

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

Северін Віталій Віталійович



УДК 656.61.052.484

**РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЦІНКИ ЗАЛЕЖНОСТІ БЕЗПЕКИ  
СУДНОВОДІННЯ ВІД ТОЧНОСТІ ПРОВІДКИ СУДНА СТИСЛИМ  
МАРШРУТОМ**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент

**Ворохобін Ігор Ігорович,**

Національному університеті "Одеська морська академія", декан факультету морських технологій та перевезень.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Кондратенко Юрій Пантелійович,**

Чорноморський державний університет ім. Петра Могили Міністерства освіти і науки України, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем, м. Миколаїв.

кандидат технічних наук, доцент

**Товстокорий Олег Миколайович,**

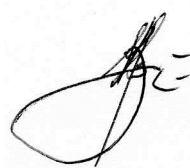
Херсонська державна морська академія Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі, м. Херсон.

Захист відбудеться 22 квітня 2019 р. о 14:00 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 на сайті НУ «ОМА»:  
<http://onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>

Автореферат розісланий 22 березня 2019 р.

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



Нікольський В.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забезпечення безаварійного судноводіння веде до зниження шкоди людському життю та навколишньому середовищу.

Навігаційні перешкоди разом з інтенсивним судноплавством сприяють виникненню аварійних ситуацій, що значно ускладнює плавання суден в стислих водах. Найбільший вплив на навігаційну небезпеку судноплавства в стислих водах мають векторіальні позиційні похибки та траєкторні похибки управління судном.

Векторіальна позиційна похибка залежить від точності визначення позиції судна, яка характеризується її коваріаційною матрицею і має домінуючий вплив на вірогідність безпечної проводки судна стислим маршрутом. Для мінімізації ризику виникнення аварійної ситуації потрібна розробка способу апріорної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки судна в стислому районі, яким доцільно користуватися на етапі планування переходу судна.

Тому розробка способу мінімізації ризику аварії при плаванні судна в стислих районах, є актуальним науковим завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконання роботи проводилось згідно з положеннями рішення Ради національної безпеки і оборони України «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (№0008525-р від 28.04.2014), Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (№ 430-р від 30 травня 2018 р.), Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (Кабінету Міністрів України №2174-р від 20.10.2010 р.), «Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020»», а також робота виконувалась в рамках наукових досліджень національного університету «Одеська морська академія» за темою «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» № ДР 0115U003580(2017), в якій здобувачем виконано окремий підрозділ.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційного дослідження являється зниження впливу суттєвих параметрів, які сприяють виникненню аварійності, через розробку методики кількісної оцінки безпеки судноводіння.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийняте допущення про існування можливості підвищення безпеки судноводіння шляхом вибору безпечної траєкторії в межах стислого маршруту.

Головною задачею дослідження є розробка програми кількісної оцінки безпеки судноводіння адаптованою до ЕКНІС(Електронна картографічна навігаційна інформаційна система) з урахуванням точності проводки судна на стислому маршруті. Для рішення головної задачі дисертації вирішувались наступні допоміжні задачі:

- ідентифікація та формалізація моделі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна у стислому районі;
- дослідження впливу законів розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту;
- розробка схеми імітаційного моделювання та засобу оцінки вірогідності

безпечного плавання у координатному середовищі ECDIS.

**Об'єктом дослідження** дисертації є процес руху судна.

**Предметом дослідження** є процес проводки судна в стислих водах.

**Методи дослідження.** Для рішення поставлених задач у дисертаційному дослідженні були застосовані наступні методи:

- дедукції для аналізу літературних джерел з метою визначення основних напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння;
- системного аналізу для формування методологічного забезпечення наукового дослідження та вибору тематики дисертації;
- математичного аналізу для пошуку рішення необхідних аналітичних залежностей;
- теорії вірогідностей та математичної статистики для опису характеристик випадкових векторіальних похибок і визначення вірогідності безаварійного плавання судна в заданому стислому районі.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у розробці методу для створення комп'ютерної програми оптимізації кількісної оцінки безпечного судноводіння шляхом моделювання руху у координатному середовищі ЕКНІС, яка залежить від точності проводки судна стислим маршрутом, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання з необхідними умовами присутності функціонального обладнання ЕКНІС та достатніми умовами володіння статистики кількісної векторіальної похибки аварійності у заданому районі.

