

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ"

Фусар Ігор Юрійович



УДК 656.61.052

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СУДНОВОДІННЯ РОЗРОБКОЮ
ЗАГАЛЬНОГО СПОСОБУ ОЦІНКИ КООРДИНАТ СУДНА**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті "Одеська морська академія" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Ворохобін Ігор Ігорович,
Національний університет "Одеська морська академія",
директор навчально-наукового інституту навігації.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Журавська Ірина Миколаївна,
професор кафедри комп'ютерної інженерії
Чорноморського національного університету імені
Петра Могили, Міністерства освіти і науки України, м.Миколаїв

кандидат технічних наук, доцент
Товстокорий Олег Миколайович,
завідувач кафедри управління судном
Херсонської державної морської академії
Міністерства освіти і науки України, м. Херсон.

Захист відбудеться 16 грудня 2021 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті "Одеська морська академія" за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету "Одеська морська академія" за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2, та за електронною адресою: <http://onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий 16 листопада 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
д. т. н., професор



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення контролю безаварійності судноводіння та вдосконалення методів контролю місцеположення судна сприяє зниженню шкоди людському життю, навколишньому середовищу та майну, що є найбільш важливою з проблем безпеки мореплавства в сучасних умовах.

Плавання суден в стислих водах ускладнено інтенсивним судноплаванням і навігаційними перешкодами, що створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Тому одним із напрямків зниження навігаційної аварійності при плаванні в стислих районах є підвищення точності судноводіння за рахунок використання ефективних способів оцінки координат судна за наявності додаткових ліній положення, що є темою даної роботи та являється актуальним і перспективним науковим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Для виконання роботи були ураховані розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р про положення Транспортної стратегії України на період до 2020 р., рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008). Дослідження по темі дисертаційної роботи також проводилися в рамках планів наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою "Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання" (№ ДР 0115U003580, 2018 р.), в якій здобувач виконав окремий підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження являється підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення методів підвищення точності судноводіння за рахунок розробки нового загального методу оцінки координат судна при наявності надлишкових ліній положення, який забезпечує мінімальні втрати точності координат судна. Головна задача дослідження полягає в розробці алгоритмів запропонованого загального методу оцінки координат судна при наявності надлишкових ліній положення.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято допущення про можливість підвищення точності судноводіння розробкою загального методу оцінки координат судна застосуванням надлишкових ліній положення.

Головну задачу дисертації методами теорії дослідження операцій було розділено на три незалежні складові задачі:

1. Розробка методу розкладання щільності розподілу похибки навігаційних вимірювань поліномами Ерміта з використанням дисперсії і четвертого центрального моменту.

2. Розробка способу розрахунку координат в разі надлишкових навігаційних вимірювань з мінімальною втратою точності координат.

3. Процедура оцінки втрат точності визначення координат судна при надлишкових лініях положення в залежності від алгоритму розрахунку координат.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення контролю безаварійності судноводіння та вдосконалення методів контролю місцеположення судна сприяє зниженню шкоди людському життю, навколишньому середовищу та майну, що є найбільш важливою з проблем безпеки мореплавства в сучасних умовах.

Плавання суден в стислих водах ускладнено інтенсивним судноплаванням і навігаційними перешкодами, що створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Тому одним із напрямків зниження навігаційної аварійності при плаванні в стислих районах є підвищення точності судноводіння за рахунок використання ефективних способів оцінки координат судна за наявності додаткових ліній положення, що є темою даної роботи та являється актуальним і перспективним науковим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Для виконання роботи були ураховані розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р про положення Транспортної стратегії України на період до 2020 р., рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008). Дослідження по темі дисертаційної роботи також проводилися в рамках планів наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою "Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання" (№ ДР 0115U003580, 2018 р.), в якій здобувач виконав окремий підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження являється підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення методів підвищення точності судноводіння за рахунок розробки нового загального методу оцінки координат судна при наявності надлишкових ліній положення, який забезпечує мінімальні втрати точності координат судна. Головна задача дослідження полягає в розробці алгоритмів запропонованого загального методу оцінки координат судна при наявності надлишкових ліній положення.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято допущення про можливість підвищення точності судноводіння розробкою загального методу оцінки координат судна застосуванням надлишкових ліній положення.

Головну задачу дисертації методами теорії дослідження операцій було розділено на три незалежні складові задачі:

1. Розробка методу розкладання щільності розподілу похибки навігаційних вимірювань поліномами Ерміта з використанням дисперсії і четвертого центрального моменту.

2. Розробка способу розрахунку координат в разі надлишкових навігаційних вимірювань з мінімальною втратою точності координат.

3. Процедура оцінки втрат точності визначення координат судна при надлишкових лініях положення в залежності від алгоритму розрахунку координат.

Об'єктом дослідження є безпека судноводіння в сучасних умовах.

Предметом дослідження є методи підвищення точності судноводіння та контроль місцеположення судна.

Методи дослідження. Для рішення поставлених в роботі задач було використано методи:

- системного аналізу при обґрунтованні теми дисертаційного дослідження та формуванні його методологічного забезпечення;
- дослідження операцій для розділення головної задачі дисертації на незалежні складові задачі;
- теорії вірогідності для формування способу оцінки втрати точності визначення координат судна;
- математичної статистики для розробки загального способу розрахунку координат судна з використанням ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних вимірювань.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці нового загального методу оцінки обсервованих координат судна при наявності надлишкових ліній положення, який відрізняється використанням ортогонального розкладання щільності розподілу їх похибок, чим забезпечуються мінімальні втрати точності координат судна.

У дисертаційній роботі:

– вперше запропоновано метод ортогонального розкладання щільності розподілу похибки навігаційних вимірювань з використанням дисперсії і четвертого центрального моменту, що не потребує знання закону розподілу похибки;

– вперше розроблено спосіб оцінки втрат точності визначення обсервованих координат судна при надлишкових лініях положення в залежності від алгоритму розрахунку координат;

– удосконалено процедуру розрахунку обсервованих координат в разі надлишкових навігаційних вимірювань, яка забезпечує мінімальну втрату точності координат;

– метод оцінки втрат точності набув подальшого розвитку при розробці алгоритмів програм для засобів електронної навігації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження його результатів при розробці судових навігаційних систем для підвищення точності судноводіння.

Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в освітньому процесі на кафедрі судноводіння при викладанні дисципліни «Обробка і аналіз навігаційної інформації» (акт від 28.04.2021 р.), а також увійшли складовою частиною до НДР кафедри ТЗС (акт від 26.04.2021 р.). Теоретичні результати дисертаційного дослідження впроваджені навчально-тренажерним центром «ABC Maritime LLC» при навчанні та підготовці судноводіїв (акт впровадження від 07.05.2021 р.). Результати дисертаційної роботи впроваджені в освітній процес Херсонської державної морської академії (акт впровадження від 14.05.2021 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційну роботу здобувач виконав самостійно: ним проведено аналіз літературних джерел по основним напрямкам проблеми забезпечення безпеки судноводіння та проведено методологічне забезпечення дисертаційного дослідження, розроблено спосіб ортогонального розкладання щільності розподілу похибки навігаційних вимірювань з використанням дисперсії і четвертого центрального моменту, також запропоновано спосіб оцінки втрат точності визначення обсервованих координат судна при надлишкових лініях положення в залежності від алгоритму розрахунку координат, здобувачем отримано процедуру розрахунку обсервованих координат в разі надлишкових навігаційних вимірювань, яка забезпечує мінімальну втрату точності координат та впроваджено результати роботи в виробничий процес. З наукових праць, опублікованих ним у співавторстві, в дисертаційній роботі використані лише ті положення, які належать автору особисто: процедура ортогонального розкладання щільності розподілу похибки навігаційних вимірювань [1-3,8], застосування поліномів Ерміта для ортогонального розкладання щільності розподілу похибки навігаційних вимірювань [4], вплив надлишкових ліній положення на точність обсервації судна [5,6].

