

УДК.656.61.052

Сергій Юрійович Інфімовський

# ЗНІМАННЯ В ЕТАЛОННОМУ ЛАТЕРАЛЬНОМУ РАЙОНІ ТА АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПОХИБОК ОБСЕРВАЦІЙ В СУПУТНИКОВОМУ НАВІГАЦІЙНОМУ ПОЛІ МОРСЬКОЇ ПОВЕРХНІ

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними задачами. Побудова карт просторових полів похибок обсервацій навігаційного поля морської поверхні — є однією з найважливіших завдань навігаційного оплавування супутниковых навігаційних систем. Ефективність застосування статистичних методів розрахунку карт похибок обсервацій навігаційного поля морської поверхні визначається обсягом даних, котрі є у розпорядженні фахівців навігаційного забезпечення. Чим повніше її значніше за обсягом вихідна інформація, тим вище точність його відновлення в довільній точці.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, у яких розпочато рішення даної проблеми та підкреслення невирішених раніше частин загальної проблеми. Точність навігаційних реалізацій в навігаційному полі потребує ретельного врахування усіх складових похибок обсервацій, які впливають на якість навігаційного поля та систематизація похибок, її складають точність визначення місцеположення рухомого об'єкту в навігаційному полі морської поверхні. У фаховій літературі дане питання розглядалося в роботах [3–11], але у згаданих роботах не було проведено повної систематизації чинників впливу на точність навігаційних реалізацій розподіляючи фактори й поєднуючи їх у групи не тільки за фізичною природою та точці прикладення, але й з урахуванням внеску кожного з них у сумарну величину похибки обсервації.

Проблема побудови динаміко-стохастичних моделей навігаційного поля морської поверхні пов'язана з обранням оптимальної процес-

дури використання інформації про усі складові похибок обсервацій, що складають точність визначення місцеположення рухомого об'єкту в навігаційному полі морської поверхні.

**Формулювання мети статті (постановка завдання).** *Метою даної статті є розгляд залежності кореляційних функцій згладжування від форми просторової області та вузлів відповідної сітки навігаційних вимірювань критерію якості розрахунку малих полів похибок обсервацій.*

**Викладення матеріалу дослідження з обґрутуванням отриманих наукових результатів.** Оскільки похибки обсервацій у навігації розглядають у вигляді еліпсу похибок навігаційних вимірювань то, звичайно, поле похибок обсервацій має вид двомірної, однорідної та ізотропної випадкової функції  $f(x_1, x_2)$ .

Апроксимація значень кореляційної функції для двомірної, однорідної та ізотропної випадкової функції  $f(x_1, x_2)$  має вид

$$K(r) = e^{-\alpha r} \cos \beta r, \quad \alpha = 0,082, \quad \beta = 0,17 \quad (1)$$

Двомірний спектр поля  $\Phi(w_1, w_2)$  може бути найдений по формулі

$$\Phi(w) = \frac{1}{2\pi c_0} \int_0^\infty K(r) I_0(w_0 r) dr \quad (2)$$

де  $r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$ ;  $I_0(w_1, w_2)$  — функція Беселя.

Практично, проте, зручніше використовувати залежність похибки інтерполяції від верхньої граничної частоти спектру, яка виведена для кореляційної функції (1) у [1] залишемо її у наступному виді:

$$E_{cp}(w_c) = \frac{\alpha \sqrt{[(w_c^2 + \alpha^2 - \beta^2) + 4\alpha^2\beta^2]^{\frac{1}{2}} - (w_c^2 + \alpha^2 - \beta^2)} + \beta \sqrt{[(w_c^2 + \alpha^2 - \beta^2) - 4\alpha^2\beta^2]^{\frac{1}{2}} - (w_c^2 + \alpha^2 - \beta^2)}}{\sqrt{2\pi} [(w_c^2 + \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2]^{\frac{1}{2}}}$$

При вибраних значеннях параметрів  $\alpha$  та  $\beta$  для позначення середньої похибки інтерполяції порядку 5% дисперсії поля похибок обсервацій значення  $w_c$  у формулі (3) повинно було складати  $1,4 \text{ міл}^{-1}$ .

По формулі

$$\alpha = \frac{2\pi}{\sqrt{3}w_c}. \quad (4)$$

легко знайти, що інтервал між обсерваціями на полігоні у зоні навігаційного забезпечення повинен скласти 2,3 мілі. Це відповідає відстані міжгалсового відстояння при оплавуванні (досліджені) супутникового навігаційного поля морської поверхні.

Всі розрахунки, пов'язані з відшуканням відстояння між галсами оплавування супутникового навігаційного поля морської поверхні, проводилися під час руху судна по першому галсу, верхня межа дослідницького полігона.

Таким чином, в плануванні навігаційного знімання при супутниковому навігаційному забезпеченні стало можливим здійснити одночасно з вимірами на полігоні й опрацювати інформацію навігаційних вимірювань на персональному комп'ютері (рис. 1).

