

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

КАЗАК ЮРІЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ



УДК 656.61.052.484

**РОЗРОБКА СПОСОБУ УРАХУВАННЯ ТРАЄКТОРНОЇ ПОХИБКИ
ПОВОРОТУ СУДНА ПРИ ОЦІНЦІ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Автореферат на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» (НУ «ОМА») Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Ворохобін Ігор Ігорович,
директор навчально-наукового інституту морських перевезень і технологій Національного університету «Одеська морська академія», м. Одеса

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Блінцов Володимир Степанович,
проректор з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

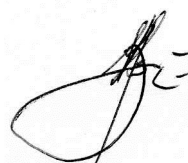
кандидат технічних наук,
Репетей Володимир Дмитрович,
начальник служби безпеки мореплавства філії «Дельта-лоцман» державного підприємства «Адміністрація морських портів України», м. Одеса

Захист відбудеться 1.12.2020 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 41.106.01 в НУ «ОМА» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань Вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці НУ «ОМА» за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2 та за електронною адресою: <http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий 30.10.2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01
д. т. н., професор



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Від успішного рішення проблеми забезпечення безаварійного судноводіння залежить зменшення кількості аварійних випадків, що веде до зниження загрози людському життю та навколишньому середовищу.

Плавання морських суден в стислих умовах ускладнено навігаційними перешкодами та інтенсивним судноплаством, які створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій.

Безпечне суднопластво визначається ефективною керованою технологією судноводіння обмеженою інструментальними системами та засобами оперативної оцінки якості зчислення місця судна, внутрішнього і зовнішнього управління при наявності навігаційних перешкод та природних завад.

Тому розробка способу, що мінімізує аварійні ризики при плаванні судна в стислих водах є актуальним науковим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. При виконанні роботи керувалися положеннями Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішенням 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). Дисертаційне дослідження виконувалось в рамках планів наукових досліджень Національного університету «Одеська морська академія» за держбюджетною темою «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання», ДР № 0115U003580 (2018), в якій здобувач виконав окремий підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є одержання найбільшого ефекту від технології маневрування судном в стислих умовах акваторії морського порту.

Науковою гіпотезою цього дослідження прийняте допущення про можливість подальшого підвищення безпеки судноводіння шляхом мехатронного об'єднання методів і способів технології маневрування з елементами е - навігації.

Головною задачею дослідження стала розробка програмного забезпечення електронних карт спроможністю оперативної оцінки зчисленого місцезнаходження та вибору оптимально обсервованого безпечного місцеперебування судна в стислих умовах акваторії порту.

Дослідження наступних допоміжних задач забезпечило рішення головної задачі дисертації:

- дослідження залежності траєкторної похибки повороту судна від істотних параметрів руху;
- аналіз впливу випадкової складової траєкторної похибки повороту на вірогідність безпечної провідки судна в стислих умовах;
- розробка способу комп'ютерного відображення з оцифровкою і без неї навігаційної обстановки на електронній карті.

Рішення головного завдання полягає у виборі безпечної траєкторії руху судна з урахуванням похибок поворотів та верифікація процесу безпечного управління судном в реальних експлуатаційних умовах.

Об'єктом дослідження дисертації є процес судноводіння.

Предметом дослідження є параметри руху судна та навігаційної обстановки в стислих умовах.

Методи дослідження. У дисертаційному дослідженні для рішення поставлених задач були застосовані наступні методи:

- дедукції для аналізу основних аспектів вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння;
- експертного оцінювання для вибору теми дисертаційного дослідження;
- системного аналізу при формуванні технології наукового дослідження;
- ідентифікації, аналізу, синтезу, мінімаксу та верифікації при рішенні поставлених задач;
- теоретичної механіки для складання диференціальних рівнянь обертального руху судна;
- математичного аналізу для рішення рівнянь руху судна під час його повороту й пошуку залежності його поточного курсу від положення керма;
- теорії вірогідностей та математичної статистики для опису стохастичних характеристик випадкових векторних похибок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні способу вибору безпечної траєкторії руху судна під час плавання в стислих водах морського порту з урахуванням траєкторної похибки його повороту, який реалізовано у вигляді комп'ютерної програми за мінімумом середньоквадратичної похибки зчислення та обсервації в умовах експлуатації судна.

У дисертаційній роботі:

- удосконалена процедура оцінювання величини траєкторної похибки повороту судна залежно від динамічної моделі його прогнозу;
- отримав подальший розвиток спосіб визначення залежності вірогідності безпечної провідки судна від випадкових траєкторних похибок повороту;
- отримав подальший розвиток графоаналітичний спосіб комп'ютерного відображення навігаційної ситуації на електронній карті та мінімаксний вибір безпечної траєкторії руху судна з урахуванням похибок повороту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані наукові результати впроваджуються на морських судах у процесі експлуатації для вибору безпечного маршруту плавання без модернізації обладнання, а також використані розробниками судових навігаційних інформаційних систем.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 05.09.2018 р.), компанією «СМА SHIPS» для перепідготовки судноводіїв компанії (акт впровадження від 09.09.2018р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі управління

судном під час викладання дисципліни «Маневрування і управління судном» (акт від 17.09.2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана дисертантом самостійно: проведено інформаційний пошук, в результаті якого проаналізовані основні аспекти проблеми забезпечення безаварійності судноводіння; забезпечене методологічне обґрунтування дослідження; розроблена процедура визначення залежності величини траєкторної похибки повороту від динамічної моделі його прогнозу, а також алгоритми для формування комп'ютерної системи відображення навігаційної ситуації на електронній карті та вибору безпечної траєкторії руху з урахуванням похибки повороту; впроваджені результати дисертаційної роботи у виробничий процес. У дисертації використані лише ті положення наукових праць, опублікованих у співавторстві, які належать автору особисто: формування кількісної характеристики безпеки судноводіння [2, 3], процедура визначення бокового відхилення судна під час плавання заданим маршрутом [4, 12], формалізація механізму утворення траєкторної похибки повороту [6], характеристика динамічних моделей обертального руху судна та їх застосування під час оцінювання траєкторної похибки повороту [8, 17], процедура визначення щільності розподілу похибки повороту для нормального закону [9, 15], процедура зниження траєкторної похибки повороту [10], порівняльний аналіз оцінок безпеки судноводіння в стислих водах [11], алгоритм оцінки вірогідності безпечного плавання обмеженим рухом маршрутом [14], визначення параметрів для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в районах з обмеженим рухом [18], процедура визначення закону розподілу похибки бокового відхилення судна [19, 21], характеристика траєкторної похибки повороту та спосіб її урахування під час оцінювання вірогідності безаварійного плавання судна в районах з обмеженим рухом [1].