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідалися і були схвалені на науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях:

науково-технічна конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 16-17 листоп. 2017 р.), науково-технічна конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 15-16 листопаду 2018 р.), науково-технічна конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 14-15 листопаду 2019 р.), X Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018)» (Херсон, 29-31 травня 2018 р.), XI Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019)» (Херсон, 28-30 травня 2019 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 13 наукових праць (з них 5 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 5 наукові статті [2,3,5,7,13]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 3 наукові статті [1,4,6]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 5 доповідей [8-12].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (112 найменувань) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 194 сторінки та містить 42 рисунки, зокрема: 165 сторінок основного тексту, 13 сторінок списку використаних джерел, 16 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми дисертації, зв'язок із програмами наукових досліджень університету та сформульовано мету дисертаційного дослідження. У вступі також визначено головну задачу, що представлена незалежними складовими задачами, приведено наукову новизну дослідження та його практичну цінність.

У першому розділі, на базі огляду літературних джерел проведено аналіз основних напрямків вирішення проблеми забезпечення безаварійності судноводіння.

Суттєвий внесок в теорію і практику вирішення проблеми зниження аварійності суден зробили вітчизняні та іноземні вчені Аксютін Л.Р., Воробйов Ю.Л., Вагущенко Л.Л., Кондрашихін В.Т., Мальцев А.С., Цимбал М.М., Фрейдзон І.Р., Lisowski J та інші.

У розділі було встановлено, що одним із основних аспектів вирішення проблеми зниження аварійності суден в стислих водах є підвищення точності судноводіння. Значний резерв вирішення цього аспекту полягає у використанні додаткових навігаційних вимірювань та застосуванні алгоритмів їх обробки, які забезпечують максимальну точність результатів.

Другий розділ присвячено проведенню методологічного забезпечення дисертаційного дослідження та обґрунтуванню його теми.

Методами системного підходу сформовано технологічну карту дисертаційного дослідження, яка відображає мету, головну задачу дослідження, його робочу гіпотезу, також визначено об'єкт і предмет дисертації. За допомогою методів теорії дослідження операцій було проведено декомпозицію головної задачі дисертації на складові незалежні задачі.

В третьому розділі представлено методи і матеріали, що необхідні для вирішення поставлених задач дисертаційного дослідження, а також запропоновано ортогональне розкладання щільності розподілу вірогідності похибок навігаційних вимірювань.

В розділі розглянуто закони розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань вибірки і показано, що така випадкова похибка підкоряється нормальному або змішаному закону розподілу вірогідності. Оскільки крім нормального закону розподілу випадкові похибки можуть мати змішаний розподіл, то в даному розділі детально розглянуті питання механізму формування змішаних розподілів і з'ясування їх властивостей.

Приведена щільність змішаних розподілів двох типів, базовою щільністю яких є щільність розподілу Коші і Пірсона сьомого типу.

Для двох даних змішаних законів розподілу одержані в явному виді функції розподілу і за допомогою спеціальних перевірок підтверджена коректність їх аналітичних виразів. Описані два способи отримання виразів для функцій розподілу змішаних законів розподілу.

Проведено аналіз можливостей застосування ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних вимірювань за допомогою поліномів Ерміта. Приведені властивості поліномів Ерміта для нормованої щільності розподілу Гауса і доведено, що властивості поліномів Ерміта справедливі для ненормованої щільності нормального розподілу.

Проведено доказ виразів для поліномів Ерміта і коефіцієнтів розкладання для нормованої і ненормованої щільності нормального закону. Одержано в явному вигляді ортогональні розкладання щільності на базі нормованого і ненормованого нормального закону.

Таким чином, у розділі представлено методи і матеріали, що необхідні для вирішення поставлених задач дисертаційного дослідження, а також запропоновано ортогональне розкладання щільності розподілу вірогідності похибок навігаційних вимірювань.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [5, 6].

У **четвертому розділі** розглянуто ортогональне розкладання щільності змішаних законів першого і другого типу, а також узагальненого розподілу Пуассона, та запропоновано спосіб застосування ортогонального розкладання для розрахунку обсервованих координат судна за наявності надмірних вимірювань і оцінки їх ефективності, чому присвячені перша та друга складові задачі дисертаційного дослідження.

У розділі проведено аналіз збіжності ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних параметрів з самою щільністю. З цією метою для декількох відомих виразів щільності розподілу проведено ортогональне розкладання і порівняно значення початкової щільності розподілу з її ортогональним розкладанням. Враховуючи симетричність кривої щільності розподілу, для аналізу розглянуто тільки позитивні значення похибки ξ у межах від 0 до 6σ , - практично весь інтервал можливих значень похибки. Вказаний інтервал розбито на 24 відрізки однакової довжини (по $0,25\sigma$). Для кожного i -го відрізка обчислено значення початкової щільності $f(\xi_i)$ і щільності $f(\xi_i)$, що є ортогональним розкладанням початкової щільності, причому значення ξ_i відповідає середині i -го відрізка. Як критерій збіжності Θ , що характеризує відповідність ортогонального розкладання $f(\xi_i)$ початковій густині $f(\xi_i)$, вибрана наступна сума:

$$\Theta = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \left\{ \frac{[f(\xi_i) - f(\xi_i)]^2}{f(\xi_i)} \right\}^{1/2},$$

яка виражає відносне ухилення щільності $f(\xi_i)$ від її розкладання.

В якості початкової щільності вибираємо щільність змішаного розподілу першого і другого типу, а також щільність узагальненого розподілу Пуассона.

Вираз для ортогонального розкладання за допомогою поліномів Ерміта з базовою нормованою щільністю Гауса:

$$f(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) \left[1 + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{c_{2j}}{2j!} H_{2j}(y) \right],$$

де $H_{2j}(y)$ - ортогональні поліноми Ерміта;

c_{2j} - коефіцієнти розкладання.

З урахуванням перших п'яти членів розкладання одержимо:

$$f(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) \left[1 + \sum_{j=2}^6 \Phi_j \right],$$

$$\text{де } \Phi_j = \frac{c_{2j}}{2j!} H_{2j}(y).$$

Докладні вирази для Φ_j мають наступний вигляд:

$$\Phi_2 = (\mu_4 - 3)(y^4 - 6y^2 + 3)/4!;$$

$$\Phi_3 = (\mu_6 - 15\mu_4 + 30)(y^6 - 15y^4 + 45y^2 - 15)/6!;$$

$$\Phi_4 = (\mu_8 - 28\mu_6 + 210\mu_4 - 315)(y^6 - 15y^4 + 45y^2 - 15)/8!;$$

$$\Phi_5 = (\mu_{10} - 45\mu_8 + 630\mu_6 - 3150\mu_4 + 3780) \times \\ (y^{10} - 45y^8 + 630y^6 - 3150y^4 + 4725y^2 - 945)/10!;$$

$$\Phi_6 = (\mu_{12} - 66\mu_{10} + 1485\mu_8 - 13860\mu_6 + 51975\mu_4 - 51975) \times \\ (y^{12} - 66y^{10} + 1485y^8 - 13860y^6 + 51975y^4 - 62370y^2 + 10395)/12!.$$

Вираз для ортогонального розкладання можна використовувати замість початкової щільності, тільки потрібно у формули для Φ_j підставити центральні моменти μ_m початкової щільності, заздалегідь перетворивши її до нормованої.

Розглянемо як початкова щільність розподілу центрованої похибки ξ змішаного закону першого типу, яка має наступний аналітичний вигляд:

$$f_1(\xi) = \frac{A_n}{(\xi^2/2 + \lambda)^{n+1}},$$

де A_n - нормуючий множник;

λ - масштабний параметр;

n - істотний параметр.

Їй відповідає нормована щільність $g_1(\eta)$, що має наступний вигляд:

$$g_1(\eta) = \frac{B_1}{(\eta^2/(2n-1) + 1)^{n+1}}.$$

Тут $B_1 = \frac{2^{2n} [(n)!]^2}{(2n-1)^{1/2} \pi (2n)!}$ - нормуючий множник.