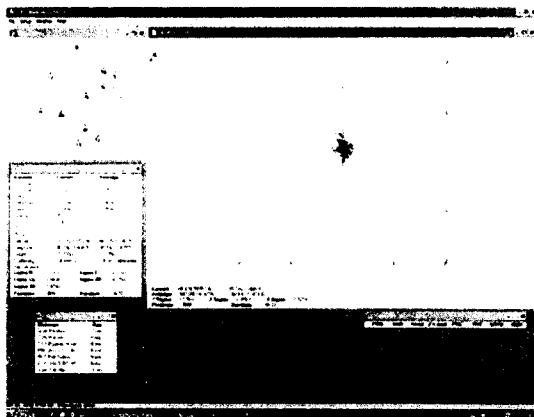


Рис. 1. Приклад обробки інформації навігаційних вимірювань на персональному комп'ютері

Для зручності у межах полігона було виконано 10 паралельних профілів розподілу похибок обсервацій супутникового навігаційного забезпечення.

Значення похибок, зняті з цих профілів, утворили 60-градусну гексоїдальну регулярну сітку навігаційних вимірювань, а "відскоки" у навігаційних вимірах були використані у якості контрольних навігаційних вимірювань при оцінці точності інтерполяції.

Для перевірки ступеня однорідності та ізотропності поля похибок обсервацій були розраховані кореляційні функції поля похибок обсервацій по трьом напрямкам, що утворили кути  $0^\circ$ ,  $60^\circ$  та  $120^\circ$ . Для зменшення нестационарності виконано згладжування вихідного поля відхилень від згладжених зна-

чень. Найкраще збігання кореляційних функцій за різними напрямками в полі відхилень було отримано при згладжуванні по шестикутовій просторовій області, яка містила 65 значень обсервацій у вузлах сітки навігаційних вимірювань. Інтерполяція похибок обсервацій виконувалася за допомогою спектрального алгоритму оптимальної інтерполяції [11], відзначимо, що розрахунок похибок обсервацій подібним методом в морській навігації, наскільки це нам відомо, виконано вперше. Результати розрахунку наведено у статті [2]. Графіки кореляційних функцій для цього випадку наведено на рис. 2.

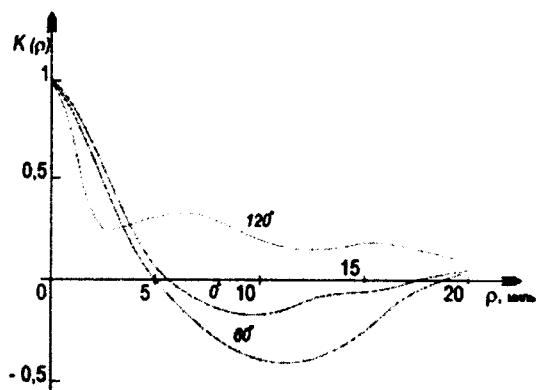


Рис. 2. Перевірка ізотропності відхилення поля похибок обсервацій від згладженої складової

Для оцінки точності спектрального алгоритму оптимальної інтерполяції попередньо було проведено відновлення поля похибок обсервацій у контрольних точках, в яких похибки вимірювань були відомі заздалегідь. Розрахунок проведений за даними безпосередніх вимірювань, а також по полям відхилень від середнього при різних ступенях осереднення. У кожному експерименті здійснювалося відшукання середнього значення похибки оптимальної інтерполяції.

На рис. 3 надано середнє значення похибки інтерполяції вигляді функції від розмірів області осереднення, яка використовувалася при розподіленні поля похибок обсервацій на ізотропну та анізотропну складові.

Величини анізотропної складової знаходилися шляхом лінійної інтерполяції. Крайня з права точка на графіку відповідає оптимальній інтерполяції по вихідним даним без попереднього обчислення анізотропної складової.

Наведені на графіку рис. 3 результати розрахунків свідчать про високу точність спектрального методу інтерполяції. Мінімальне значення похибки інтерполяції, як і слідувало очікувати, було отримано, коли інтервал згладжування забезпечував найкраще розподілення поля похибок обсервацій на ізотропну та анізотропну складові.

Середня точність розрахунку складала 10 % дисперсії поля, тобто опинилася декілька

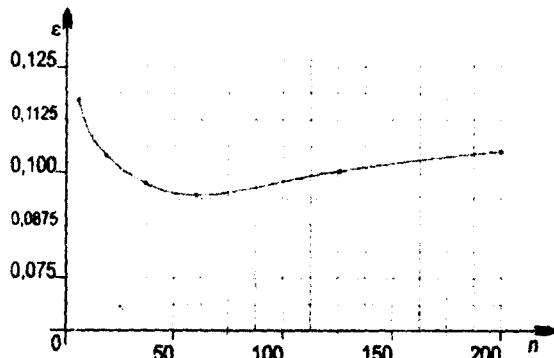


Рис. 3. Залежність середньої похибки інтерполяції від розміру зони осереднення

нижче, ніж отримана теоретичним шляхом за формулою

$$C = C_0 N, \quad (5)$$

де  $C_0$  — вартість навігаційної інформації, яка надходить від однієї ККС МДП ССН;

$N$  — кількість ККС МДП ССН у мережі.

