

УДК 004.896

Кудренко С.О., к.т.н.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ АЕРОКОСМІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Національний авіаційний університет

stanislava@i.ua

Досліджені показники ефективності чисельно-аналітичних методів автоматизованого проектування оптимальних гетерогенних аерокосмічних комплексів за допомогою імітаційних моделей. Виконано цифрове імітаційне моделювання оптимальних комплексів проаналізовані його результати в типових задачах автоматизованого проектування

Ключові слова: гетерогенними аерокосмічними комплексам; точності і вірогідності виміру; різномірні вимірники; оптимальних вагових коефіцієнтів

Вступ

Пріоритетним напрямком ефективного використання аерокосмічних комплексів є підвищення точності і вірогідності виміру основних навігаційних параметрів руху повітряних судів бортовими, наземними і супутниковими навігаційними системами [2, 4]. Надалі такі комплекси з різномірних за фізичними принципами дії супутникових, бортових та наземних систем управління повітряним рухом повітряних суден названі нами гетерогенними аерокосмічними комплексами (ГАКами). Підвищення точності і вірогідності в таких комплексах досягається за рахунок застосуванням інформаційної та структурної надлишковості й методів оптимального комплексування систем. З теоретичної точки зору це означає застосування оптимальної багата стадійної обробки результатів. Подібна проблема актуальна також і для теорії наближених обчислень, при обробці результатів експерименту, у багатьох інших випадках, коли застосовують різномірні вимірники, що побудовані на різних фізичних принципах і мають різні погрішності вимірів.

Мета дослідження

Метою дослідження є аналіз показників ефективності чисельно-аналітичних методів автоматизованого проектування оптимальних гетерогенних аерокосмічних

комплексів *GPS/INS/GRAS* за допомогою імітаційних моделей. При обґрунтуванні методики імітаційного моделювання, вибору порядку вхідних даних і опрацьованні результатів використані результати робіт [1-4].

Для досягнення мети вирішуються наступні завдання:

1. Вибрати дослідження один, найбільш відповідальний режим роботи ГАКу.

2. Дослідити в цьому режимі ефективність чисельно-аналітичних методів автоматизованого проектування оптимальних гетерогенних аерокосмічних комплексів типу *GPS/INS/GRAS*, що включають супутникові системи, бортові системи авіоніки; наземні псевдосупутники.

3. Розробити типову імітаційну модель оптимальних ГАКів (рис. 1) для проведення експериментальних досліджень.

4. Виконати цифрове імітаційне моделювання оптимальних ГАКів *GPS/INS/GRAS* і проаналізувати його результати в типових задачах автоматизованого проектування: синтез комплексу на макрорівні – на рівні вибору складу систем, сегментів і структури комплексу, структурний аналіз ефективності створеного оптимального комплексу, параметрична оптимізація обраної структури комплексу – вибір оптимальних вагових коефіцієнтів систем і сегментів комплексу

для отримання оптимальних оцінок аеронавігаційних параметрів літаків.

З метою скорочення обсягів статистичні моделі комплексів представлені однією типовою структурною схемою рис.1, замість усіх таблиць експериментів приведені тільки таблиці з вхідними даними і підсумковими результатами.

Постановка задачі дослідження

Інженерну методику автоматизованого проектування ГАКів типу *GPS/INS/GRAS* розглянемо на прикладі відносно простого випадку скалярних гетерогенних вимірювань аеронавігаційних параметрів.

Імітаційний експеримент проведено при наступних умовах і припущеннях:

1. Досліджується сертифікований за вимогами *ICAO* ГАК у складі систем *INS&ASS, RA, GPS, PL/1 – PL/N*.

2. Структура ГАК включає інерційну навігаційну систему (*INS*), інтегровану з системою повітряних сигналів (*ASS*), радіовисотомір (*RA*), що разом складають бортову частину комплексу авіоніки літака; супутникову систему (*GPS*), що включає власно *GPS*, навігаційні супутники *GLONASS, WAAS, SBAS* та інші; наземну частину комплексу, що включає $N=3$ псевдосупутників (*pseudollites – GBAS Ground Stations*) – *PL1-PL/N* – і станцію управління «псевдолітами» комплексу (*SBAS Master Station*).

3. Досліджується режим «зниження і точного заходу на посадку середне магістрального літака за 2 категорією *ICAO* на фінішній прямій» в зоні маневрування (*Terminal Maneuvering Area – TMA*)

4. Вимірюється одна, найбільш важлива координата літака – висота польоту. Задано істинне значення висоти X_0 польоту дальнього приводу аеродрому, що є категоризованим за вимогами *ICAO*.

Основна частина

ГАК включає $m=7$ гетерогенних систем супутникової частини, бортової частини і наземної частини. Поточна система позначена індексом $J, J=0, m_j-1$.