Очевидно, що залежно від n ортогональне розкладання містить різну кількість складових, оскільки порядок парного центрального моменту в даному типі щільності не може перевершувати істотного параметра n , тобто $m < n$. З урахуванням набутих значень моментів μ_{2m} приведемо вирази для

ортогонального розкладання $f_1(y)$ залежно від значення істотного параметра n ($n = 2, 4, 6, 8, 10$).

$$f_1^{(2)}(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(2)}];$$

$$f_1^{(4)}(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(4)} + \Phi_2^{(4)} + \Phi_3^{(4)}];$$

$$f_1^{(6)}(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(6)} + \Phi_2^{(6)} + \Phi_3^{(6)} + \Phi_4^{(6)} + \Phi_5^{(6)}];$$

$$f_1^{(8)}(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(8)} + \Phi_2^{(8)} + \Phi_3^{(8)} + \Phi_4^{(8)} + \Phi_5^{(8)}];$$

$$f_1^{(10)}(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(10)} + \Phi_2^{(10)} + \Phi_3^{(10)} + \Phi_4^{(10)} + \Phi_5^{(10)}].$$

З метою вивчення властивостей ортогонального розкладання для кожної щільності, окрім $n=2$, розраховували критерій збіжності при різному числі складових, тобто спочатку в ортогональному розкладанні $f_1^{(n)}(y)$ враховували тільки перший доданок $\Phi_1^{(n)}$ і розраховували збіжність $\mathcal{E}_1^{(n)}$. Потім обчислювали значення $\mathcal{E}_2^{(n)}$, зберігаючи в розкладанні $f_1^{(n)}(y)$ два доданки $\Phi_1^{(n)}$ і $\Phi_2^{(n)}$. Аналогічно знаходили збіжність для розкладання з трьома, чотирма і п'ятьма доданками. Результати розрахунку збіжності $\mathcal{E}_i^{(n)}$ застосування розкладання $f_1^{(n)}(y)$ замість початкової щільності $g(y)$ при різному числі доданків $\Phi_i^{(n)}$ приведені в табл. 1.

Таблица 1.

Результати розрахунку збіжності $\mathcal{E}_i^{(n)}$

n	$\mathcal{E}_1^{(n)}$	$\mathcal{E}_2^{(n)}$	$\mathcal{E}_3^{(n)}$	$\mathcal{E}_4^{(n)}$	$\mathcal{E}_5^{(n)}$
2	0,175	-	-	-	-
4	0,0216	0,085	1,11	-	-
6	0,0094	0,0193	0,0547	0,334	7,09
8	0,0055	0,0085	0,0141	0,0406	0,188
10	0,0037	0,0048	0,0057	0,0115	0,0313

Як впливає з приведеної таблиці, найкраща збіжність ортогонального розкладання у разі, коли воно містить тільки один доданок, причому $\mathcal{E}_1^{(n)}$ поліпшується із зростанням n , тобто оптимальне ортогональне розкладання має наступний вираз:

$$f_1^{(n)}(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(n)}],$$

де $\Phi_1^{(n)}(y) = (\mu_4^{(n)} - 3)(y^4 - 6y^2 + 3)/24$.

Приєднання додаткових членів розкладання, як показали проведені дослідження, тільки погіршує його точність.

Аналогічні результати збіжності $\Xi_i^{(n)}$ отримано для змішаного закону розподілу похибки другого типу і узагальненого закону розподілу Пуассона, породжуваного розподілом Гауса.

Для зіставлення кривих щільності і її ортогонального розкладання були зроблені розрахунки їх значень. На рис. 1 показані криві нормованої щільності $g_1(\eta)$ змішаного закону першого типу для значень істотного параметра $n=4, 6$, які мають блакитний колір. Оскільки криві щільності симетричні, то показана тільки половина кривої для позитивних значень похибки, приймаючих значення в діапазоні шести середньо квадратичних відхилень. На цьому ж рисунку жовтим кольором показані відповідні криві ортогонального розкладання.

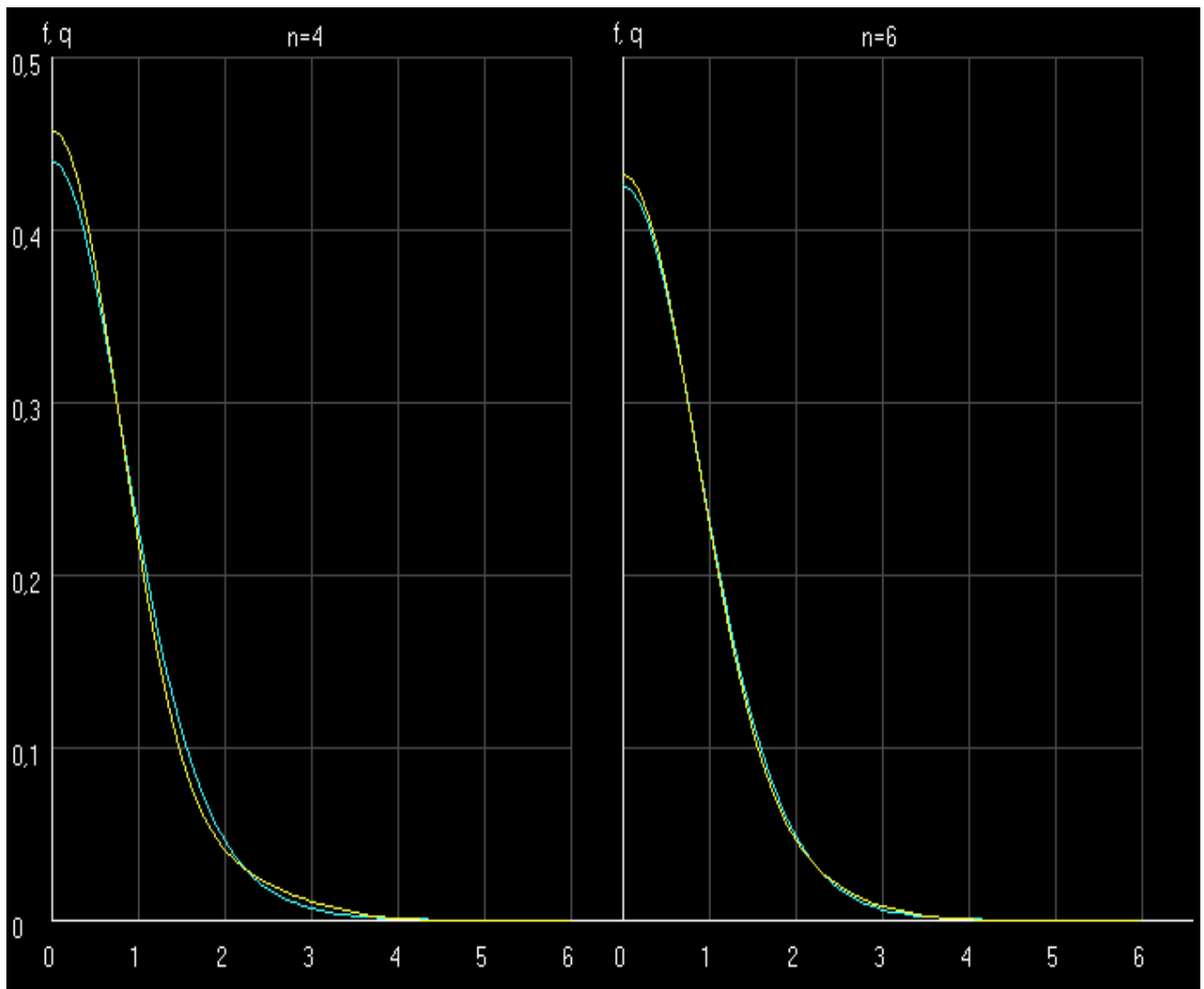


Рис. 1. Нормовані щільності $g_1(\eta)$ і їх розкладання $f(\eta)$ ($n = 4, n = 6$)

В роботі розглянуто застосування ортогонального розкладання для розрахунку обсервованих координат судна за наявності надмірних вимірювань, які характеризуються довжиною r_i нормалі від початку системи координат до i -ї лінії положення та напрямом α_i градієнта навігаційного параметра, тобто кутом між перенесенням r_i і віссю вибраної системи координат.