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

науково-методологічна конференція «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (Одеса, 18-19 листопада 2014 р.), науково-методологічна конференція «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (Одеса, 19-20 листопада 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2016 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2017 р.), VI Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)» (Херсон, 26-28 травня 2015 р.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-26 травня 2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні

технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів та інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 21 наукову працю (з них 3 одноосібно), в тому числі: у наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 7 наукових статей [2 - 8]; у зарубіжних наукових фахових виданнях - 4 наукові статті [9 - 11, 13] та монографія [1]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 9 доповідей [12, 14 - 21].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (86 найменувань) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 222 сторінки і містить 48 рисунків та 7 таблиць, зокрема: 153 сторінки основного тексту, 10 сторінок списку використаних джерел, 59 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** роботи наведені актуальність теми дисертації, її зв'язок із програмами наукових досліджень, сформульовано мету та гіпотезу дослідження, визначено його головну та допоміжні завдання, методи дослідження, наукова новизна та показано практичне значення дисертаційної роботи.

У **першому розділі** методом дедукції здійснений інформаційний огляд літературних джерел та проведено аналіз базових напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння.

Показано, що основними напрямками рішення проблеми зниження аварійності судноводіння є розробка заходів щодо зниження зіткнень суден використанням сучасних теоретичних методів і комп'ютерних інформаційних технологій та застосування сучасних інформаційно-керуючих технологій і засобів для оцінки безпеки судноводіння і забезпечення його належного рівня.

Вітчизняними вченими Аксютіним Л.Р., Воробйовим Ю.Л., Вагущенко Л.Л., Кондрашихіним В.Т., Мальцевим А.С., Цимбалом М.М., Фрейдзоном І.Р. та іноземними вченими Hornauer S, Lisowski J., Statheros T. здійснений значний внесок до теорії і практики рішення проблем безпеки судноводіння. Вони показали, що головним напрямом рішення проблеми підвищення безпеки судноводіння є вдосконалення методів управління рухом судна, що пов'язані з розробкою заходів по підвищенню точності, працездатності та надійності маневрування суден.

Обґрунтовані основні напрямки невирішених проблем та питань безпеки судноплавства.

Другий розділ містить обґрунтування вибору теми дисертаційного дослідження та технологію його методологічного забезпечення.

За допомогою системного підходу сформовано технологічну карту дисертаційного дослідження, яка містить запит практики, тему, мету, головну

задачу дисертаційного дослідження, його об'єкт та предмет. Методами системного аналізу, відповідно принципам ідентифікації та активного експерименту, поставлені три допоміжні задачі дослідження.

У третьому розділі приведені результати рішення першої допоміжної задачі – дослідження залежності похибки управління від істотних чинників руху судна.

Під час виконання повороту судна виникає векторна похибка, щодо прогнозованої точки виходу судна на новий курс. Вона з'являється завдяки моменту часу t_n початку повороту, який визначається тим, щоб після повороту судно знаходилося в прогнозованій позиції на новій ділянці програмної траєкторії, застосовуючи динамічну модель поворотності судна. Прогнозована траєкторія, яка визначається динамічною моделлю поворотності судна, відрізняється від його реальної траєкторії руху, що призведе до виникнення похибки Δt_n у певний момент часу початку повороту судна t_n і, отже, до появи систематичної векторної похибки управління $S^{(d)}$.

Механізм появи систематичної векторної похибки $S^{(d)}$ пояснюється за допомогою рис. 1. Виходячи з обраної динамічної моделі поворотності судна, розраховується момент часу початку повороту t_n , якому відповідає точка С на програмній траєкторії руху, а прогнозована перехідна траєкторія руху наведена пунктирною лінією. Для реальної траєкторії руху поворот необхідно починати в момент часу \tilde{t}_n , якому відповідає точка В.

Починаючи поворот у розрахований момент часу t_n , судно виявиться в точці N замість точки М. Очевидно, що систематична векторна похибка $S^{(d)}$ дорівнює за величиною відстані між точками М і N, тобто відрізьку MN. Відрізьки MN і ВС рівні між собою, тому систематична векторна похибка $S^{(d)}$ дорівнює довжині відрізьку ВС: $S^{(d)}=BC$.

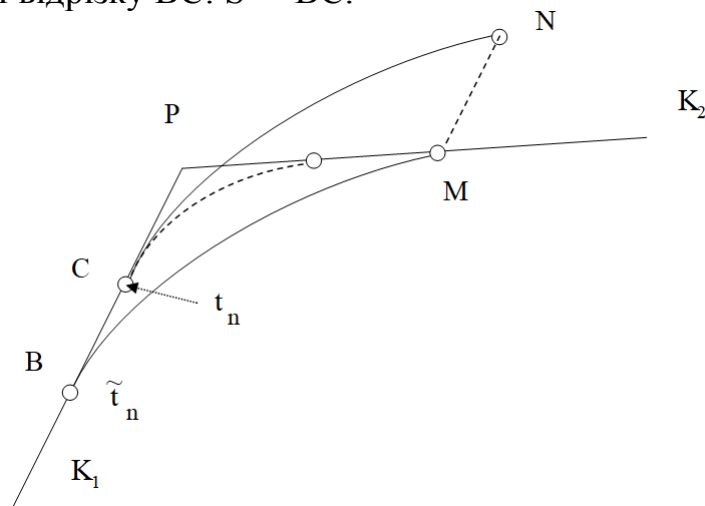


Рисунок 1 – Пояснення до виникнення систематичної векторної похибки $S^{(d)}$

Величина відрізьку ВС (рис. 1) залежить від швидкості судна V_1 і інтервалу часу $t_n - \tilde{t}_n$. Тому систематична векторна похибка $S^{(d)}$:

$$S^{(d)} = V_1 \text{Abs}(t_n - \tilde{t}_n).$$

Момент часу t_n розраховується, як правило, за математичною моделлю поворотності судна із заданою незмінною кутковою швидкістю, а момент часу \tilde{t}_n може бути визначений за більш складною динамічною математичною моделлю криволінійного руху судна.

Момент часу t_n початку повороту судна з курсу K_1 на курс K_2 програмної траєкторії руху (рис. 2) відносно K_1 має змінний характер.

