густина розподілу (2) матиме наступний вигляд:

$$f(t) = N(t_0, \sigma_w^2) \cdot e^{-\lambda t} + \lambda e^{-\lambda t} \cdot 0.5 \{1 - \Phi[(t-t_0)/\sigma_w \sqrt{2}]\}, \quad (3)$$

де $N(t_0, \sigma_w^2) = \frac{1}{\sigma_w \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma_w^2}}$ – нормальна густина розподілу ймовірностей зі середнім значенням t_0 та дисперсією σ_w^2 ;

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-z^2} dz \text{ - інтеграл ймовірності.}$$

На рис. 1 зображено вигляд густини розподілу одиничних вимірів (3) при різних значеннях інтенсивності ХІП, причому вхідні дані $T_c=2, t_0=1.5, \sigma_w=0.06$ були нормовані по відношенню до t_i . Аналіз представлених графіків вказує на несиметричність апостеріорного розподілу та наявність зсуву оцінки часового положення сигнального імпульсу вліво відносно дійсного значення t_0 .

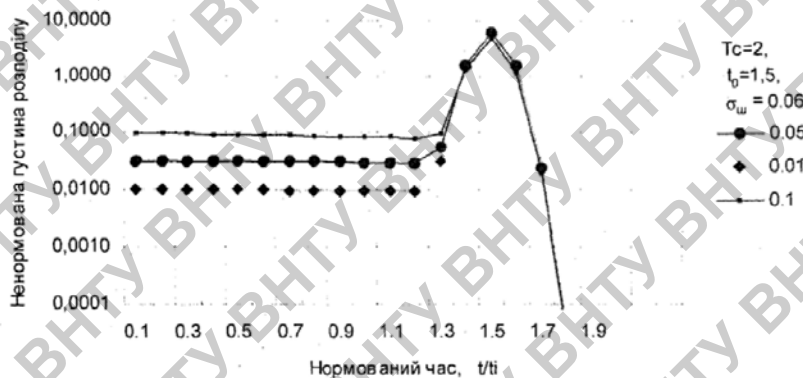


Рис. 1. Ненормована густина розподілу оцінок часового положення сигнального імпульсу при сукупній дії ХІП та флуктуаційного шуму

Прирівнюючи до нуля похідну від (3) по t , можна показати, що за винятком лівої границі апертури, величина зсуву описується виразом

$$\Delta T = -2\sigma_w^2 \lambda \cdot \left\{ 1 + \frac{\lambda}{2} \frac{1 - \Phi\left(\frac{t-t_0}{\sigma_w \sqrt{2}}\right)}{N(t_0, \sigma_w^2)} \right\}. \quad (4)$$

На рис. 2 приведені залежності величини зсуву ΔT від інтенсивності ХІП при різних значеннях t_0 , нормованих до тривалості сигнального імпульсу t_i . Незважно бачити, що величина зсуву оцінок зростає з ростом

інтенсивності ХІП та наблизенням сигнального імпульсу до правої границі апертури дискримінатора.

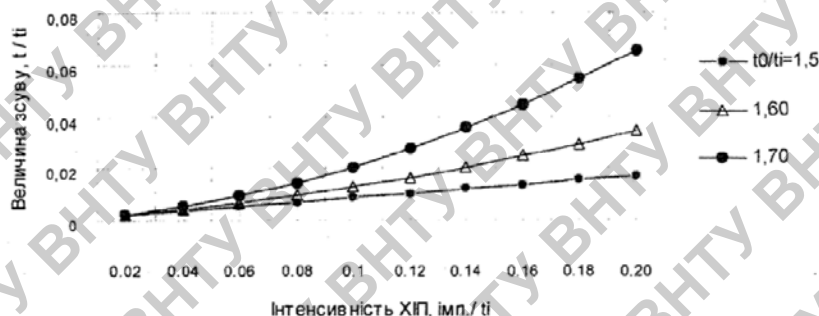


Рис. 2. Залежність величини зсуву оцінки часового положення сигнального імпульсу від інтенсивності ХІП