Для цього отримана система рівнянь, яка має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1} \sin \alpha_i \left\{ -\frac{\xi_i}{\sigma^2} + \frac{\frac{(\mu_4 / \sigma^4 - 3)}{(4)!} [4\xi_i^3 / \sigma^8 - 12\xi_i / \sigma^4]}{[1 + \frac{(\mu_4 / \sigma^4 - 3)}{(4)!} ((\xi_i / \sigma^2)^4 - 6(\xi_i / \sigma^2)^2 + 3)]} \right\} = 0; \\ \sum_{i=1} \cos \alpha_i \left\{ -\frac{\xi_i}{\sigma^2} + \frac{\frac{(\mu_4 / \sigma^4 - 3)}{(4)!} [4\xi_i^3 / \sigma^8 - 12\xi_i / \sigma^4]}{[1 + \frac{(\mu_4 / \sigma^4 - 3)}{(4)!} ((\xi_i / \sigma^2)^4 - 6(\xi_i / \sigma^2)^2 + 3)]} \right\} = 0; \\ \xi_i = x \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i - r_i. \end{array} \right.$$

Вирішуючи дану систему рівнянь і маючи в своєму розпорядженні значення дисперсії σ^2 і четвертого центрального моменту μ_4 початкового розподілу похибок, визначаються обсервовані координати судна без використання виразу для щільності розподілу вірогідності похибок ліній положення.

В роботі розроблено спосіб оцінки ефективності e_R координат судна, розрахованих запропонованим методом застосування ортогонального розкладання. В разі розподілу похибок по змішаному закону першого типу ефективність e_{R1} координат судна визначається виразом:

$$e_{R1} = \frac{q^2}{ps}, \quad (1)$$

де p , q і s – невласні інтеграли, які визначаються виразами:

$$p = \int_{R1} \frac{B_1}{(x^2 / (2n - 1) + 1)^{n+1}} \left\{ \frac{-x + \frac{(\mu_4 - 3)}{24} [-x^5 + 10x^3 - 15x]}{1 + \frac{(\mu_4 - 3)}{24} (x^4 - 6x^2 + 3)} \right\}^2 dx, \quad (2)$$

$$q = \int_{R1} \frac{B_1}{(x^2 / (2n - 1) + 1)^{n+1}} \left\{ \frac{Q(x) + \frac{(\mu_4 - 3)}{6} (-2x^4 + 9x^2 - 3)}{1 + \frac{(\mu_4 - 3)}{24} (x^4 - 6x^2 + 3)} \right\} dx - p, \quad (3)$$

де $Q(x) = (x^2 - 1)[1 + \frac{(\mu_4 - 3)}{24}(x^4 - 6x^2 + 3)]$.

$$s = \frac{(n+1)(2n+1)}{(2n-1)(n+2)}. \quad (4)$$

Проводилася оцінка ефективності e_R для щільності $g_1(x)$ із значеннями істотного параметра n , рівного 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10. Розрахунок невластних інтегралів p і q проводився по виразах (2) і (3) методом Сімпсона з межами інтегрування від -6 до 6, в який потрапляють всі нормовані і центровані випадкові величини. Інтеграл s розраховувався по формулі (4). Оцінка ефективності e_R проводилася за допомогою виразу (1) і її значення приведені в другому рядку табл. 1.

Результати розрахунку ефективності e_G координат судна у разі розподілу похибок ліній положення по змішаному закону першого типу з щільністю $g_1(x)$, а розрахунок координат виконувався методом найменших квадратів також приведені в табл. 1, аналіз якої показує високу ефективність e_R координат судна, одержаних пропонованим методом застосування ортогонального розкладання, яка перевершує ефективність e_G координат, розрахованих методом найменших квадратів.

Таблиця 1.

Ефективності e_G і e_R щільності розподілу $g_1(x)$

n	3	4	5	6	8	10
e_G	0,893	0,934	0,955	0,968	0,980	0,987
e_{R1}	0,994	1	1	1	1	1

Якщо похибки ліній положення розподілені по змішаному закону другого типу, то невластні інтеграли p , q і s визначаються виразами:

$$p = \int_{R1} \frac{B_2}{(x^2/2n+1)^{n+3/2}} \left\{ \frac{-x + \frac{(\mu_4 - 3)}{24}[-x^5 + 10x^3 - 15x]}{1 + \frac{(\mu_4 - 3)}{24}(x^4 - 6x^2 + 3)} \right\}^2 dx,$$

$$q = \int_{R1} \frac{B_2}{(x^2/2n+1)^{n+3/2}} \left\{ \frac{Q(x) + \frac{(\mu_4 - 3)}{6}[-2x^4 + 9x^2 - 3]}{1 + \frac{(\mu_4 - 3)}{24}(x^4 - 6x^2 + 3)} \right\}^2 dx - p,$$

$$s = \frac{(2n+3)(n+1)}{2n(n+5)}.$$

Аналогічно попередньому випадку проводився розрахунок ефективності e_{R2} у разі розподілу похибок ліній положення по змішаному закону другого

типу, значення якої приведено в другому рядку табл. 2. В таблиці також приведені результати розрахунку ефективності e_G для розрахунку координат методом найменших квадратів.

Таблиця 2.

Ефективності e_G і e_R щільності розподілу $g_2(x)$

n	3	4	5	6	8	10
e_G	0,917	0,945	0,962	0,971	0,982	0,988
e_R	0,996	1	1	1	1	1

Аналізуючи табл. 2, відзначаємо високу ефективність e_R координат судна, розрахованих запропонованим методом застосування ортогонального розкладання, яка перевершує ефективність e_G координат, одержаних методом найменших квадратів.

Таким чином, в четвертому розділі дисертації розглянуто ортогональне розкладання щільності змішаних законів першого і другого типу, а також узагальненого розподілу Пуассона, та запропоновано спосіб застосування ортогонального розкладання для розрахунку обсервованих координат судна за наявності надмірних вимірювань і оцінки їх ефективності

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1-4, 7, 8, 12].

У **п'ятому розділі** розроблено процедуру оцінки втрат точності визначення координат судна при надлишкових лініях положення в залежності від алгоритму розрахунку координат, що являється третьою складовою задачею дисертаційного дослідження.

Показано, якщо передбачуваний і дійсний закони розподілу вірогідності похибок вимірювань відрізняються, то відбувається втрата точності обсервованих координат, характеристика Δ якої має вигляд:

$$\Delta = ps - q^2,$$

де p , q і s – раніше розглянуті невласні інтеграли.

Розглянуто втрату точності обсервованих координат судна, якщо дійсна щільність розподілу вірогідності похибок ліній положення є щільністю змішаного розподілу першого типу.

Показано, що при розрахунку обсервованих координат методом максимальної правдоподібності втрата точності $\Delta = 0$, оскільки передбачуваний і дійсний закони розподілу вірогідності похибок вимірювань співпадають.

При розрахунку координат методом найменших квадратів передбачувана щільність розподілу похибок є нормальною, а дійсна щільність відноситься до змішаного розподілу першого типу. В цьому випадку втрата точності Δ_G для нормованої похибки ($\sigma^2 = 1$):

$$\Delta_G = \frac{(m+1)(2m+1)}{(m+2)(2m-1)} - 1.$$

При розрахунку обсервованих координат за допомогою методу ортогонального розкладання щільності похибок ліній положення для оцінки втрати точності Δ_R в роботі одержано невластні інтеграли p , q і s .

Для істотних параметрів n змішаного розподілу першого типу рівним 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 в табл. 3 приведені значення Δ_G і Δ_R .

Таблиця 3.

Втрата точності Δ_G і Δ_R змішаного закону першого типу

n	3	4	5	6	8	10
Δ_G	0,12	0,07	0,048	0,034	0,02	0,013
Δ_R	0,006	0	0	0	0	0

Аналогічно визначалася втрата точності Δ_G і Δ_R у разі розподілу похибки по змішаному закону другого типу, причому її значення для істотного параметру n приведено в табл. 4.

Таблиця 4.