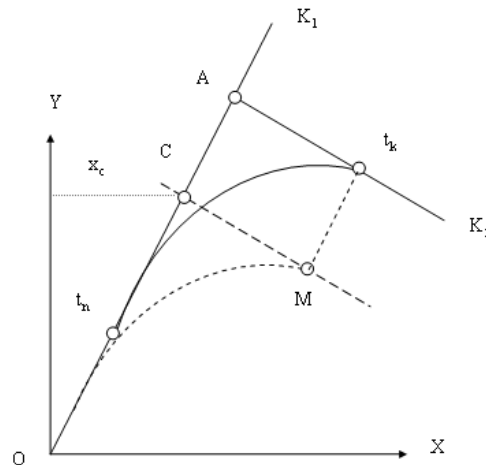


Рисунок 2 – Криволінійна траєкторія руху судна під час повороту

Припускається, що поворот судна починається в початковий момент часу $t=0$ і завершується в точці М виходом на курс K_2 . Переміщення криволінійної траєкторії повороту судна OM за напрямком курсу K_1 до суміщення точки М з другою програмною ділянкою з курсом K_2 , яка проходить через точку А, визначає точку початку повороту з моментом часу t_n . При цьому:

$$x_c = \frac{y_m - x_m \operatorname{ctg} K_2}{\operatorname{ctg} K_1 - \operatorname{ctg} K_2} \quad \text{і} \quad OC = \frac{x_c}{\sin K_1},$$

де x_m та y_m - координати точки М.

Момент часу t_n визначається наступним аналітичним виразом:

$$t_n = \frac{OA - OC}{V_1} = \frac{D - \frac{x_c}{\sin K_1}}{V_1} = \frac{D \sin K_1 - x_c}{V_1 \sin K_1},$$

де D – відстань до точки перетину програмних ділянок руху судна.

Величина x_c визначається збільшенням координат судна x_m та y_m за час маневру τ :

$$x_m = \int_0^{\tau} V_1 \sin[K_1 + K(t)] dt, \quad y_m = \int_0^{\tau} V_1 \cos[K_1 + K(t)] dt.$$

У першому наближенні похибки $S^{(\beta)}$ можна оцінити за допомогою динамічної моделі обертального руху судна з постійною кутковою швидкістю, згідно з якою координати точки М визначаються аналітичними виразами:

$$x_M = \frac{V_o}{k_\omega \beta_k} (\cos K_o - \cos K_y), \quad y_M = \frac{V_o}{k_\omega \beta_k} (\sin K_y - \sin K_o).$$

Аналогічно знаходяться аналітичні залежності для координат x_N і y_N точки N:

$$x_N = \frac{V_o}{k_\omega (\beta_k + \Delta\beta_k)} (\cos K_o - \cos K_y), \quad y_N = \frac{V_o}{k_\omega (\beta_k + \Delta\beta_k)} (\sin K_y - \sin K_o).$$

Компоненти $S_x^{(\beta)}$ і $S_y^{(\beta)}$ векторної похибки мають наступний вигляд:

$$S_x^{(\beta)} = \frac{V_o}{k_\omega} (\cos K_o - \cos K_y) \left[\frac{1}{(\beta_k + \Delta\beta_k)} - \frac{1}{\beta_k} \right],$$

$$S_y^{(\beta)} = \frac{V_o}{k_\omega} (\sin K_y - \sin K_o) \left[\frac{1}{(\beta_k + \Delta\beta_k)} - \frac{1}{\beta_k} \right].$$

Оскільки $\beta_k \gg \Delta\beta_k$, то остаточно:

$$S_x^{(\beta)} = \frac{-V_o}{k_\omega \beta_k^2} (\cos K_o - \cos K_y) \Delta\beta_k, \quad S_y^{(\beta)} = \frac{-V_o}{k_\omega \beta_k^2} (\sin K_y - \sin K_o) \Delta\beta_k.$$

Крім розглянутої систематичної похибки $S^{(d)}$ та $S^{(\beta)}$, також виникають випадкові векторні похибки, причинами яких є похибка моментів часу початку повороту Δt щодо розрахованого моменту часу t_n .

Векторна похибка $S^{(\beta)}$ виникає через помилку перекладки пера керма $\Delta\beta_k$ (рис. 3). Якщо кут перекладки керма β_k не містить помилки, то до кінця повороту судно потрапить на нову ділянку програмної траєкторії в точку M. При цьому векторна похибка $S^{(\beta)}$ не виникає. За наявності помилки $\Delta\beta_k$ кут перекладки керма дорівнює $\beta_k + \Delta\beta_k$, і до кінця маневру, коли судно досягає курсу K_2 , воно виявляється в точці N. Похибка $S^{(\beta)}$ визначається величиною відрізка MN і її компоненти $S_x^{(\beta)}$ та $S_y^{(\beta)}$ однакові:

$$S_x^{(\beta)} = x_N - x_M, \quad S_y^{(\beta)} = y_N - y_M,$$

де x_M і y_M – координати точки M; x_N і y_N – координати точки N.

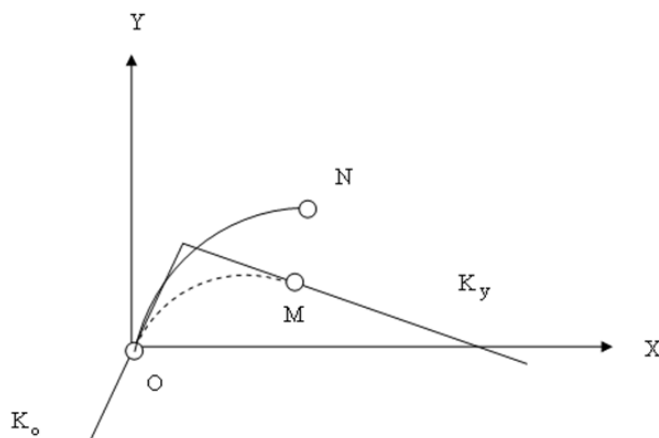


Рисунок 3 – Формування векторної похибки $S^{(\beta)}$ від помилки перекладки руля $\Delta\beta_k$

Векторна похибка $S^{(t)}$, яка виникає через похибку моменту часу початку повороту Δt , визначається виразом:

$$S^{(t)} = V_1 \Delta t.$$

Врахування динаміки судна при визначенні похибки $S^{(\beta)}$ здійснюється за компонентами:

$$S_x^{(\beta)} = x_N - x_M \text{ і } S_y^{(\beta)} = y_N - y_M.$$

Координати x_N і y_N обчислюються при значенні $a_\omega = k_\omega \beta_k$. Під час розрахунку координат x_M і y_M приймається, що $a_\omega = k_\omega (\beta_k + \Delta\beta_k)$.

