

Національний університет "Одеська морська академія "
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Фусар Ігор Юрійович

УДК 656.61.052

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СУДНОВОДІННЯ РОЗРОБКОЮ ЗАГАЛЬНОГО СПОСОБУ ОЦІНКИ КООРДИНАТ СУДНА

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
(271-Річковий та морський транспорт)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Фусар І.Ю.

Науковий керівник д. т. н., доцент Ворохобін І.І.

Одеса – 2021

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, 2021.

Згідно попереднього аналізу літератури по проблемі підвищення безпеки судноводіння, основними напрямками рішення цієї проблеми являються застосування сучасних засобів безпечного судноводіння та підвищення точності визначення місця судна і оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

В результаті проведеного аналізу було встановлено, що одним із важливих аспектів забезпечення безаварійності судноводіння є підвищення точності і надійності судноводіння в стислих водах, тому дисертаційне дослідження присвячене розробці способу використання додаткових навігаційних вимірювань із застосуванням алгоритмів їх обробки, що забезпечують мінімальну втрату точності результатів.

В технологічній карті дисертаційного дослідження визначені його мета та головна задача, яка розділена на три незалежні складові задачі. Сформульовано гіпотезу дисертаційного дослідження та показано, що одержано наукові результати дисертаційної роботи в результаті рішення незалежних складових задач.

Значущість і практичну цінність дисертаційного дослідження обумовлює можливість впровадження практичних рекомендацій, одержаних в дисертаційній роботі, а також запропоновано формулювання загального наукового положення роботи.

Розглянуто також методику рішення головної задачі дисертаційного дослідження, як поетапне вирішення складових задач роботи, для чого застосовано сучасні методи аналітичного аналізу та проведено імітаційне моделювання, що підтверджує коректність одержаних результатів дисертації.

В основній частині дисертаційного дослідження 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.

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 щільності 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.

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 чет-

вертого 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.

Дисертаційному дослідженню притаманне практичне значення, яке полягає у можливості упровадження його результатів при розробці суднових навігаційних системах 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 впроваджено в освітній процес Херсонської державної морської академії (акт впровадження від 14.05.2021 р.).

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

В наступних наукових працях опубліковано основні результати дисертаційного дослідження здобувача:

Основні наукові результати 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.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

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, автоматизація: 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, автоматизація: 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 X1 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 розрахунку 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.

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 (Ph.D.) after speciality 05.22.13 - navigation and traffic control (271-river and sea transport). It is the National University "Odessa marine academy", Odessa, 2020.

In obedience to the previous analysis of literature on the problem of increase of safety of navigator, applications of modern facilities of safe navigator and increase of exactness of location ship are basic directions of decision of this problem and estimation of safety of navigator in the compressed terms.

It was set as a result of the conducted analysis, that one of important aspects of providing of accident-free of navigator is the increase of exactness and reliability of navigator in the compressed waters, therefore dissertation research is devoted to development of method of the use of the additional navigation measuring with application of algorithms of their treatment, that provide the minimum loss of exactness of results.

Its purpose and main task which is parted on three independent component tasks is certain in the technological card of dissertation research. The hypothesis of dissertation research is formulated and shown that scientific dissertation work performances are got as a result of decision of independent component tasks.

Meaningfulness and practical value of dissertation research is stipulated by possibility of introduction of the practical recommendations got in dissertation work, and also formulation of scientific general of work is offered.

The method of decision of main task of dissertation research is considered also, as stage-by-stage decision of component tasks of work, for what the modern

methods of analytical analysis are applied and conducted the imitation design, that confirms correctness of the got results of dissertation.

In basic part of dissertation research the laws of distributing of random error terms of the navigation measuring of selection are considered and shown that a such random error term submits to the normal or mixed law of distributing of authenticity. As except for the normal law of distributing random error terms can have the mixed distributing, in this section the in detail considered questions of mechanism of forming of the mixed distributing and finding out of their properties.

Resulted closeness of the mixed distributing of two types, the base closeness of which there is the closeness of distributing Koshi and Pirson seventh type.

For two these mixed laws of distributing got in the obvious type of function of distributing and by the special verifications the confirmed correctness of their analytical expressions. Described two methods of receipt of expressions for the functions of distributing of the mixed laws of distributing.

The analysis of possibilities of application of orthogonal decomposition of closeness of distributing of errors of the navigation measuring is conducted by the Hermite polynomials. Resulted properties of the Hermite polynomials for the rationed closeness of distributing of Gauss and it is led to that properties of Hermit 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 Poisson is also conducted in work.

Orthogonal decomposition of closeness of the mixed laws of the first and second type, and also generalized distributing of Poisson 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 measurings.

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 measurements 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 measurements, analysis is conducted. The results of imitation design of loss of exactness of coordinates are represented at presence of the surplus measurements.

The scientific novelty of research consists in development of a new general method of estimation of coordinates of ship at presence of surplus lines of position, which regardless of law of distributing of their errors, using orthogonal decomposition of their closeness, provides the minimum losses of exactness of coordinates of ship.

In dissertation work:

- the method of orthogonal decomposition of closeness of distributing of error of the navigation measurements is first offered with the use of dispersion and fourth central moment, that does not need knowledge of law of distributing of error;
- the method of estimation of losses of exactness of determination of coordinates of ship is first developed at the surplus lines of position depending on the algorithm of calculation of coordinates;

– procedure of calculation of coordinates is first got in the case of the surplus navigation measurings, which provides the minimum loss of exactness of coordinates.

To dissertation research inherent practical value which consists in possibility of introduction of his results at development ship navigation systems for the increase of exactness of navigation.

The materials of the dissertation research are used in the educational process at the Department of Navigation in teaching the discipline "Processing and analysis of navigational information" (act from 28.04.2021), and also became an integral part of the research work for Technical means of navigation department (act from 26.04.2021). The theoretical results of the dissertation research were implemented by the training center "ABC Maritime LLC" in the training and preparation of watchkeeping officers (act of implementation from 07.05.2021). The results of the dissertation work were involved into the educational process of the Kherson State Maritime Academy (implementation act dated 14.05.2021).

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

The basic results of dissertation research of aspirant are published in the following scientific labors:

Basic scientific results of dissertation.

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.

Publications which certify approbation of materials of dissertation.

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, автоматизація: 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, автоматизація: 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 X1 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.