У дисертаційній роботі отримані наступні наукові результати:

- знайшла подальший розвиток формалізована модель руху судна першого порядку для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим районом;
- визначено способи урахування впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного плавання судна в залежності від обмежень маршруту;
- створено імітаційний спосіб кількісної оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою комп'ютерною програми, реалізованій у координатному середовищі на електронній карті.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що алгоритми, програми, методики можуть бути використані на судах для визначення безпечності маршруту, а також розробниками 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 09.09.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі управління судном при викладанні дисципліни «Маневрування і управління судном» (акт від 17.09.2018 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Здобувач виконав дисертаційну роботу

самостійно: зокрема: інформаційний пошук; вибір теми дослідження; теологічну карту дослідження; вирішив головну та допоміжні завдання та висновки.

В дисертації використані положення наукових праць, опублікованих у сумісних роботах, які належать особисто автору: [1, 2, 11] порівняння способів оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в стислих водах, [3, 14] питання щодо формування кількісної характеристики безпеки судноводіння, [4, 10, 16] стохастичний опис бокового відхилення судна при плавання завданним маршрутом, [5, 9, 12] оцінка векторіальної похибки, [6] вираз щільності розподілу похибки бокового відхилення, [7] залежність між одномірною і двомірною векторіальною похибками, [15, 19] визначення вірогідності безаварійного плавання судна в стислих водах, [17] залежність між одномірною щільністю похибки розподілу і двомірною щільністю векторіальної позиційної похибки, [20] визначення похибки бокового відхилення, [22] характеристика векторіальної позиційної похибки та її формалізація.

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

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 і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.), XXVII Міжнародна конференція «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), науково-методологічна конференція «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» (Одеса, 18-19 листопаду 2014 р.), науково-методологічна конференція «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» (Одеса, 19-20 листопаду 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопаду 2016 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопаду 2017 р.).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 22 наукові праці (з них 5 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 8 наукових статей [2 - 8, 14]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 4 наукові статті [9 - 11, 13] та монографія [1]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 9 доповідей [12, 15 - 22].

**Структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (102 найменувань) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 261 сторінку і містить 97 рисунків та 7

таблиць, зокрема: 177 сторінки основного тексту, 12 сторінок списку використаних джерел, 73 сторінки додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дисертаційної роботи наведені загальні характеристики дисертації: актуальність, зв'язок тематики дисертації із програмами наукових досліджень, гіпотеза, головна та допоміжні задачі, наукова новизна дослідження та приведені практичне значення дисертаційної роботи.

У **першому розділі** здійснений інформаційний пошук шляхом огляду літературних джерел з виділенням базових напрямків вирішенням головної проблеми забезпечення безпеки судноводіння. Базові напрямки реалізуються розробкою заходів, направлених на підвищення точності та надійності процесу судноводіння при плаванні в стислих районах підвищеної інтенсивності судноплавства та наявності навігаційних перешкод.

До базових напрямків, зокрема відносяться: заходи щодо застосування сучасних інформаційно-керуючих технологій і засобів для оцінки безпеки судноводіння; забезпечення належного рівня зниження зіткнень суден; використання сучасних теоретичних методів і комп'ютерних інформаційних технологій.

Проблемні питання виявлені в роботах вітчизняних вчених Аксютіна Л.Р., Козира Л.А., Воробйова Ю.Л., Вагущенко Л.Л., Кондрашихіна В.Т., Мальцева А.С., Цимбала М.М., Голікова В.В., Фрейдзона І.Р. та іноземних вчених Hornauer S, Lisowski J., які зробили значний внесок в теорію і практику рішення проблем забезпечення безпеки судноводіння, вказали на проблемні питання по рішенню проблеми безпеки судноводіння (рис 1).



Рисунок 1 - Схема інформаційного пошуку по проблемі безпеки судноводіння

У другому розділі викладено вибір теми дисертаційного дослідження, здійснений методом експертного оцінювання.