Щільність розподілу векторної похибки управління судном f_c^S представляє суму систематичної $S^{(d)}$ і випадкової $S^{(s)}$ похибок, причому випадкова складова, в свою чергу є сумою векторної похибки $S^{(\beta)}$, яка виникає через помилки перекладки пера керма $\Delta\beta_k$, і векторної похибки $S^{(t)}$, що виникає через похибки вибору моменту часу початку повороту Δt_n .

Оскільки векторні похибки $S^{(\beta)}$ і $S^{(t)}$ незалежні, то їх сума, тобто випадкова векторна похибка управління судном $S^{(s)}$, характеризується коваріаційною матрицею $K_c^S(x, y)$, яка є сумою коваріаційних матриць $K_{\beta}^S(x, y)$ та $K_t^S(x, y)$ доданків векторних похибок. Тому:

$$K_c^S(x, y) = K_{\beta}^S(x, y) + K_t^S(x, y), \text{ або}$$

$$K_c^S(x, y) = \begin{vmatrix} D_{cx}^S & 0 \\ 0 & D_{cy}^S \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} D_{\beta x}^S + D_{tx}^S & 0 \\ 0 & D_{\beta y}^S + D_{ty}^S \end{vmatrix}.$$

За допомогою коваріаційної матриці $K_c^S(x, y)$, можна записати аналітичний вираз для двовимірної щільності $f_c^S(x, y)$ нормального розподілу випадкової векторної похибки управління судном $S^{(c)}$, враховуючи наявність систематичної векторної похибки $S^{(d)}$ з компонентами $S_x^{(d)}$ і $S_y^{(d)}$:

$$f_c^S(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{cx}^S\sigma_{cy}^S} \exp\left[-\left(\frac{(x - S_x^{(d)})^2}{D_{\beta x}^S + D_{tx}^S} + \frac{(y - S_y^{(d)})^2}{D_{\beta y}^S + D_{ty}^S}\right)\right],$$

$$\text{де } \sigma_{cx}^S = \sqrt{D_{\beta x}^S + D_{tx}^S}, \quad \sigma_{cy}^S = \sqrt{D_{\beta y}^S + D_{ty}^S}.$$

Науковим результатом рішення першої допоміжної задачі стало встановлення графоаналітичних залежностей траєкторних векторних похибок управління судном на повороті $S^{(s)}$ та двомірної щільності нормального розподілу випадкової векторної похибки управління судном f_c^S , необхідних для програмного діалогу з програмним забезпеченням електронних карт. Матеріали розділу 3 опубліковано в роботах [1, 4 - 8, 10, 12, 15-17, 19, 20] автора.

В четвертому розділі представлені результати рішення другої допоміжної задачі – аналізу впливу випадкової складової траєкторної похибки повороту на вигойдність безпечної проводки судна в стислих умовах.

На початку рішення задачі враховано, що безпека судноводіння визначається аваріями суден, які виникають внаслідок: посадок на міліну, через позиційні похибки, зіткнень суден і посадок на міліну через похибки управління.

У загальному випадку аварійність характеризується потоком аварійних подій з кожної із зазначених причин, які представляються незалежними. В першому наближенні їх можна розглядати, як найпростіші (стаціонарні пуасонівські) інформаційні потоки. Тому і їх сумарний потік також можна вважати найпростішим, а число аварійних подій сумарного потоку, що виникають протягом інтервалу часу τ , розподілена за законом Пуассона з математичним очікуванням:

$$a_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} \tau,$$

де λ_{Σ} - щільність сумарного потоку, яка дорівнює середньому числу аварійних подій, що виникають в одиницю часу.

Основною характеристикою безпеки судноводіння є ймовірність безаварійного плавання $P_b(\tau)$, яка, за логікою, є ймовірністю відсутності аварійної події протягом інтервалу часу τ і визначається виразом:

$$P_b(\tau) = e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}.$$

Проміжок часу T між двома послідовними довільними аварійними подіями в найпростішому сумарному потоці, тобто час безаварійного плавання, розподілений за експоненціальним законом зі щільністю розподілу:

$$f(t) = \lambda_{\Sigma} e^{-\lambda_{\Sigma} t}.$$

Математичне очікування часу безаварійного плавання і його дисперсія визначаються виразами:

$$M(T) = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}, \quad D(T) = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}^2}.$$

Інтенсивність сумарного потоку λ_{Σ} виражається формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3,$$

де λ_1 – інтенсивність аварійних подій з причини посадок на міліну через позиційні похибки; λ_2 – інтенсивність аварійних подій з причини зіткнень суден; λ_3 – інтенсивність аварійних подій з причини посадок на міліну через похибки управління.

Інтенсивності λ_1 , λ_2 і λ_3 можуть бути визначені за статистичними даними або оцінені за допомогою математичних моделей.

Для визначення суми інтенсивностей λ_1 і λ_3 наведено математичну модель оцінки апріорної ймовірності безаварійного плавання судна P_b за обраним маршрутом з його заданими характеристиками S_n і двовимірної щільністю розподілу ймовірностей сумарною траєкторної похибки $f(x, y)$.

Аналітичний вираз для оцінки ймовірності P_b наступний:

$$P_{bn} = \exp\left\{\sum_{i=0}^k \ln\left\{\int_{D_{t_0+i}} f[x(t_0+i)] dx(t_0+i)\right\}\right\},$$

де k – ціла частина відношення $s/(V_m \Delta t)$; Δt – дискрет часу; s – довжина програмної траєкторії; V_m – середня швидкість руху судна по програмній траєкторії; D_{t_0+i} і $x(t_0+i)$ – локальна частина безпечної області D і сумарна векторна траєкторна похибка в момент часу t_0+i .

Розглянутий спосіб оцінки ймовірності безаварійного плавання судна P_b вимагає рішення задачі на площині з використанням двовимірної щільності розподілу ймовірностей векторної похибки і багаторазовим її інтегруванням у межах безпечної акваторії D , межа якої має складну форму. Тому практична реалізація даного способу оцінки ймовірності P_{bn} є складною і трудомісткою.

У зв'язку з викладеним, автором запропоновано інноваційний спосіб розрахунку апріорної ймовірності P_{bn} , в якому розглядається задача в рамках одновимірного простору з використанням одновимірної щільності похибки бічного ухилення судна. Допустима акваторія безпечного плавання задана аналітичним описом її правої $G_{st}(X, Y)$ й лівої $G_{pt}(X, Y)$ меж. Програмна траєкторія руху судна $Tr_{pr}(X, Y)$ також задана допустимою безпечною акваторією D , причому для кожної точки програмної траєкторії руху судна визначена пара нормальних відстаней від програмної траєкторії руху до правої і лівої меж безпечної акваторії, які позначені відповідно $L_{st}(X, Y)$ і $L_{pt}(X, Y)$, з урахуванням того, що $(X, Y) \in Tr_{pr}(X, Y)$.