Кожна система в одному циклі вимірювань проводить N_j вимірювань висоти X_0 польоту повітряного судна. Число N_j визначається швидкодією J -ої системи вимірювань. При цьому отримується послідовність результатів вимірювання:

$$Y_i = X_0 + \zeta_i, \quad i = 1, N_j \quad (1)$$

де ζ_i — адитивна завада, що має математичне сподівання, рівне нулю, і дисперсію σ^2_{J} , відмінну від нуля.

На основі вибірки (1) знаходиться апостеріорне - експериментальне значення математичного сподівання та дисперсії результату вимірювань J системи у першому наближенні як m_{1j}^* та σ_{1j}^{*2} .

$$m_{1j}^* = \frac{1}{N} \sum (Y_i) \quad (2)$$

$$s_{1j}^{*2} = \frac{1}{N-1} \sum (Y_i - m_{1j}^*)^2, \quad (3)$$

де індекс j при N для спрощення запису формул опущено.

Для визначення оптимальних оцінок паралельним методом знаходяться середнє арифметичні значення m_{1j}^* всіх систем і по ним та апостеріорним дисперсіям розраховуються оптимальні вагові коефіцієнти $g_j, j = 0, m-1$, для m_{1j}^* .

Апостеріорні вагові коефіцієнти g_j систем і сегментів комплексу знаходяться по апостеріорним дисперсіям за формулою

$$g_j = \frac{1/(s_{1,j}^*)^2}{\sum 1/(s_{1,j}^*)^2} \quad (4)$$

В результаті вищенаведених дій отримуються оптимальні апостеріорні оцінки математичного сподівання $m^*(Y)$ висоти, що вимірюється комплексом за вказаними двома методами. Середнє квадратичне відхилення оцінки комплексу визначаються за відомою формулою математичної статистики:

$$s^* = \sqrt{\frac{\sum (m_{1,j}^* - m^*(Y))^2}{J-1}} \quad (5)$$

Виконується порівняльна оцінка критеріїв точності різних методів і сегментів комплексу поміж собою, а також визначення відносних ефектів запропонованого паралельного методу (ПМ) [3] оптимальної обробки результатів вимірювань порівняно з методом найменших квадратів (МНК). Це дає також можливість зро-

бити висновки щодо ефективності методів, точності вимірювань і моделювання.

Всі розрахунки виконуються за допомогою спеціально розробленого пакету прикладних програм.

Вхідні дані і результати імітаційного експерименту подані в табл. 1.

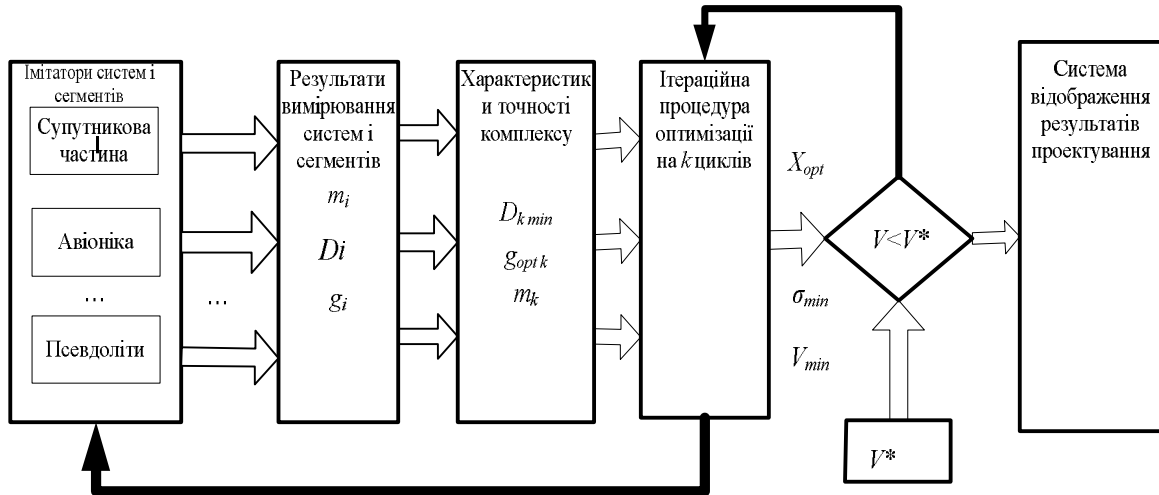


Рис. 1. Узагальнена структурна схема імітатора ГАКів GPS/INS/GRAS

Таблиця 1. Вхідні дані експерименту

№ п/п	k	0	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Тип системи	INS	ASS	RA	GPS	PL0	PL1	PL2
2	Дисперсії систем, $D_k, \text{м}^2$	60^2	15^2	10^2	5^2	3^2	2^2	1^2
3	Продуктивність систем N_k , вимірів/цикл	12	8	6	4	3	3	3