Втрата точності Δ_G і Δ_R змішаного закону другого типу

n	3	4	5	6	8	10
Δ_G	0,083	0,055	0,038	0,029	0,018	0,012
Δ_R	0,004	0	0	0	0	0

Аналіз табл. 3 і табл. 4 показує, що втрати точності Δ_R координат судна, одержаних методом застосування ортогонального розкладання менше втрати точності Δ_G координат, розрахованих методом найменших квадратів.

З метою перевірки можливості застосування альтернативних законів для опису розподілу похибок вимірювання навігаційних параметрів в реальних умовах експлуатації були проведені натурні спостереження, результати яких представлені 8 вибірками похибок вимірювання навігаційних параметрів. Для формування початкових вибірок похибок вимірювання навігаційних параметрів проводилися серії вимірювання навігаційних параметрів кількістю більше 100 вимірювань. Вимірювання навігаційних параметрів проводилися на стоянці судна, причому за допомогою РЛС вимірювалися дистанція і пеленг на нерухомий орієнтир, а приймачем супутникової навігаційної системи GPS визначалися широта та довгота судна.

Послідовність вимірювань була наступною: спочатку вимірювалися пеленг і дистанція до орієнтиру, записувалися їх значення, а потім відліки РЛС збивалися. У момент часу вимірювалися пеленг і дистанція до орієнтиру за допомогою приймача супутникової навігаційної системи GPS фіксувалися широта і довгота судна.

Характеристики кожної з восьми вибірок приведені в табл. 5.

В роботі приведено результати аналізу вибірок похибок вимірювання пеленга, число членів якої розділяємо на 20 розрядів.

Таблиця 5.

Характеристики вибірок

№	Навігаційний параметр	Число вимірюв.	Середнє значен.	Дисперсія D	с. к. в. σ
1	пеленг	210	217,41°	0,222	28,3'
2	дистанція	210	0.3378 мор.миль	19,7	4,44 м
3	широта	210	28°49' S	47,13	6,87 м
4	довгота	210	32°02' E	44,4	6,67 м
5	пеленг	250	122,21°	0,246	29,76'
6	дистанція	250	0.1206 мор.миль	5,68	2,38 м
7	широта	250	14°41' N	38,11	6,17 м
8	довгота	250	17°25' W	39,84	6,31 м

Для кожної із вибірок побудована гістограма і крива ортогонального розкладання щільності, причому в якості прикладу на рис. 2 представлені гістограма і крива ортогонального розкладання щільності першої вибірки.

Для всіх восьми вибірок був розрахований критерій згоди χ^2 – Пірсона, значення якого приведено в табл. 6.

Таблиця 6.

Підсумкові результати натурних спостережень

N вибірки	Навігаційний параметр	Кількість членів	χ^2	Тривалість спостережень
1	пеленг	210	0,011	1 доба
2	дистанція	210	0,010	1 доба
3	широта	210	0,0097	1 доба
4	довгота	210	0,015	1 доба
5	пеленг	250	0,018	2 доби
6	дистанція	250	0,0091	2 доби
7	широта	250	0,011	2 доби
8	довгота	250	0,008	2 доби

Аналіз табл. 6 показує, що набуті значення критерію згоди Пірсона підтверджують правомірність використання ортогонального розкладання щільності розподілу похибки вимірювання з одним членом.

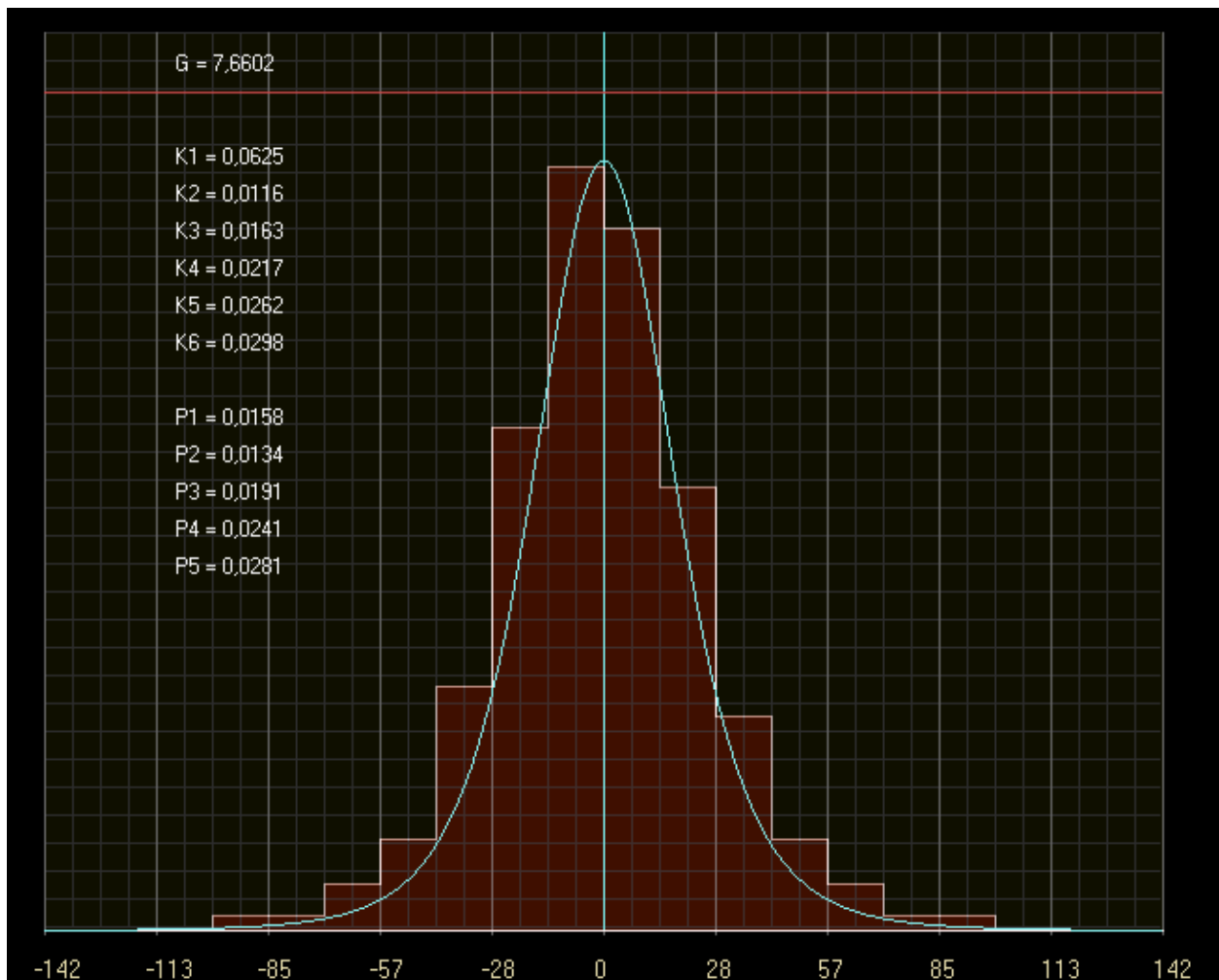


Рис. 2. Гістограма першої вибірки

Для оцінки втрати точності obserвованих координат, одержаних при надмірних ЛП і розрахованих методом найменших квадратів і методу застосування ортогонального розкладання для розрахунку obserвованих координат судна, проводилося імітаційне комп'ютерне моделювання. Причому розглядалися випадки, коли похибки ліній положення визначалися характеристиками приведених восьми вибірок похибки вимірювання навігаційних параметрів, тобто їх дисперсіями і четвертими центральними моментами.