Під час руху судна за програмною траєкторією виникають бічні відхилення, які під впливом чинників, що збурюють, носять випадковий характер, що зумовлено стохастичною природою похибок обсервації і зчислення місця судна, а також його ризикання під дією природних завад.

Аналітичний вираз для апріорної ймовірності P_{bn} представлений наступним чином:

$$P_{bn} = \exp\left\{s \sum_{i=1}^{\Delta b} \varphi(b_i) \ln[F(L_{sti}) + F(b_i - L_{sti})]\right\}.$$

Отримана експоненціальна залежність дозволяє зробити апіорну оцінку ймовірності залежно від основних істотних чинників: характеристики обмеженості $\varphi(b)$ допустимої акваторії плавання D ; характеристик точності й керованості судна, що забезпечується системою навігаційного обладнання й виражаються в параметрах функції розподілу $F(b)$; вибору програмної траєкторії $T_{pr}(X, Y)$ в допустимій акваторії плавання, що впливає на співвідношення нормальних відстаней L_{st} і $b - L_{st}$ та довжини програмної траєкторії s .

Сума інтенсивностей λ_1 і λ_3 визначається виразом:

$$\lambda_1 + \lambda_3 = (1 - P_{bnm})q,$$

де P_{bnm} – усереднене значення ймовірності безаварійного плавання судна P_{bn} в стислих умовах; q – частота потрапляння судна в стислі умови.

Теоретична оцінка ймовірності безаварійного плавання судна P_{bn} здійснена шляхом імітаційного моделювання за допомогою розробленої комп'ютерної програми, яка генерує випадкові траєкторії руху судна відносно програмної. Для цього, відносно кожної обсервованої точки випадковим чином формується векторна похибка, яка підпорядкована розподілу Гаусу із заданою с. к. п. і нульовим математичним очікуванням. Вона визначає дійсне місце судна, а з'єднання всіх таких точок дає реалізацію випадкової траєкторії. Програмою генерується 1000 таких траєкторій і перевіряється приналежність кожної з них до допустимої акваторії безпечного плавання D . На рис. 4 показаний приклад ситуації безпечного плавання судна в стислих умовах, кількісний вибір програмної траєкторії і допустиме значення с. к. п. відносно меж допустимої області плавання забезпечують значення $P_{bn}=1,000$.

Для спрощення інноваційного способу отримані залежність одновимірної щільності похибки бічного відхилення від двовимірної щільності векторної траєкторної похибки, а також вирази чисельної оцінки очікуваної ймовірності безпечного повороту P_b для різних законів розподілу ймовірностей векторних похибок.

Науковим результатом рішення другої допоміжної задачі став інноваційний спосіб кількісного визначення критерію оцінки безпечного плавання судна в стислих умовах отриманого ймовірнісним методом адаптованим за принципами ідентифікації до елементів e - навігації.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 2, 3, 13, 14, 18, 21] автора.

У **п'ятому розділі** представлені результати рішення третьої допоміжної задачі – розробки графічного способу комп'ютерного відображення навігаційної ситуації на електронній карті.

Врахування траєкторної похибки повороту судна повинно здійснюватися оперативно в процесі управління судном спільно з іншими джерелами загрози безпеці судна. Тому для інтенсифікації руху судна розроблений графічний спосіб оперативної оцінки безпеки плавання в заданому районі, який відображений на електронній карті з урахуванням раніше визначених основних

чинників, що впливають на безпеку судноводіння. До цих чинників належить характеристика позиційної векторної похибки, для опису якої запропоновано показник точності D_{md} , що є дисперсією модуля траекторної похибки в заданій точці.

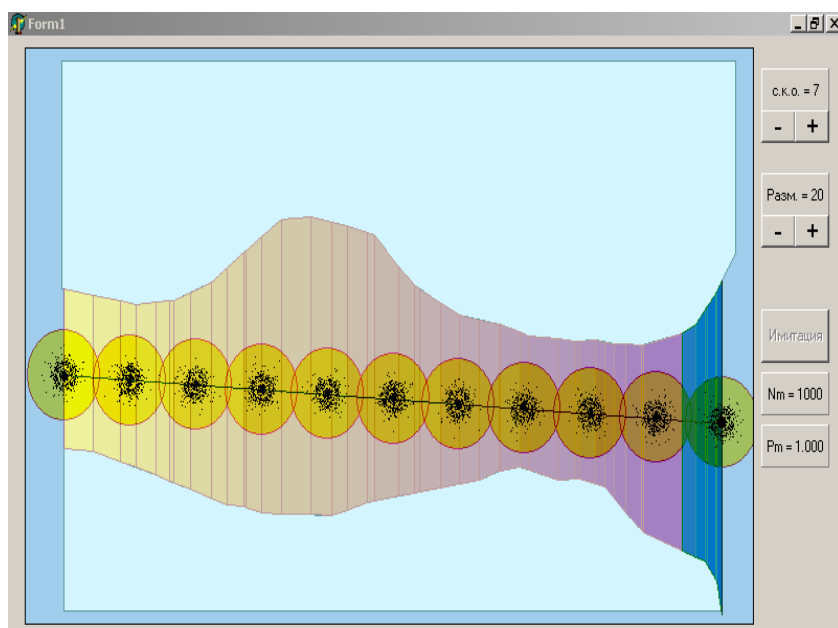


Рисунок 4 – Ситуація безпечного плавання судна в стислих водах

Тому з урахуванням можливості отримання двох ліній розташування (по пеленгу та дистанції) від кожного орієнтиру на електронній карті можна відобразити поле точності, кожна точка якого характеризується значенням показника D_{md} залежно від кількості наявних орієнтирів. Для цього отримані формули розрахунку значення показника точності D_{md} для одного, двох і трьох орієнтирів. Як приклад, наведений випадок, коли обсервація місця судна проводиться за трьома орієнтирами. Тоді показник точності D_{md3} , який може бути розрахований для будь-якої точки в місці розташування орієнтирів, що належать району плавання судна, обчислюється за наступним аналітичним виразом:

$$D_{md3} = \frac{\frac{1}{\sigma_{D1}^2} + \frac{1}{\sigma_{P1}^2} + \frac{1}{\sigma_{D2}^2} + \frac{1}{\sigma_{P2}^2} + \frac{1}{\sigma_{D3}^2} + \frac{1}{\sigma_{P3}^2}}{S + C},$$