Оцінювались базові напрямки по двобальній шкалі за факторами: актуальність, наукова новизна, економічна доцільність, відповідність напрямків паспорту спеціальності 05.22.13 та терміну реалізації дослідження (таблиця 1).

Таблиця 1 - Результати експертного оцінювання вибору теми дисертаційного дослідження

№ з/п	Базові напрямки	Фактори					Загальний бал
		Актуальність	Наукова новизна	Економіч-на ефективн.	Відповідність наук. Спеціальн.	Строки реалізації	
1	Зниження зіткнень суден	+	+	+	+	-	4
2	Сучасні методи та технології	+	+	-	+	-	3
3	Оцінка безпеки судноводіння	+	+	+	+	+	5

Було виявлено, що вдосконалення методів оцінки безпеки судноводіння є одним із актуальних напрямків забезпечення безпеки судноводіння. Вдосконалення методів оцінки безпеки судноводіння, в першу чергу, потребує розробки заходів підвищення ефективності та надійності маневрування суден з використанням сучасних методів, технологій та систем. Зроблений огляд існуючих концепцій підвищення безпеки судноводіння таких вчених як Мальцев А.С., Цимбала М.М., Голіков В.В., містять розробку корегування компенсуючих факторів, а концепції таких вчених як Кондрашихін В.Т., Вагущенко Л.Л., містять урахування стохастичних чинників на безпеку судноводіння та не враховують дискретність у визначенні місця судна на маршруті з урахуванням щільності розподілу вірогідності бокового відхилення, зумовило вибір теми дисертаційного дослідження, присвяченого розробці методу апріорної кількісної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки стислим маршрутом і значень його параметрів.

**Темою дисертаційного дослідження** стала: «Розробка способу оцінки безпеки залежності безпеки судноводіння від точності проводки судна стислим маршрутом».

**Об'єктом дисертаційного дослідження** дисертації став процес руху судна.

**Предметом дисертаційного дослідження** став процес проводки судна в стислих водах.

Концептуальний підхід для формування технології наукового дослідження полягає у припущенні про наявність умов руху судна по заданій ділянці шляху за мінімумом різноманітних перешкод, кількісна оцінка яких здійснюється ймовірнісними методами.

За допомогою методів системного підходу розроблено технологічну карту дослідження, яка містить мету, робочу гіпотезу, головну задачу дисертаційного

дослідження. Методами системного аналізу та теорії операцій були визначені головна та допоміжні задачі.

У **третьому розділі** вирішена перша допоміжна задача дисертаційного дослідження – ідентифікація та формалізація моделі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна у стислому районі.

Для її рішення були використані методи: математичного аналізу, та теорія вірогідностей та була обрана математична модель визначення вірогідності безпечного плавання з урахуванням характеристик району плавання і двовимірної щільності  $f(x, y)$  траєкторної позиційної похибки. Аварійність суден характеризувалась потоком аварійних подій, яка розглядалась, як простий пуасонівський потік, інтенсивність  $\lambda_{\Sigma}$  якого виражає суму трьох складових:

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

де  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  - інтенсивність аварій внаслідок: посадок на міліну через позиційні похибки, через зіткнення суден та посадок на міліну через похибки управління.

А також приведено математичну модель оцінки вірогідності безаварійного плавання судна  $P_b$  в стислих умовах по вибраному маршруту з урахуванням інтенсивності аварій  $\lambda_{\Sigma}$ .

Для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна  $P_b$  в стислих умовах по вибраному маршруту була обрана математичну модель, яка має наступний вигляд:

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

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

Така оцінка вірогідності безаварійного плавання судна  $P_{bn}$  є складною і трудомісткою, тому що вимагає рішення задачі з використанням двовимірної щільності розподілу вірогідності векторіальної похибки і багатократним її інтегруванням в межах безпечної області  $D$ , межа якої має складну форму.

Тому при вирішенні задачі була застосована спрощена модель розрахунку апріорної вірогідності  $P_b$ , в який задача формалізується з використанням одновимірної щільності похибки зносу судна. При цьому допустима область безпечного плавання  $D$  формується аналітичним описом її правої  $G_{st}(X, Y)$  і лівої  $G_{pt}(X, Y)$  меж, з урахуванням наявності заданої програмної траєкторії руху судна  $Tr_{pr}(X, Y)$ . Причому кожна точка програмної траєкторії характеризується парою нормальних відстаней від програмної траєкторії руху до правої  $L_{st}(X, Y)$  і лівої  $L_{pt}(X, Y)$  меж безпечної області.