Оцінки  $\varepsilon_{\text{ср}} = 5\%$ . Це можливо пояснити впливом меж полігону, проявленням залишкової анізотропії поля відхилень та похибками лінійної інтерполяції. Але у цілому співпадіння теоретичної та експериментальної похибок розрахунку слід вважати добрим.

Карта поля похибок обсервацій побудована за результатами інтерполяції у вузли гексоїдальної регулярної сітки, з кроком 0,6 мілі.

Таким чином, використані у цьому експерименті теоретичні формулі планування дослідницького навігаційного знімання й побудови карти поля похибок обсервації дало добри результати.

Відзначимо, що ці результати є прикладом практичного використання системного підходу до аналізу просторового поля похибок обсервацій. При плануванні дослідницького полігона у якості кінцевої наукової мети була визначена карта поля похибок обсервацій навігаційного поля морської поверхні. Критерієм якості розрахунку карти, тобто показником якості досягнення мети дослідження, є середня по полігону похибка оптимальної інтерполяції поля обсервацій. Обрання критерію якості було зумовлено властивостями використаної статистичної моделі поля — однорідної та ізотропної випадкової функції координат.

Проведені для перевірки ізотропності поля похибок обсервацій кількісні експерименти щодо знаходження раціонального просторового згладжування поля дозволили розділити поле похибок обсервацій на випадкову та детерміновану складові. Одночасно розміри основи спектру випадкової складової були приведені у відповідність до обраної для надання поля 60-градусної гексагональної регулярної сітки навігаційних вимірювань.

Висновки та перспектива подальшої роботи з даного напряму. Отже, завдяки обранню 60-градусної гексагональної регулярної сітки процедура навігаційних вимірювань для оптимальної побудови карти поля похибок обсервацій на ПЕОМ була зведена до достатньо простих формул спектрального алгоритму оптимальної інтерполяції, але й що принципово важливо, то це таке, метод інтерполяції дозволяє використовувати оптимальну інтерполяцію в експедиційних умовах, тобто судноводії можуть власноручно виконувати його під час плавання.

## Література

- Інфимовський С. Ю. Залежність похибки інтерполяції від інтервалу між обсерваціями в навігаційному полі морської поверхні. [Електронний ресурс] / С. Ю. Інфимовський. — Електронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування"; м. Миколаїв. — 2010. — № 3. — Режим доступу : <http://ev.ucoz.edu.ua/content/10isyrpr>.
- Інфимовський С. Ю. Розробка методу засвоєння асинхронних даних навігаційних реалізацій / С. Ю. Інфимовський // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2010. — № 6/3 (48). — С. 4—7.
- Дмитриев С. П. Нелинейные задачи обработки навигационной информации / С. П. Дмитриев, Л. И. Шимелевич. — Л. : ЦНИИ "Румб", 1977. — 86 с.
- Дубинко Ю. С. Точность КНС ВМФ / Ю. С. Дубинко — Л., ВМОЛУА, 1975. — 78 с.
- Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО—2000). Адм. 9106. — СПб. : ГУНиО МО, 2001. — 328 с.
- Кондрашихин В. Т. Распределение погрешностей обсерваций по навигационным спутникам / В. Т. Кондрашихин, И. А. Бурмака // Записки по гидрографии. — 1986. — № 223. — С. 17—21.
- Конпрад Д. Анализ ошибок систем навигационных спутников // Конпрад Д. Управление в космосе. — В кн.: Труды III Междунар. симпозиума ИФАК по автоматическому управлению в мирном использовании космического пространства. — Т. 1. — М. : Наука, 1972. — 286 с.
- Методика по использованию спутниковых навигационных систем при производстве гидрографических работ, (дополнение к Правилам гидрографической службы № 4). — СПб. : ГУНиО МО, 2003. — 25 с.
- Методики вероятностных расчётов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ (МВР—96). Адм. № 9638. — СПб. : ГУНиО МО, 1999. — 224 с.
- Пантелеев В. М. Эффективность использования КНС с аппаратами на средних высотах в интересах сил флота. — Л. : ВМА, 1982. — 183 с.
- Petersen D. On representative observations / D. P. Petersen, D. Middleton. — Tellus, 1963. — 15. — p. 387—405.

Рассматривается зависимость корреляционных функций слаживания от формы пространственной области и узлов соответствующей сетки навигационных измерений и критерия качества расчёта карты поля ошибок обсерваций.

**Ключевые слова:** навигационные реализации, латеральная зона, оптимальная интерполяция, ошибка обсервации, безопасность мореплавания.

Dependence of correlation functions of smoothing on the form of spatial area and units of a meeting grid of navigating measurements and criterion of quality of calculation of a map of field of errors of observations is considered.

**Key words:** navigating realizations, lateral zone, optimum interpolation, an error of an observation, safety of navigation.