Ймовірність правильного оцінювання p_n визначимо як відношення площі під піком апостеріорного розподілу, обумовленим сигнальним імпульсом, до загальної площі під густиною розподілу $f(t)$ [5]. Тоді ймовірність аномальних похибок буде визначатись як $p_a = 1 - p_n$. Площу під піком апостеріорного розподілу $f(t)$ знайдемо наступним чином:

$$S_n = \int_{t_0 - \tau_i / 2}^{t_0 + \tau_i / 2} f(t) dt = S_1 + S_2 + S_3,$$

$$S_1 = \int_{t_0 - \tau_i / 2}^{t_0 + \tau_i / 2} e^{-\lambda t} N(t_0, \sigma_{ш}^2) dt;$$

$$S_2 = \int_{t_0 - \tau_i / 2}^{t_0 + \tau_i / 2} \lambda e^{-\lambda t} dt;$$

$$S_3 = \int_{t_0 - \tau_i / 2}^{t_0 + \tau_i / 2} \lambda e^{-\lambda t} \Phi\left(\frac{t - t_0}{\sigma_{ш} \sqrt{2}}\right) dt. \quad (5)$$

Інтегрування по частинах з врахуванням (5) дає величину площі під піком апостеріорного розподілу $f(t)$ у вигляді:

$$S_n = e^{-\lambda t_0} \left[sh(\lambda \tau_i / 2) + \Phi\left(\frac{\tau_i / 2}{\sigma_{ш} \sqrt{2}}\right) \cdot ch(\lambda \tau_i / 2) \right].$$

Загальна площа під кривою апостеріорного розподілу $f(t)$ знаходиться аналогічно. Опускаючи проміжні викладки, можна показати, що

$$S_{заг} = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi\left(\frac{t_0}{\sigma_{ш} \sqrt{2}}\right) \right] - \frac{1}{2} e^{-\lambda T_c} \left[1 - \Phi\left(\frac{T_c - t_0}{\sigma_{ш} \sqrt{2}}\right) \right]. \quad (6)$$

З врахуванням співвідношень (5) та (6), аналітичний вираз для ймовірності аномальної похибки матиме наступний вигляд:

$$P_a = 1 - \frac{e^{-\lambda t_0} \left[sh(\lambda \tau_i / 2) + \Phi\left(\frac{\tau_i / 2}{\sigma_{ш} \sqrt{2}}\right) \cdot ch(\lambda \tau_i / 2) \right]}{\frac{1}{2} \left[1 + \Phi\left(\frac{t_0}{\sigma_{ш} \sqrt{2}}\right) \right] - \frac{1}{2} e^{-\lambda T_c} \left[1 - \Phi\left(\frac{T_c - t_0}{\sigma_{ш} \sqrt{2}}\right) \right]}. \quad (7)$$

Слід зауважити, що формула (7) має наблизений характер, тому що не враховує граничного ефекту на межах апертури $[0, T_c]$, однак задовільно відображає залежність ймовірності аномальних похибок від довжини апіорного інтервалу, відношення сигнал / шум, тривалості сигнального імпульсу та його часового положення усередині апіорного інтервалу.

Залежності ймовірностей аномальних похибок p_a , розрахованих за формулою (7) для різних значень інтенсивності флукуаційних шумів та ХІП показані на рис. 3-4. Аналіз наведених залежностей показує, що ймовірність аномальних похибок зростає зі збільшенням апертури часового дискримінатора і зменшується з ростом співвідношення сигнал / шум.

Щодо впливу часового положення сигнального імпульсу t_0 на ймовірність похибок більших тривалості сигнального імпульсу τ_i , то він незначний. Так, наприклад, подвійне зростання величини t_0 призводить до збільшення цієї ймовірності лише на 5-12 %.