Також враховано, що рух судна по програмній траєкторії супроводжується його неминучими бічними відхиленнями, які є випадковими. Аналітичний вираз вірогідності безаварійного плавання судна  $P$  був спрощений до виразу:

$$P = \exp \left\{ \sum_{i=1}^S \ln [F(L_{sti}) + F(L_{pti})] \right\},$$

де:  $F(x)$  - функція розподілу похибки бічного відхилення.

Характеристика обмеженості допустимої області плавання показує, як часто зустрічається кожне з можливих значень ширини  $b$  області:

$b_{\min} \leq b \leq b_{\max}$  з розподілом частот  $\phi(b)$ , яка задається в графічному вигляді, наприклад, представленому на рис.2.

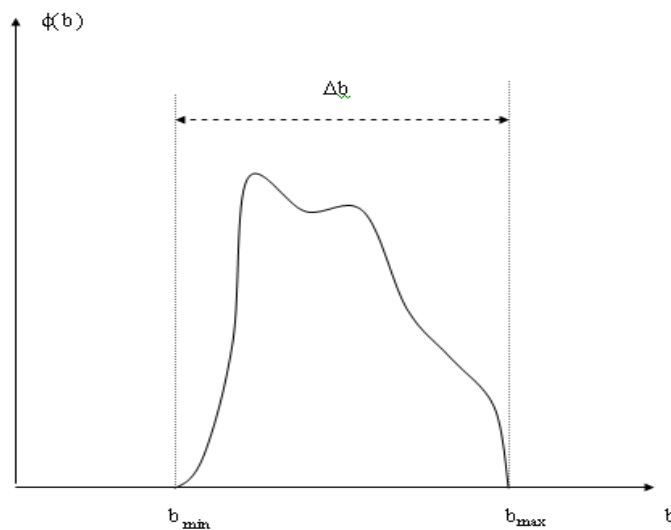


Рисунок 2 - Розподіл частот  $\phi(b)$

Розташування програмної траєкторії  $Tr_{pr}(X, Y)$  в допустимій області плавання характеризувалось зносом. При цьому характеристика зносу враховує положення програмної траєкторії руху судна щодо геометричної середини області. Оцінка зносу програмної траєкторії  $Tr_{pr}(X, Y)$  визначалась наступним чином: для кожної точки програмної траєкторії знаходяться права  $L_{sti}$  і ліва  $L_{pti}$  нормальні відстані, прораховується половина різниці між ними, а потім підсумовуються ці половини різниць по всіх точках програмної траєкторії і нормуються її завдовжки  $s$  аналітично:

$$S_m = \frac{1}{2s} \sum_{i=1}^s |L_{sti} - L_{pti}|.$$

Для практичного застосування характеристика зносу  $\delta_b$  в довільній точці програмної траєкторії, визначається як  $\delta_b = \frac{1}{2} |S_{st} - S_{pt}|$ , тобто є половиною модуля різниці нормальних відстаней. Отже, для кожної точки програмної траєкторії можна вказати знос, проте доцільно групувати зноси  $\delta_{bi}$  по значенням ширини  $b$  допустимої області безпечного плавання. Це значить, що

на всьому протязі програмної траєкторії для заданого значення  $b_i$  ширини  $b$  відбираються зноси  $\delta_{bij}$  і групуються по частоті появ. Умовний розподіл частот зносу для ширини допустимої області приймає значення рівне  $b_i$ , а умовний розподіл частот зносу  $\delta_{bij}$  позначаються  $\gamma(\delta_b/b_i)$ .