де величини S та C визначаються з наступних формул:

$$S = \left(\frac{1}{\sigma_{D1}^2 \sigma_{D2}^2} + \frac{1}{\sigma_{P1}^2 \sigma_{P2}^2} \right) \sin^2 \beta_{12} + \left(\frac{1}{\sigma_{D1}^2 \sigma_{D3}^2} + \frac{1}{\sigma_{P1}^2 \sigma_{P3}^2} \right) \sin^2 \beta_{13} + \left(\frac{1}{\sigma_{D2}^2 \sigma_{D3}^2} + \frac{1}{\sigma_{P2}^2 \sigma_{P3}^2} \right) \sin^2 \beta_{23},$$

$$C = \left(\frac{1}{\sigma_{D1}^2 \sigma_{D2}^2} + \frac{1}{\sigma_{P1}^2 \sigma_{P2}^2} \right) \cos^2 \beta_{12} + \left(\frac{1}{\sigma_{D1}^2 \sigma_{D3}^2} + \frac{1}{\sigma_{P1}^2 \sigma_{P3}^2} \right) \cos^2 \beta_{13} + \left(\frac{1}{\sigma_{D2}^2 \sigma_{D3}^2} + \frac{1}{\sigma_{P2}^2 \sigma_{P3}^2} \right) \cos^2 \beta_{23}.$$

Кути β_{12} , β_{13} і β_{23} є кутами між кожною парою орієнтирів в точці, де визначається значення D_{md3} , а σ_{Di}^2 та σ_{Pi}^2 - дисперсії ліній положення за дистанцією та пеленгом.

Оскільки вся інформація, що характеризує поточну навігаційну ситуацію, пов'язана з графічним відображенням, то основою для інтегрованого синтезу навігаційної ситуації є електронна карта району плавання судна, на якій можна побачити поточні позиції судна і найближчих цілей. Як приклад, для імітаційного моделювання використана електронна карта підходів до порту Севастополь, яка показана на рис. 5.

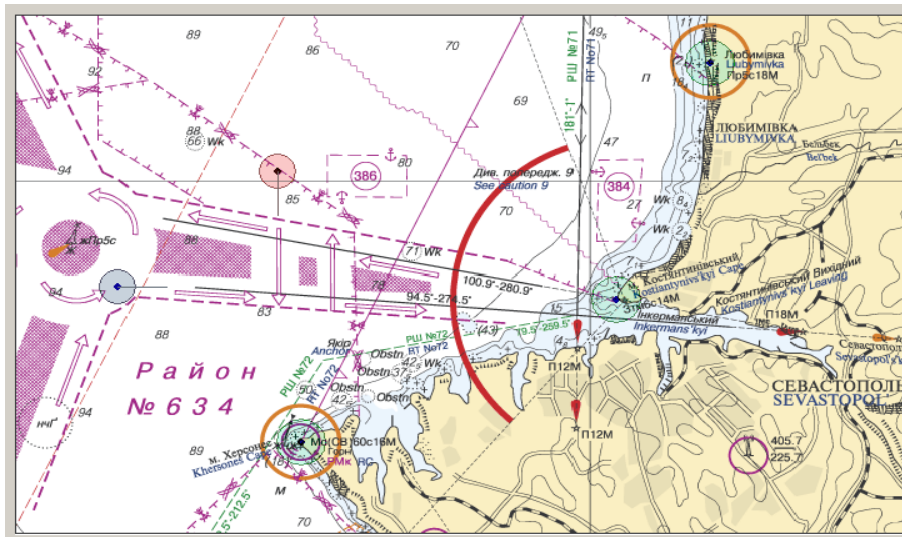


Рисунок 5 – Вибір орієнтирів для обсервації місця судна

Відображена ситуація прогнозованого положення судна після завершення повороту праворуч для входу в порт. Його напрямок руху показано вектором швидкості. Для відображення поля точності на електронній карті в районі плавання судна вибрано три орієнтири, за якими контролюється місце судна шляхом вимірювання дистанцій і пеленгів кожного з них. Кожен з обраних орієнтирів відзначається світло-зеленим кольором, центр якого збігається з орієнтиром. На електронній карті представлений варіант вибору трьох орієнтирів обсервації, якими є маяк мису Херсонес, маяк Любимівка та мис Костянтинівський. Також на карту нанесена ціль, яка рухається в південному напрямку і створює загрозу зіткнення для судна.

Після вибору орієнтирів на електронній карті проводиться відображення поля точності району плавання. Після визначення D_{md3} пов'язана з ним елементарна ділянка забарвлюється у сірий колір, ступінь темряви якого залежить від величини D_{md3} , а потім у графічному режимі прозорості накладається на електронну карту, як показано на рис. 6 нанесенням значення

95 % кругової похибки (в метрах).

Вплив траєкторної похибки повороту судна полягає в тому, що до моменту завершення повороту судна його дійсне положення щодо прогнозованої позиції через похибки моменту початку повороту і кута кладки пера керма може бути оцінений максимальними зсувами щодо програмної траєкторії руху. Вони обмежують смугу можливого переміщення судна після завершення повороту (див. рис. 6). За наявності небезпечної цілі розраховується сектор небезпечних курсів судна, що ведуть до можливого зіткнення і показується на електронній карті в місці прогнозованої позиції судна. Подальший курс для безпечного руху судна враховує небезпечний сектор, тому безпечний курс судна повинен пролягати поза небезпечним сектором.

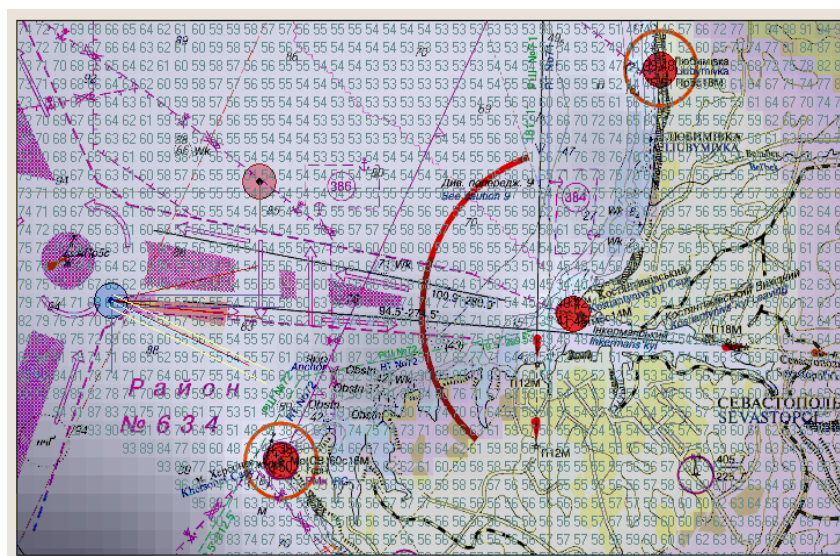


Рисунок 6 – Процедура вибору безпечної траєкторії руху судна на електронній карті порту Севастополь

З урахуванням наведених факторів: поля точності обраних орієнтирів, появи смуги можливого руху через траєкторні похибки повороту і сектора небезпечних курсів, що спричиняють загрозу можливого зіткнення з судном – ціллю, вибирається безпечний курс руху судна шляхом ухилення праворуч в сторону рекомендованого маршруту № 72 (рис. 6).