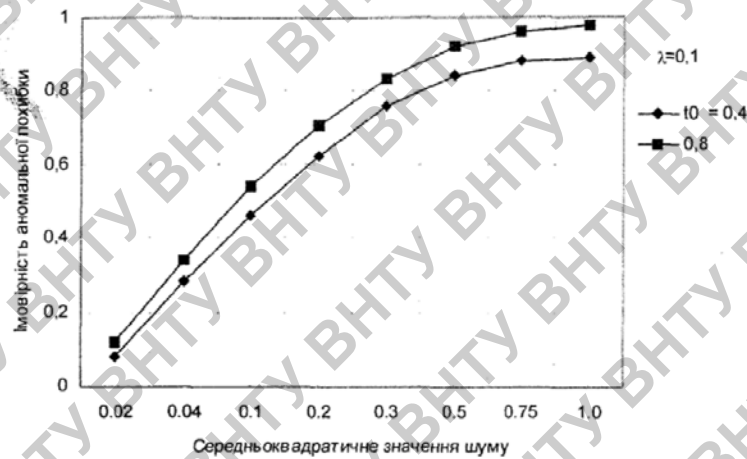


Рис. 3. Залежність ймовірності аномальної похибки від інтенсивності флуктуаційного шуму

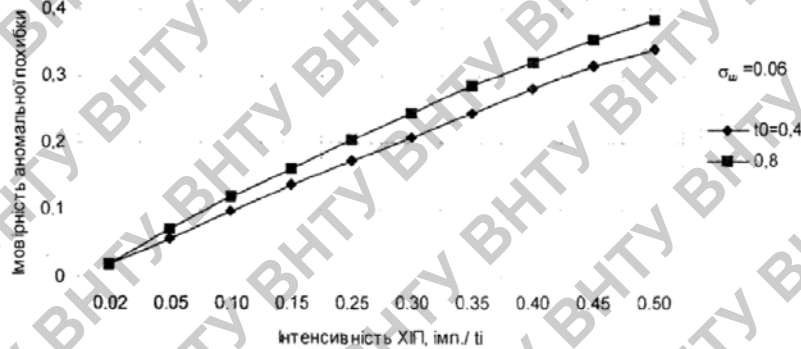


Рис. 4. Залежність ймовірності аномальної похибки від інтенсивності ХІП

ВИСНОВКИ

- За підсумками наведених розрахунків та графіків можна стверджувати, що:
- розподіл похибок одиничних вимірів кутового положення повітряного судна при сукупній дії флуктуаційного шуму та ХІП- несиметричний;
 - одиничні оцінки кутових координат є змішеними, причому величина зсуву залежить від інтенсивності ХІП і зростає з наближенням сигнального імпульсу до правої межі апертури часового дискримінатора;
 - ймовірність похибок більшої тривалості сигнального імпульсу суттєво залежить від інтенсивності шуму $\sigma_{ш}$ та інтенсивності ХІП λ при відносно незначному впливі інших факторів: довжини апіорного інтервалу T_c та часового положення сигнального імпульсу t_0 .
- Результати проведеного аналізу можуть бути корисними у якості апіорних даних про аномальні похибки у процесі синтезу алгоритмів обробки одиничних вимірів кутових координат повітряного судна методами оптимальної фільтрації.

Література

1. Первачев С.В., Валуев В.А., Чиликин В.М. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем. – М.: Советское радио, 1973. – 488 с.
2. Сосновский А.А., Хаймович И.А. Радиоэлектронное оборудование летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1987. – 256 с.
3. Бортовые радиоустройства посадки самолетов / И.А. Хаймович, П.А.Иванов, Ю. Е. Устроев и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 328 с.
4. Сантиметровые системы посадки самолетов / В.М. Бенин, Е.И. Шолупов, В.А.Кожевников, И.А.Хаймович. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
5. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации. – М.: Радио и связь, 1985. – 344 с.

Надійшла 4.3.2006 р.