Таблиця 2. Результати порівняльного аналізу точності сегментів і комплексу в цілому по МНК і ПМ оптимальному оцінюванню, $n=10^3$. В чисельнику подані проектні значення, в знаменнику – експериментальні значення оцінок

k	Метод	2	ГАК	БС	НС	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	МНК	ГАК	$\frac{1,0^*}{1,0}$	$\frac{1,984127}{1,982200}$	$\frac{0,264560}{0,267591}$	0,0	-0,097	1,146
2		БС	$\frac{0,504432}{0,504490}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{0,133453}{0,134997}$	0,011	0,0	1,157
3		НС	$\frac{3,779863}{3,737052}$	$\frac{7,493275}{7,407572}$	$\frac{1,0}{1,0}$	-1,133	-1,144	0,0
4	ПМ	ГАК	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{6,506044}{6,554804}$	$\frac{1,011578}{1,011845}$	0,0	0,749	0,026
5		БС	$\frac{0,153703}{0,152560}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{0,152667}{0,154367}$	-0,744	0,0	1,144
6		НС	$\frac{0,988555}{0,988294}$	$\frac{6,550204}{6,478068}$	$\frac{1,0}{1,0}$	-0,026	-1,101	0,0

На рис. 2 показана загальна схема імітаційного експерименту. За цією схе-

мою по вхідним даним табл. 1 отримані результати імітаційного експерименту,

що подані в табл. 2, 3. Ці таблиці містять результати порівняльного аналізу точності сегментів і комплексу в цілому при обсязі вибірки $n=10^3$. Як видно з таблиць,

комплекс складається з трьох бортових систем, однієї супутникової системи і трьох псевдолитів.