Науковим результатом рішення третьої допоміжної задачі стала процедура відображення на електронній карті безпечної траєкторії руху з визначенням величини траєкторної похибки повороту судна шляхом зіставлення збільшення координат судна за час повороту, розрахованих з використанням повної динамічної моделі обертального руху судна зміни курсу судна ΔX_{md} і ΔY_{md} з приростами координат ΔX_{GPS} і ΔY_{GPS} отриманих за допомогою DGPS для вибраного маневру зміни курсу.

Рішення головної задачі дослідження здійснене методом верифікації динамічної моделі руху т/х «Celandine» типу Ro-Ro водотоннажністю 18031 тонна. Параметри динамічної моделі (постійні часу T_1 , T_2 , та сталі значення кутової швидкості повороту судна a_{ω}) визначені для повороту судна з кутами

кладки пера керма від 5 до 30 градусів включно.

При заданому значенні збільшення курсу ΔK повороту судна тривалість першої Δt_k та другої Δt фаз повороту визначалася методом простих ітерацій, після чого обчислювалися значення приросту координат судна ΔX_{md} і ΔY_{md} чисельним інтегруванням методом Сімпсону. Потім виконувався реальний поворот судна з тим же збільшенням курсу ΔK і кладкою пера керма. Одночасно навігаційною системою DGPS здійснюється високоточне вимірювання приросту координат судна ΔX_{GPS} і ΔY_{GPS} за час його маневру. Величина модуля траєкторної похибки R_t визначається як відстань між прогнозованою та обсервованою точками завершення маневру за допомогою виразу:

$$R_t = \sqrt{(\Delta X_{GPS} - \Delta X_{md})^2 + (\Delta Y_{GPS} - \Delta Y_{md})^2}.$$

Траєкторні похибки R_t визначалися для серії поворотів судна з кутами кладки пера керма β від 5 до 30 градусів з інтервалом 5 градусів та приростами курсу ΔK , які дорівнюють 60° , 45° і 30° .

Зведені результати оцінки значень величини траєкторної похибки повороту R_t представлені в таблиці 1, аналіз якої показує, що середня траєкторна похибка повороту для здійснених поворотів дорівнює 55,7 метрів з тенденцією до зростання зі збільшенням кута перекладки пера керма.

Таблиця 1 – Результати оцінки значень величини траєкторної похибки повороту т/х «Celandine» типу Ro-Ro водотоннажністю 18031 тонна

β°	K_n°	K_k°	ΔX_{md} м	ΔY_{md} м	ΔX_{GPS} м	ΔY_{GPS} м	R_t м
5	30	90	928,8	588,9	890,0	614,8	46,6
5	45	90	818,0	374,0	853,0	350,6	42,4
5	60	90	655,1	195,4	623,3	216,6	38,2
10	30	90	681,7	435,3	722,8	462,7	49,4
10	45	90	608,4	289,2	570,5	263,9	45,6
10	60	90	497,1	150,1	531,6	173,1	41,5
15	30	90	413,5	267,0	458,5	237,0	53,9
15	45	90	374,3	177,6	331,7	206,0	51,2
15	60	90	326,8	98,0	286,2	125,1	48,8
20	30	90	345,0	228,5	293,7	262,8	61,7
20	45	90	325,95	154,64	375,0	187,4	59,0
20	60	90	287,06	86,5	239,5	118,3	57,2
25	30	90	313,4	204,6	368,9	167,6	66,7
25	45	90	302,15	140,8	248,8	176,4	64,2
25	60	90	261,1	80,6	312,7	46,2	62,0
30	30	90	279,28	187,3	216,8	145,6	75,2
30	45	90	278,2	128,7	337,8	168,4	71,6
30	60	90	248,4	71,9	304,8	109,5	67,8

Науковим результатом рішення головної задачі став удосконалений спосіб вибору оптимальної безпечної траєкторії руху за мінімумом середньоквадратичної похибки між зчисленими та обсервованими точками з урахуванням похибки повороту.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 11].

ВИСНОВКИ

У дисертації отримано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом створення способу вибору безпечної траєкторії руху судна під час плавання в стислих водах морського порту з урахуванням траєкторної похибки його повороту, який реалізовано у вигляді комп'ютерної програми за мінімумом середньоквадратичної похибки зчислення та обсервації в умовах експлуатації судна.

У дисертаційній роботі:

- удосконалена процедура оцінювання величини траєкторної похибки повороту судна залежно від динамічної моделі його прогнозу;
- отримав подальший розвиток спосіб визначення залежності вірогідності безпечної проводки судна від випадкових траєкторних похибок повороту;
- отримав подальший розвиток графоаналітичний спосіб комп'ютерного відображення навігаційної ситуації на електронній карті та мінімаксий вибір безпечної траєкторії руху судна з урахуванням похибок повороту.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 05.09.2018 р.), компанією «СМА SHIPS» для перепідготовки судноводіїв компанії (акт впровадження від 09.09. 2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі управління судном під час викладання дисципліни «Маневрування і управління судном» (акт від 17.09.2018 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / И. И. Ворохобин, **Ю. В. Казак**, В. В. Северин – LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2018. - 239 с.
2. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе / И. И. Ворохобин, В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015. - С. 40-47.
3. Ворохобин И.И. Количественная оценка безопасности судовождения / И.И. Ворохобин, В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Автоматизация судовых

технических средств: научн. - техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 34 – 39.

4. Северин В. В. Стохастическая характеристика бокового отклонения судна при проводке по заданному маршруту / В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Автоматизация судовых технических средств: научн. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ"ОМА". – С. 92 – 96.

5. Казак Ю. В. Оценка векториальной погрешности поворота судна и минимизация ее величины / **Ю. В. Казак**, В. В. Северин // Автоматизация судовых технических средств: научн.- техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ"ОМА". – С. 37 – 43.

6. Ворохобин И.И. Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна / И. И. Ворохобин, **Ю. В. Казак** // Судовождение: Сб. научн. трудов: НУ"ОМА", Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016. - С. 60-64.