Імітаційне моделювання проводилося по наступному алгоритму. Спочатку по заданій вибірці генерувалася множина похибок ЛП, що складається з 1000 членів. Розрахунок координат кожної obserвованої точки проводився по 8 лініям положення, причому елементи ЛП (перенесення r_i і напрямки градієнтів α_i) задавалися щодо істинного місця судна. Тому перенесення r_i ліній положення рівні їх похибкам ξ_i . При імітаційному моделюванні напрям α_i градієнтів вибиралися рівними $30^\circ, 75^\circ, 120^\circ, 165^\circ, 210^\circ, 255^\circ, 300^\circ$ і 345° . Використовуючи генеровану множину можна одержати 125 obserвованих крапок, прирости координат X і Y яких є

проекціями векторіальної похибки, що дозволяє розрахувати коваріаційну матрицю векторіальної похибки обсервації. Формування 125 обсервованих крапок повторювалося чотири рази, а їх одержані координати зберігалися, внаслідок чого накопичувалася вибірка S_{500} координат векторіальної похибки чисельністю 500 значень похибки. За допомогою одержаної вибірки розраховувалися математичні очікування M_X , M_Y і дисперсії D_X , D_Y проєкцій X і Y векторіальної похибки. Імітаційною комп'ютерною програмою передбачене графічне відображення положень обсервованих крапок щодо математичного очікування, що дозволяє зробити візуальну оцінку їх розсіяння.

Враховуючи, що векторіальна похибка визначається щодо істинного місця судна, при імітаційному моделюванні для оцінки ефективності обсервованих координат необхідно використовувати не дисперсії проєкцій X і Y , а їх другі початкові моменти.

У комп'ютерній програмі імітаційного моделювання передбачений розрахунок обсервованих координат як методом якнайменших квадратів, так і методом застосування ортогонального розкладання для розрахунку обсервованих координат судна.

Для параметрів кожній з восьми експериментальних вибірок спочатку генерувалася вибірка $S_{500}^{(1)}$ для похибок ЛП, причому координати обсервованих крапок розраховувалися методом найменших квадратів. Потім для тієї ж експериментальної вибірки генерувалася вибірка $S_{500}^{(2)}$ для похибок ЛП, а розрахунок координат обсервованих крапок проводився методом застосування ортогонального розкладання. На рис. 3 показані положення обсервованих точок щодо математичного очікування, розрахованих методом найменших квадратів (МНК) по параметрах першої експериментальної вибірки, причому на даному рисунку, як і на подальших, максимальні значення координат розсіювання рівні середньому квадратичному відхиленню. На рис. 4 відображені положення обсервованих точок, розрахунок яких здійснено методом проведення ортогонального розкладання (МПОР).

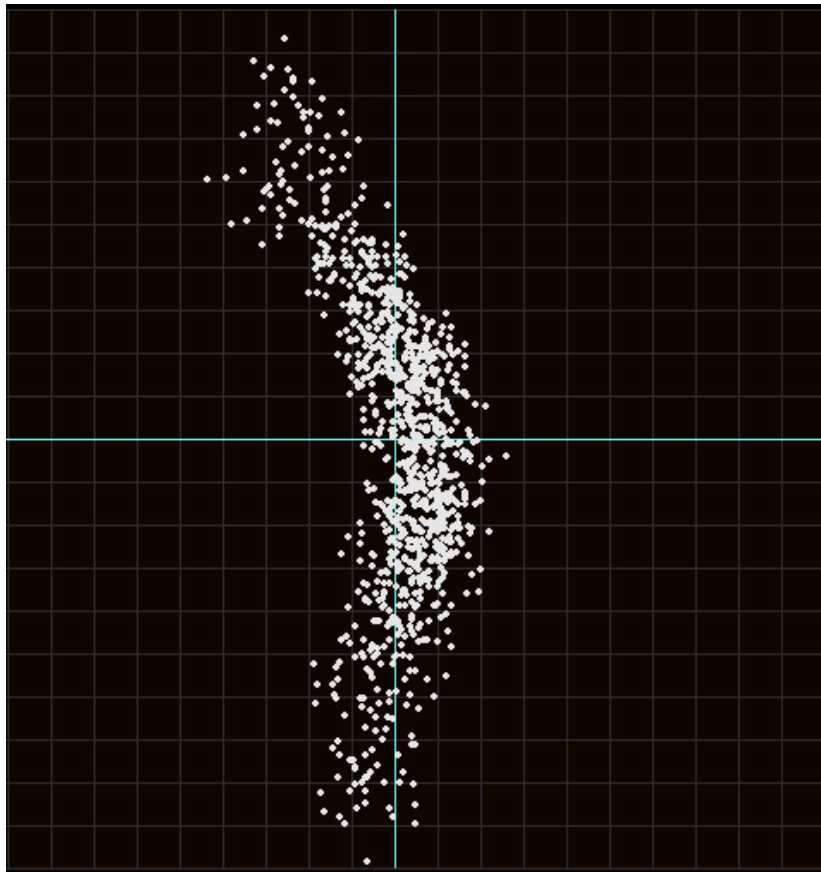


Рис. 3. Obserвовані точки, одержані МНК для першої вибірки

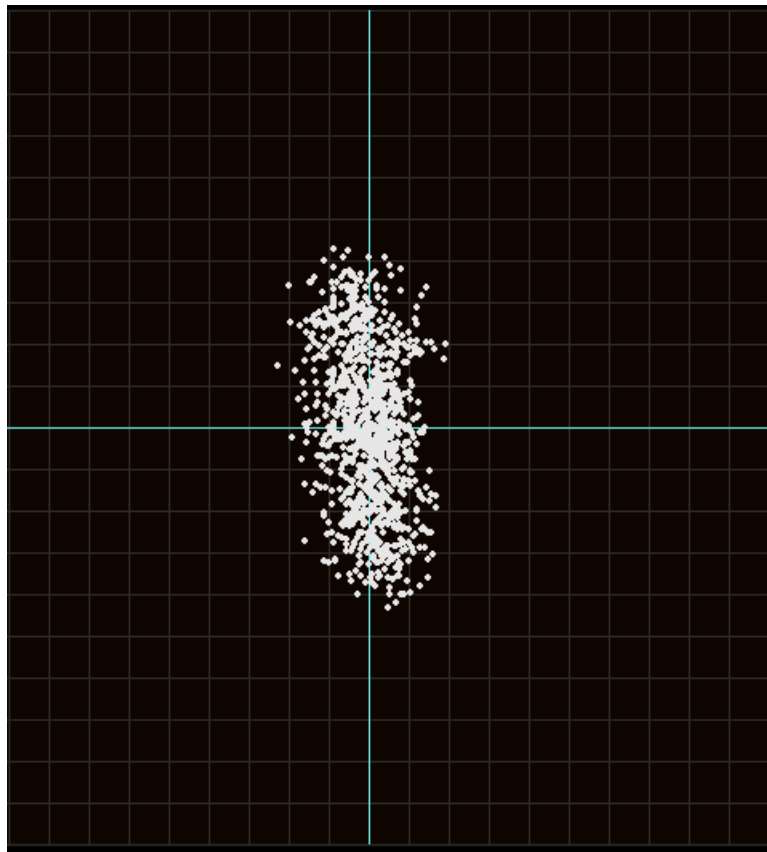


Рис. 4. Obserвовані точки, одержані МПОР для першої вибірки

Очевидно, розсіяння обсервованих точок, одержаних МНК і МПОР, показує більшу точність МПОР, що також підтверджують рис. 5 и рис. 6.