З урахуванням вищезазначеного формула для вірогідності безаварійної проводки судна в допустимій області приймає наступний вигляд:

$$P = \exp \left\{ s \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \varphi(b) \ln \left\{ \int_{\delta_{b\min}}^{\delta_{b\max}} \gamma(\delta_b, b) \left[ F\left(\frac{b}{2} - \delta_b\right) + F\left(\frac{b}{2} + \delta_b\right) \right] d\delta_b \right\} db \right\}.$$

Аналіз одержаного виразу показує, що на величину вірогідності  $P$  впливають такі некеровані чинники, як довжина програмної траєкторії руху судна  $s$  і розподіл частот повторення значень ширини допустимої області  $\varphi(b)$ . Хоча класифікація даних параметрів, як некерованих є в деякій мірі умовна, оскільки рішення розширити або подовжити допустиму область безпечного плавання переводить згадані параметри в множину керованих параметрів. Проте надалі вважається, що допустима область безпечного плавання суден  $D$  є незмінною і параметри  $s$  і  $\varphi(b)$  є некерованими.

Програмна траєкторія руху судна представляє послідовність відрізків локсодромії. При її формуванні визначиться кількість відрізків локсодромії і координати їх кінців (або значення курсів кожного відрізка локсодромії і його довжини). Тому програмна траєкторія руху судна  $Tr_{pr}(X, Y)$  абстрагована в наступному аналітичному вигляді:

$$Tr_{pr}(X, Y) = \{X_{to}, Y_{to}, \bigcup_{i=1}^{N_t} (X_{ti}, Y_{ti})\},$$

де  $N_t$  - число відрізків локсодромії програмної траєкторії  $Tr_{pr}(X, Y)$ ;  $X_{to}, Y_{to}$  - початкові координати програмної траєкторії;  $X_{ti}, Y_{ti}$  - координати кінця кожного з відрізків програмної траєкторії.

Для подальшого визначення залежності одновимірної щільності похибки бічного відхилення судна від двовимірної щільності його позиційної похибки необхідна оцінка вірогідності безаварійного плавання судна по вибраному маршруту обрана математична модель з одновимірною щільністю розподілу бічного відхилення судна від програмної траєкторії руху при наявності двовимірної щільності розподілу векторіальної позиційної похибки.

В результаті аналітичних перетворень одержано залежність бічного відхилення  $z$  від складових  $x$  та  $y$  векторіальної похибки, яка має вигляд:

$$z = y \sin K - x \cos K,$$

де  $K$  - курс судна.

Для нормального розподілу векторіальної похибки щільність  $f_b(z)$  бічного відхилення  $z$  має вираз:

$$f_b(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)}} \exp \left\{ -\frac{[z - (m_y \sin K - m_x \cos K)]^2}{2(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)} \right\},$$

де  $\sigma_x^2$  і  $\sigma_y^2$  - дисперсія складових  $x$  і  $y$ ;  $m_x$  і  $m_y$  - математичні очікування складових  $x$  і  $y$ .

Науковим результатом рішення першої допоміжної задачі стала формалізована математична модель визначення вірогідності безпечного плавання судна в стислому районі плавання. Для чого після задання програмної траєкторії руху судна  $Tr_{pr}(X, Y)$ , визначаються вірогідності з урахуванням двовимірної щільності  $f(x, y)$  траєкторної позиційної похибки, з подальшим перетворенням в одномірну щільність.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [1, 2, 5, 7, 12, 15, 19, 21].

У **четвертому розділі** вирішена друга допоміжна задача дисертаційного дослідження - дослідження впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту.

Для рішення другої допоміжної задачі були використані наступні методи наукового дослідження: математичний аналіз, теорія вірогідностей і математична статистика.

Розрахунок оцінки вірогідності безпечного проходження обмеженого району проводиться у дискретному вигляді з допомогою виразу:

$$P = \exp \left\{ \sum_{i=0}^{\Delta b} \left\{ \sum_{j=1}^{m_i} \ln \left[ F \left( \frac{b_{\min} + i}{2} - \delta_{bij} \right) + F \left( \frac{b_{\min} + i}{2} + \delta_{bij} \right) \right] \right\} \right\}$$