7. Казак Ю.В. Влияние погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна/ Ю. В. Казак // Судовождение: Сб. научн. трудов.: НУ"ОМА", Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. - С. 96 - 101.

8. Казак Ю.В. Учет динамических моделей вращательного движения судна при обеспечении безопасности судовождения / Ю.В. Казак, Г. Е. Калиниченко // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018. - С. 63-69.

9. Ворохобин И.И. Плотность распределения векториальной погрешности поворота судна / И. И. Ворохобин, В. В Северин., **Ю. В. Казак** // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск. – 2017. – выпуск 3 (84). – С. 65 - 69.

10. Ворохобин И. И. Траекторная погрешность поворота судна и способы снижения ее величины / И. И. Ворохобин, **Ю. В. Казак**, Северин В. В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V (14), Issue: 132, 2017. - С.101 – 105.

11. Астайкин Д.В. Сравнение способов оценки безопасности плавания в стесненных районах / Д. В. Астайкин, В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1. - С. 31-39.

12. Казак Ю.В. Определение величины векториальной погрешности поворота судна / **Ю. В. Казак**, В. В. Северин. // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXVII международной научно-практической конференции, 15 сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 34-38.

13. Казак Ю.В. Зависимость погрешности бокового отклонения судна от траекторной погрешности поворота судна / Ю.В. Казак // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V (16), Issue: 148, 2017.- С. 75-77.

14. Ворохобин И. И. Определение вероятности обеспечения безаварийного плавания судов в стесненных районах / И. И. Ворохобин, В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Материалы научно-методологической конференции «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні», - 18-19 листопада 2014, Одеса. – С. 160-163.

15. Ворохобин И. И. Определение закона распределения бокового отклонения судна / И. И. Ворохобин, В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 19-20 листопада 2015, Одеса. – С. 117-119.

16. Казак Ю. В. Зависимость точности поворота судна от погрешности перекладки пера руля. / Ю. В. Казак // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листопада 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 10–15.

17. Казак Ю. В. Учет динамических моделей вращательного движения судна при обеспечении безопасности судовождения / **Ю. В. Казак**, Г. Е. Калиниченко // Транспортні технології (Морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – С. 99 - 102.

18. Ворохобин И. И. Формирование процедуры оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных районах/ И. И. Ворохобин, В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Материалы VII Международной научно-методологической конференции «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)», - 26-28 мая 2015, Херсон. – С. 99-102.

19. Северин В. В. Определение закона распределения бокового отклонения судна / В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 139–145.

20. Казак Ю. В. Влияние погрешности перекладки руля на точности поворота судна / Ю. В. Казак // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук. - практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 112–114.

21. Ворохобин И. И. Векториальная погрешность и ее плотность распределения / И. И. Ворохобин, В. В. Северин, **Ю. В. Казак** // Материалы Всеукраинской научно-технической конференции с международным участием. 17-18 мая 2017 г., Николаев, НУК, 2017.- С. 25 – 27.

АНОТАЦІЯ

Казак Ю. В. Розробка способу урахування траєкторної похибки повороту судна при оцінці безпеки судноводіння. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. – Національний Університет «Одеська морська академія», Одеса, 2020.

В роботі розглянуто векторні похибки управління і досліджені її складові. Визначено залежність векторної похибки управління від істотних чинників. Встановлено, що векторна похибка управління є сумою кількох похибок.

Виявлено механізм появи систематичної векторної похибки і показано, що час початку повороту судна залежить від обраної моделі його поворотності.

Показано, що векторна похибка управління, крім систематичної складової, містить векторну похибку, яка виникає через похибки перекладки пера керма, а також векторну похибку, що виникає через похибки моментів часу початку повороту.

Наведено дві процедури оцінки безпеки судноводіння, в яких характеристикою безпеки є ймовірність безпечної проводки судна за заданим стислим маршрутом. Для оцінки ймовірності безпечної проводки судна першою процедурою використовується двовимірний розподіл векторної траєкторної похибки і поточний фрагмент безпечної області плавання. Простіше проводиться оцінка ймовірності безпечної проводки судна другою процедурою, яка використовує одновимірний розподіл ймовірностей бічного ухилення судна щодо програмної траєкторії руху.

Для оперативної оцінки безпеки плавання судна запропоновано використовувати електронну карту району плавання, на яку наноситься поле точності. Після прогнозу повороту на електронну карту наноситься смуга руху судна, ширина якої визначається можливою траєкторною похибкою повороту. Інтегрована таким чином інформація дозволяє вибирати безпечний маршрут плавання.

Ключові слова: безпека судноводіння, траєкторна похибка повороту судна, щільність розподілу похибки бокового відхилення, динамічні моделі прогнозу повороту судна, імітаційне моделювання, верифікація.

ANNOTATION

Kazak Yu. V. Development method of account of trajectory error of turn of ship at estimation of safety of navigation. It is Qualifying scientific labor on rights for a manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences in specialty 05.22.13 – navigation and traffic control. – National University "Odessa marine academy", Odessa, 2020.

It is exposed that the vector's error of management except for a systematic constituent contains a vector's error, which arises up through the errors of move of helm, and also vector's error, that arises up through the errors of moments of time of beginning of turn

Two procedures of estimation of safety of navigation are resulted, in which probability of the safe wiring of ship on the set compressed route is description of safety. For estimation of probability of the safe wiring of ship the first procedure uses the closeness of distributing of vector's trajectory error and current fragment of safe region of sailing. Simpler estimation of probability of the safe wiring of ship of the second is conducted by procedure which uses probability distribution of lateral deviation of ship in relation to the programmatic trajectory of motion.

In work communication of closeness of error of lateral declination is also considered from a vector's trajectory error by a closeness and the collected analytical dependence of error of lateral deviation from a vector's trajectory error which allowed to find expression for the closeness of error of lateral declination, coming the closeness of vector's trajectory error from in the case of normal law of distributing of errors of the navigation measuring. It is resulted formalization of scopes of safe region of sailing of ship and shown procedure of estimation of probability of safe turn of ship at known closeness of distributing of vector's trajectory error.

For operative estimation of safety of sailing of ship it is suggested to use the electronic chart of district of sailing, which the field of exactness, which can marked or be without marking, is inflicted on. After the prognosis of turn on an electronic chart the bar of motion of ship is inflicted, the width of which is determined possible trajectory by the error of turn. The information integrated thus allows choosing the safe route of sailing.

Keywords: safety of navigation, trajectory error of turn of ship, closeness of distributing of error of lateral declination, dynamic models of prognosis of turn of ship, imitation design, verification.

Підп. до друку 24.10.2020. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И20-10-67

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003