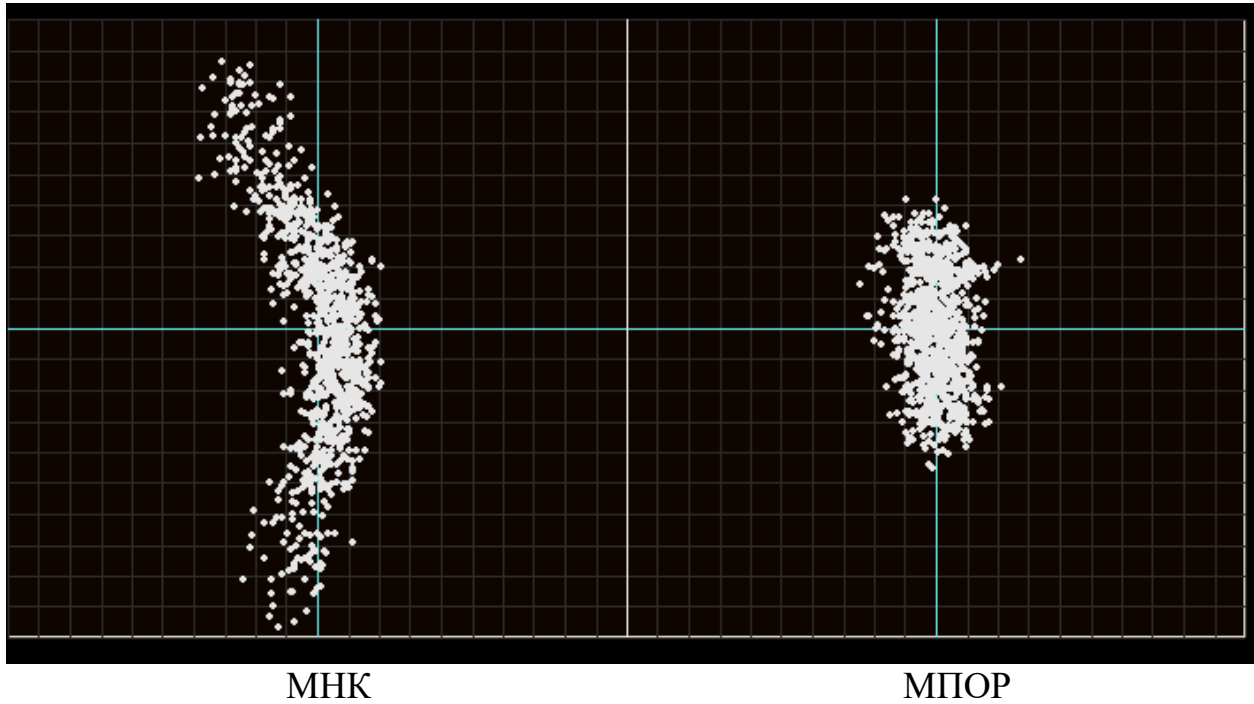


Рис. 5. Порівняльна характеристика розсіяння точок для першої вибірки

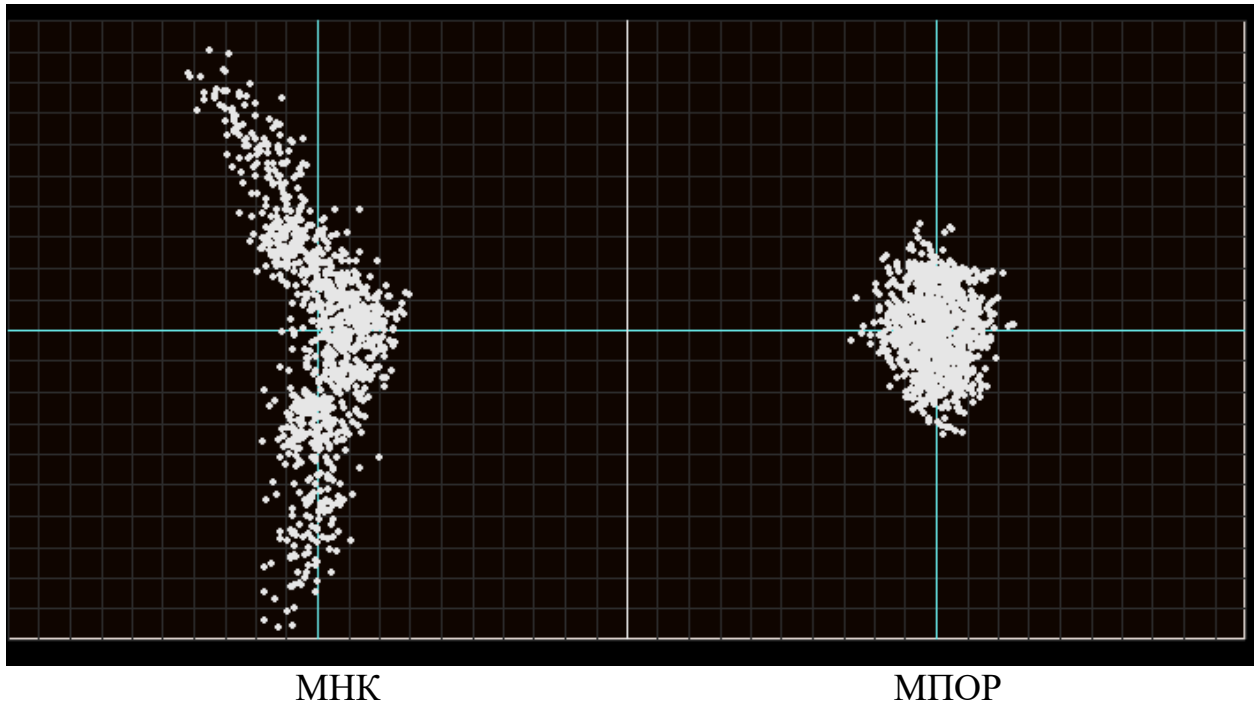


Рис. 6. Порівняльна характеристика розсіяння точок для другої вибірки

Таким чином, в розділі розроблено процедуру оцінки втрат точності визначення координат судна при надлишкових лініях положення в

залежності від алгоритму розрахунку координат та приведено результати натурних спостережень похибок вимірювання навігаційних параметрів.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [9-11].

ВИСНОВКИ

Підвищення безаварійності судноводіння сприяє зниженню шкоди людському життю, навколишньому середовищу та майну, що є найбільш важливою проблем безпеки мореплавства.

Плавання суден в стислих водах ускладнено інтенсивним судноплаванням і навігаційними перешкодами, що створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Тому одним із напрямків зниження навігаційної аварійності при плаванні в стислих районах є підвищення точності судноводіння за рахунок використання ефективних способів оцінки координат судна за наявності додаткових ліній положення.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки нового загального методу оцінки обсервованих координат судна при наявності надлишкових ліній положення, який відрізняється використанням ортогонального розкладання щільності розподілу їх похибок, чим забезпечуються мінімальні втрати точності координат судна.

У дисертаційній роботі:

– вперше запропоновано метод ортогонального розкладання щільності розподілу похибки навігаційних вимірювань з використанням дисперсії і четвертого центрального моменту, що не потребує знання закону розподілу похибки;

– вперше розроблено спосіб оцінки втрат точності визначення обсервованих координат судна при надлишкових лініях положення в залежності від алгоритму розрахунку координат;

- вперше отримано процедуру розрахунку обсервованих координат в разі надлишкових навігаційних вимірювань, яка забезпечує мінімальну втрату точності координат.

Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в освітньому процесі на кафедрі судноводіння при викладанні дисципліни «Обробка і аналіз навігаційної інформації» (акт від 28.04.2021 р.), а також увійшли складовою частиною до НДР кафедри ТЗС (акт від 26.04.2021 р.). Теоретичні результати дисертаційного дослідження впроваджені навчально-тренажерним центром «ABC Maritime LLC» при навчанні та підготовці судноводіїв (акт впровадження від 07.05.2021 р.). Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес Херсонської державної морської академії (акт впровадження від 14.05.2021 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ворохобин И.И. Эффективность применения полиномов Эрмита для ортогонального разложения плотностей распределения навигационных погрешностей/ Ворохобин И.И., Сикирин В.Е., Фусар И.Ю.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 24-30.

2. Ворохобин И. И. Ортогональное разложение плотности распределения погрешностей навигационных измерений в ряд Грама-Шарлье типа А /Ворохобин И. И., Сикирин В. Е., Фусар И. Ю.// Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2017. – № 2(17). – С. 14 - 20.

3. Ворохобин И.И. Универсальный способ стохастического описания случайных погрешностей навигационных измерений /Ворохобин И.И., Фусар И.Ю.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С. 42 – 48.

4. Ворохобин И.И. Анализ возможности применения ортогонального разложения плотности смешанных законов распределения погрешностей полиномами Эрмита / Ворохобин И.И., Фусар И.Ю., Алексейчук Б.М.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. - С. 84 - 88.

5. Ворохобин И.И. Повышение точности обсервации судна при избыточных измерениях / Ворохобин И.И., Фусар И.Ю. // Автоматизация судовых технических средств: науч.- техн. сб. – 2018. – Вып. 24. Одесса: НУ"ОМА". – С. 27 – 33.

6. Ворохобин И.И. Влияние способа расчета координат судна при избыточных измерениях на их точность/ Ворохобин И.И., Фусар И.Ю.// Austria - science, Issue: 26, 2019. - С. 3 - 8.