і потребує визначення наступних характеристик допустимої області безпечного плавання: параметрів обмеженості  $\Delta b$ ,  $b_{\min}$ , одновимірний масив  $m_i$  і двовимірний масив значень зносу траєкторії  $\delta_{bij}$ . Межі безпечної області  $G_{st}(X, Y)$ ,  $G_{pt}(X, Y)$  і програмна траєкторія судна  $Tr_{pr}(X, Y)$  формалізовані у вигляді масивів точок прямокутної системи координат  $XOY$ . Права межа  $G_{st}(X, Y)$  представлена масивом точок  $\{X_{si}, Y_{si}\}$ , ліва межа  $G_{pt}(X, Y)$  - масивом точок  $\{X_{pi}, Y_{pi}\}$ , а програмна траєкторія руху  $Tr_{pr}(X, Y)$  задана масивом точок  $\{X_{ti}, Y_{ti}\}$ . Для розрахунку характеристик обмеженого району доцільно перетворити масиви точок зламу меж області  $D$  і програмної траєкторії руху судна в модифіковані масиви, що містять початкову точку, а також довжину і напрям кожного відрізка між сусідніми точками зламу шматково-лінійної апроксимації меж безпечної області плавання або ділянок локсодромії програмної траєкторії. Для програмної траєкторії таке уявлення є природним, тобто  $\tilde{Tr}_{pr} = \{X_{t1}, Y_{t1}, K_i, S_i\}$ , а для меж області аналогічно  $\tilde{G}_{st} = \{X_{s1}, Y_{s1}, \beta_{si}, L_{si}\}$  і  $\tilde{G}_{pt} = \{X_{p1}, Y_{p1}, \beta_{pi}, L_{pi}\}$ , причому довжина  $L_i$  і напрям  $\beta_i$   $i$ -го відрізка межі виражаються через елементи початкового масиву наступним чином:

$$L_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2};$$

$$\beta_i = \begin{cases} \psi_i, & \text{при } \Delta X_i > 0, \Delta Y_i > 0, \\ \pi - \psi_i, & \text{при } \Delta Y_i < 0, \\ 2\pi + \psi_i, & \text{при } \Delta X_i < 0, \Delta Y_i > 0, \end{cases}$$

де  $\Delta X_i = X_{i+1} - X_i$ ,  $\Delta Y_i = Y_{i+1} - Y_i$ ,  $\psi_i = \arcsin[\Delta X_i/L_i]$ .

При вирішенні задачі досліджено чотири випадки визначення нормальних відстаней  $L_{sti}$  і  $L_{pti}$  з довільної точки програмної траєкторії  $\tilde{Tr}_{pr} = \{X_{t1}, Y_{t1}, K_i, S_i\}$  до меж безпечної області  $\tilde{G}_{st} = \{X_{s1}, Y_{s1}, \beta_{si}, L_{si}\}$  і  $\tilde{G}_{pt} = \{X_{p1}, Y_{p1}, \beta_{pi}, L_{pi}\}$ .

В таблиці наведено один з прикладів, в якому масиви меж безпечної області  $G_{st}(X, Y)$ ,  $G_{pt}(X, Y)$ , і програмній траєкторії  $Tr_{pr}(X, Y)$  містять 9 точок зламу, а координати цих крапок приведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Характеристики масивів  $G_{st}(X, Y)$ ,  $G_{pt}(X, Y)$  і  $Tr_{pr}(X, Y)$  прикладу стислого маршруту

№	$X_{pt}$	$Y_{pt}$	$X_{st}$	$Y_{st}$	$X_{pr}$	$Y_{pr}$
1	125	30	40	45	105	55
2	175	105	80	95	140	175
3	165	155	110	165	225	260
4	195	200	115	235	295	330
5	250	225	175	280	335	335
6	310	300	230	305	380	345
7	365	310	275	335	420	320
8	445	270	405	370	465	305
9	505	205	510	320	495	285

Початкові масиви  $G_{st}(X, Y)$ ,  $G_{pt}(X, Y)$  і  $Tr_{pr}(X, Y)$  перетворені в модифіковані  $\tilde{G}_{st}$ ,  $\tilde{G}_{pt}$  і  $\tilde{Tr}_{pr}$ , і представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Характеристики модифікованих масивів  $\tilde{G}_{st}$ ,  $\tilde{G}_{pt}$  і  $\tilde{T}_{rpr}$  прикладу стислого маршруту

№	$K^\circ$	S	$\beta_p^\circ$	$L_p$	$\beta_s^\circ$	$L_s$
1	164	125	146	90,1	141	64,0
2	135	120,2	191	51,0	157	76,2
3	135	99	146	54,1	176	70,2
4	97	40,3	114	60,4	127	75,0
5	103	46,1	141	96,0	114	60,4
6	58	47,2	100	55,9	124	54,1
7	72	47,4	63	89,4	105	134,6
8	56	36,1	43	88,5	65	116,3

Межі безпечної області плавання і програмна траєкторія руху судна для даного прикладу та нормальні відстані показані на рис. 3.