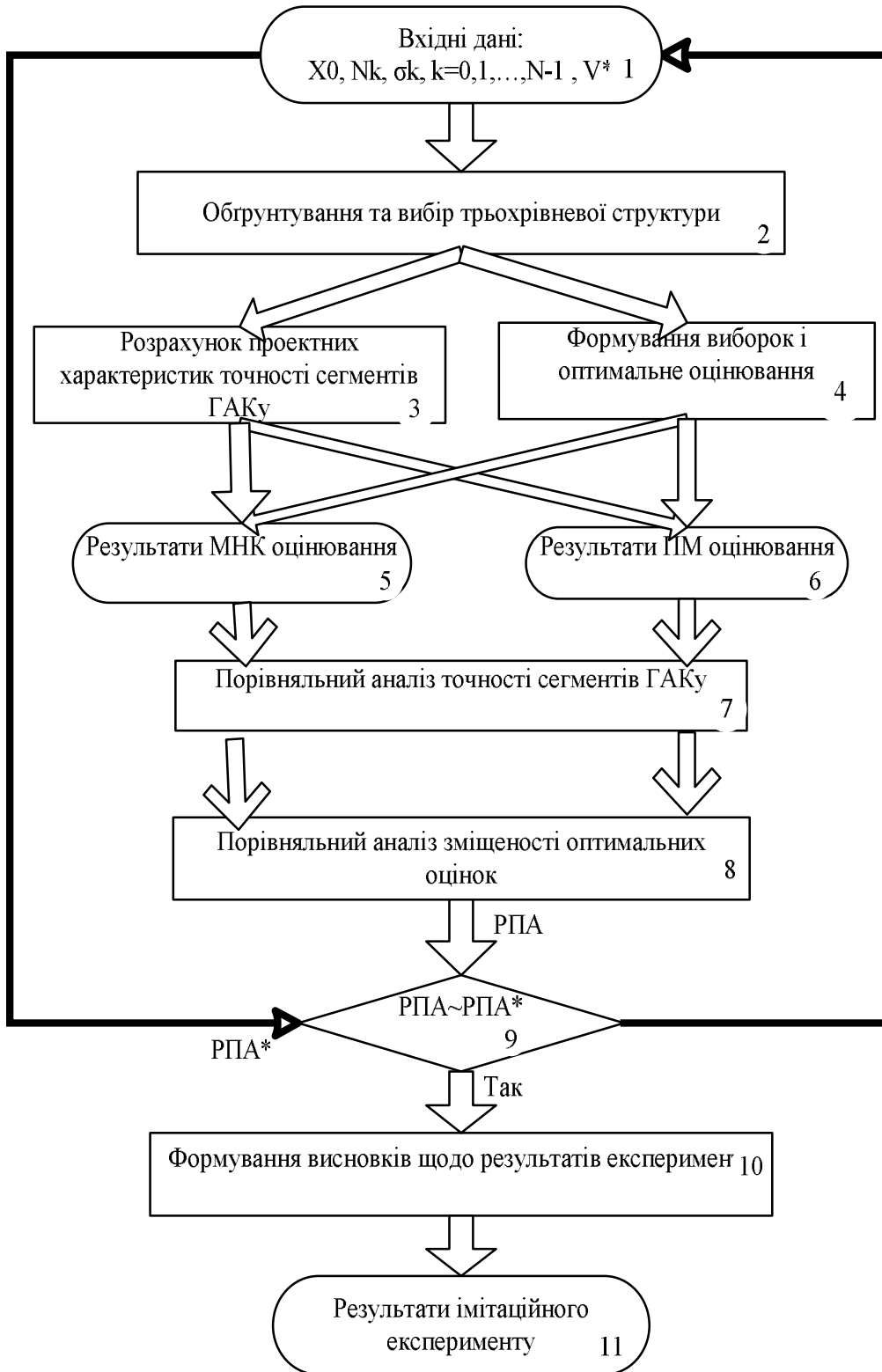


Рис. 2. Загальна схема імітаційного експерименту

Таблиця. 3. Результати порівняльного аналізу зміщеності оптимальних МНК і ПМ оцінок при $n=10^3$

k	Метод		$\Delta M, \text{ м}$	$\delta \times 10^{-3} \%$	ГАК	БС	НС
0	1	2	3	4	5	6	7
1	МНК	ГАК	-0,068458	-5,704861	1,0	2,639153	0,639075
2		БС	-0,180667	-15,056	0,378909	1,0	-0,242152
3		НС	0,04375	3,645833	1,564762	-4,129638	1,0
4	ПМ	ГАК	0,014244	$\frac{1,187015*}{-4,806058*}$	1,0	-3,952772	1,118039
5		БС	-0,056308	$\frac{-4,692000}{-3,208551*}$	-0,252987	1,0	-0,282849
6		НС	0,015926	$\frac{1,327129}{2,747158*}$	0,894423	-3,535451	1,0

*Значення індексного показника ефективності ПМ оцінок відносно МНК

Висновки

По результатам імітаційного експерименту можна зробити такі висновки:

1. Результати імітаційного експерименту підтверджують справедливість основних теоретичних положень роботи, методики автоматизованого проектування оптимальних ГАКів по критеріям точності. Особливо значимими є ефекти, що мають місце при великих обсягах вибірок, саме у тих випадках, коли спостерігається гарна асимптотична збіжність апіорних і апостеріорних оцінок. Розбіжності проектних і експериментальних значень характеристик точності у цих випадках не перевищують 2%.

2. Структурні параметри ГАКів, що визначають ефективність їх сегментів і систем, не залежать від обсягів вибірок і добре визначаються по апіорним характеристикам при проектуванні.

3. Враховуючі різномірність систем і сегментів, особливої уваги заслуговує використання запатентованих паралельного рекурентного методів опрацювання результатів вимірювань. Вони дозволяють при одних і тих же системах і сегментах забезпечити суттєве збільшення точності вимірювань - в десятки і сотні разів. Крім того, суттєво зменшується зміщеність оптимальних оцінок.

4. Враховуючі велику кількість можливих способів параметричної оптимізації ГАКів на етапі структурного синтезу на макрорівні - більше тисячі – актуальною є проблема розробки методів цілеспрямова-

ного пошуку оптимальних рішень морфологічним та іншими способами.

Список літератури

1. Ignatov V. O. Comparative analysis of measurements veracity in heterogeneous and homogeneous air&space complexes / Ignatov V. O., Kudrenko S. O. // Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ. – 2007. – Vol. 1 – P. 2.17-2.24.
2. Игнатов В.А. Теоретическое обоснование оптимального управления обработкой сигналов в интегрированных аэрокосмических навигационных комплексах. / Игнатов В.А., Кудренко С.А., Никулин В.И., Вельдяскина М.И. // Авиационно-космическая техника и технология. - Х.: НАКУ. – 2007. – № 3 (39). – С. 66-71.
3. Пат. У 2008 14167 Україна, МПК (2009) G01 С 3/00. Паралельний спосіб оптимального керування комплексуванням вимірників при нерівно точних вимірах фізичних величин/ В.О. Ігнатов, С.О. Кудренко С.О., Конахович Г.Ф., Нікулін В.І.; заявл. 09.12.2008; опубл. 10.11.2009. Бюл. №21, 2009. – 6 с.
4. Игнатов В.А. Необходимые условия для оптимального управления обработкой сигналов в интегрированных аэрокосмических навигационных системах. / Игнатов В.А., Кудренко С.А., Никулин В.И., Вельдяскина М.И. // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ. – 2007. – № 4 (40). – С. 86-91.