7. Фусар И.Ю. Проверка статистических гипотез распределения погрешностей измерения пеленга и дистанции / Фусар И.Ю.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 29. – Одесса: «ИздатИнформ», 2019 - С. 230 – 236.

8. Ворохобин И.И. Стохастическое описание случайных погрешностей навигационных измерений. / Ворохобин И.И., Фусар И.Ю. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017. – С. 123-125.

9. Фусар И.Ю. Анализ сходимости кривых плотностей смешанных распределений с кривыми их ортогональных разложений / Фусар И.Ю. // Транспортні технології (морський та річковий флот):інфраструктура, судноплавство, перевезення, автрматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 15-16 листоп. 2018 – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 167 – 169.

10. Фусар И.Ю. Анализ плотности смешанного закона первого типа и ее ортогонального разложения / Фусар И.Ю. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): Матеріали X

Міжнародної наук.-практ. конф., 29-31 травня 2018 – Херсон: ХДМА, 2018. – С. 143–146.

11. Фусар И.Ю. Анализ статистических материалов по погрешностям измерения пеленга и дистанции / Фусар И.Ю. // Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, авторматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 14-15 листоп. 2019 – Одеса : НУ «ОМА», 2019. – С. 84 – 85.

12. Фусар И.Ю. Ортогональное разложение плотности обобщенного пуассоновского распределения погрешностей навигационных измерений / Фусар И.Ю // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): Матеріали XI Міжнародної наук.-практ. конф., 28-30 травня 2018 – Херсон: ХДМА, 2019. – С. 199–203.

13. Ворохобін І. І. Зменшення точності визначення положення судна залежно від способу рохрахунку при надлишкових вимірах / Ворохобін І. І., Бурмака І. О., Фусар І. Ю // Судноводіння: Збірник наукових праць / НУ «ОМА», Вип. 31. – Одеса: «ВидавІнформ», 2021 - С. 130 – 135.

АНОТАЦІЯ

Фусар І.Ю. Підвищення точності судноводіння розробкою загального способу оцінки координат судна. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271-Річковий та морський транспорт). - Національний Університет "Одеська морська академія", Одеса, 2020.

В дисертаційному дослідженні проведено аналіз можливостей застосування ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних вимірювань за допомогою поліномів Ерміта. Приведені властивості поліномів Ерміта для нормованої щільності розподілу Гауса і доведено, що властивості поліномів Ерміта справедливі для ненормованої щільності нормального розподілу.

Проведено доказ виразів для поліномів Ерміта і коефіцієнтів розкладання для нормованої і ненормованої щільності нормального закону. Одержано в явному вигляді ортогональні розкладання щільності на базі нормованого і ненормованого нормального закону.

В роботі також проведено аналіз збіжності ортогонального розкладання щільності змішаних законів двох типів і узагальненого розподілу Пуассона.

Розглянуто ортогональне розкладання щільності змішаних законів першого і другого типу, а також узагальненого розподілу Пуассона.

Одержані вирази їх нормованої щільності і центральних моментів вищих порядків.

Розроблено спосіб застосування ортогонального розкладання для розрахунку обсервованих координат судна за наявності надмірних вимірювань.

Розрахована ефективність ортогональних розкладань і виявлено, що точність опису ортогональним розкладанням початкової щільності знижується із збільшенням числа членів розкладання.

В роботі приведено результати аналізу статистичних даних по похибках вимірювання навігаційних параметрів і показана коректність застосування ортогонального розкладання як щільність розподілу. Також представлені результати імітаційного моделювання втрати точності обсервованих координат у разі їх розрахунку методом найменших квадратів.

Показано вплив способу розрахунку координат судна при надмірних вимірюваннях на їх точність. Указується, що максимальна ефективність координат судна досягається застосуванням для їх розрахунку методом максимальної правдоподібності.

Проведено аналіз статистичних даних, одержаних в натурних спостереженнях під час рейса судна, який представлений вісьма вибірками похибок навігаційних вимірювань.

Представлено результати імітаційного моделювання втрати точності обсервованих координат за наявності надмірних вимірювань.

Ключові слова: безпека судноводіння, надлишкові навігаційні вимірювання, ортогональне розкладання щільності, втрата точності координат.

АННОТАЦИЯ

Фусар И.Ю. Повышение точности судовождения разработкой общего способа оценки координат судна. – Квалификационный научный труд на правах рукописи. Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.13 – навигация и управление движением (271-речной и морской транспорт). - Национальный Университет "Одесская морская академия", Одесса, 2020.

В работе рассмотрен анализ сходимости ортогонального разложения плотности смешанных законов двух типов и обобщенного распределения Пуассона.

Рассмотрено ортогональное разложение плотностей смешанных законов первого и второго типа, а также обобщенного распределения Пуассона. Получены выражения их нормированных плотностей и центральных моментов высших порядков.

Разработан способ применения ортогонального разложения для расчета обсервованных координат судна при наличии избыточных измерений.

Рассчитана эффективность ортогональных разложений и выявлено, что точность описания ортогональным разложением исходной плотности снижается с увеличением числа членов разложения.

Приведены результаты анализа статистических данных по погрешностям измерения навигационных параметров и показана корректность применения ортогонального разложения в качестве плотности распределения. Также представлены результаты имитационного моделирования потери точности обсервованных координат в случае их расчета методом наименьших квадратов.

Показано влияние способа расчета координат судна при избыточных измерениях на их точность. Указывается, что максимальная эффективность координат судна достигается применением для их расчета метода максимального правдоподобия.

Произведен анализ статистических данных, полученных в натурных наблюдениях во время рейса судна, который представлен восьмью выборками погрешностей навигационных измерений.

Представлены результаты имитационного моделирования потери точности обсервованных координат при наличии избыточных измерений.

Ключевые слова: безопасность судовождения, избыточные навигационные измерения, ортогональное разложение плотности, потеря точности координат.

ANNOTATION

Fusar I.Yu. Increase of exactness of navigator by development of general method of estimation of coordinates of ship. It is Qualifying scientific labor on rights for a manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.22.13 - navigation and traffic control (271-river and marine transport). It is the National University "Odessa marine academy", Odessa, 2020.

In basic part of dissertation research the analysis of possibilities of application of orthogonal decomposition of closeness of distributing of errors of the navigation measuring is conducted by the Hermits polynomials. Resulted properties of the Hermits polynomials for the rationed closeness of distributing of Gauss and it is led to that properties of Ermit polynomials are just for the unrationed closeness of normal distribution.

Proof of expressions is conducted for the Hermits polynomials and coefficients of decomposition for the rationed and unrationed closeness of normal law. Orthogonal decompositions of closeness are got in an obvious kind on the base of the rationed and unrationed normal law.

The analysis of orthogonal decomposition of closeness of the mixed laws of two types and generalized distributing of Puasson is also conducted in work.

Orthogonal decomposition of closeness of the mixed laws of the first and second type, and also generalized distributing of Puasson is considered. Got expressions of their rationed closeness and central moments of higher orders.

The method of application of orthogonal decomposition is developed for the calculation of coordinates of ship at presence of the surplus measuring.

Expected efficiency of orthogonal decompositions and it is exposed that exactness of description by orthogonal decomposition of initial closeness goes down with the increase of number of members of decomposition.

In work the results of statistical data analysis are resulted on the errors of measuring of navigation parameters and the shown correctness of application of orthogonal decomposition as closeness of distributing. Also represented results of imitation design of loss of exactness of coordinates in the case of their calculation by a least-squares method.

Influencing of method of calculation of coordinates of ship is shown at the surplus measuring on their exactness. It is specified, that is achieved maximal efficiency of coordinates of ship by application for their calculation by the method of maximal plausibility.

The statistical data, got in the model supervisions during the voyage of ship, which is represented by eight selections of errors of the navigation measuring, analysis is conducted. The results of imitation design of loss of exactness of coordinates are represented at presence of the surplus measuring.

Keywords: safety of navigation, surplus navigation measuring, orthogonal decomposition of closeness, loss of exactness of coordinates.