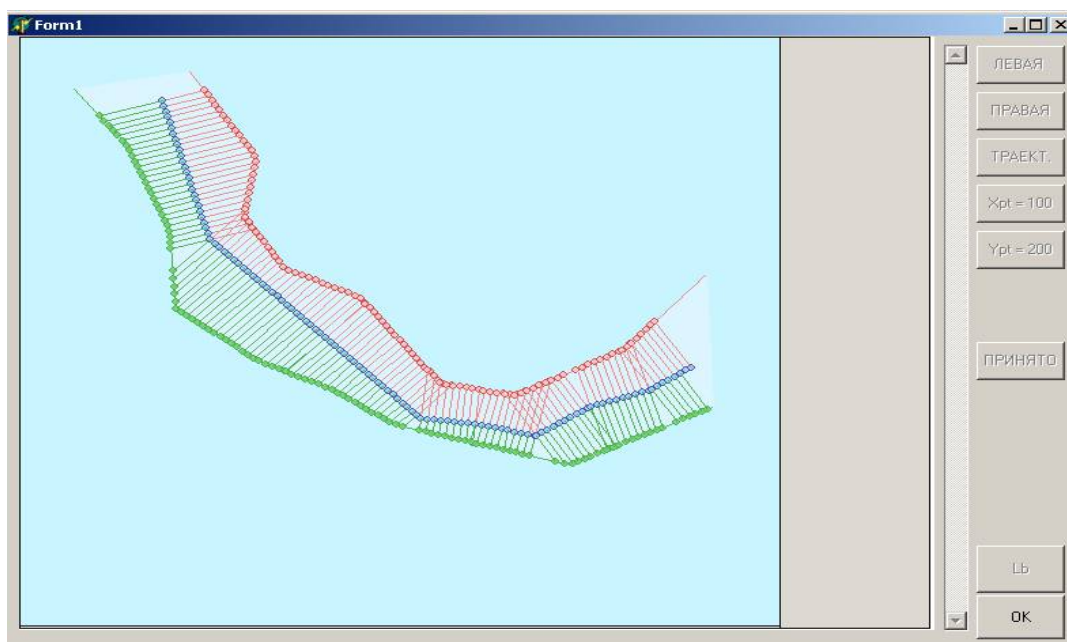


Рисунок 3 - Безпечна область та нормальні відстані  $L_{pt}$  і  $L_{st}$  стислого маршруту

Розподіл частот нормальної ширини допустимої області показано на рис. 4. Таким чином, одержано спосіб формалізації сумісного розташування меж області безпечного плавання і програмної траєкторії руху судна в ній, за допомогою якого розраховуються розподіл частот нормальної ширини і масиву зносів судна щодо траєкторії.

При вирішенні задачі досліджено вплив закону розподілу похибки бічного відхилення на вірогідність безпечного проходження судном обмеженого маршруту. Для оцінки вірогідності безаварійної проводки судна  $P$  в допустимій області розраховуються значення виразу  $F(\frac{b}{2} - \delta_b) + F(\frac{b}{2} + \delta_b)$ , для

чого необхідно обчислювати функції розподілу нормального закону і змішаних законів обох типів. Для нормального закону значення функції розподілу нормального закону визначається за допомогою функції Лапласу

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt,$$

яка представлена в табличному вигляді. Аналітичний вираз функції розподілу змішаного закону першого типу  $F_{1n}(x)$  має вигляд:

$$F_{1n}(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{2\alpha}} + \sum_{i=1}^n \frac{2^{n-i} \alpha^{(n-i)+\frac{1}{2}} (n-i)!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot [2n - (2i-1)]} \frac{x}{\left(\frac{x^2}{2} + \alpha\right)^{n+1-i}}. \quad (n \leq 6)$$

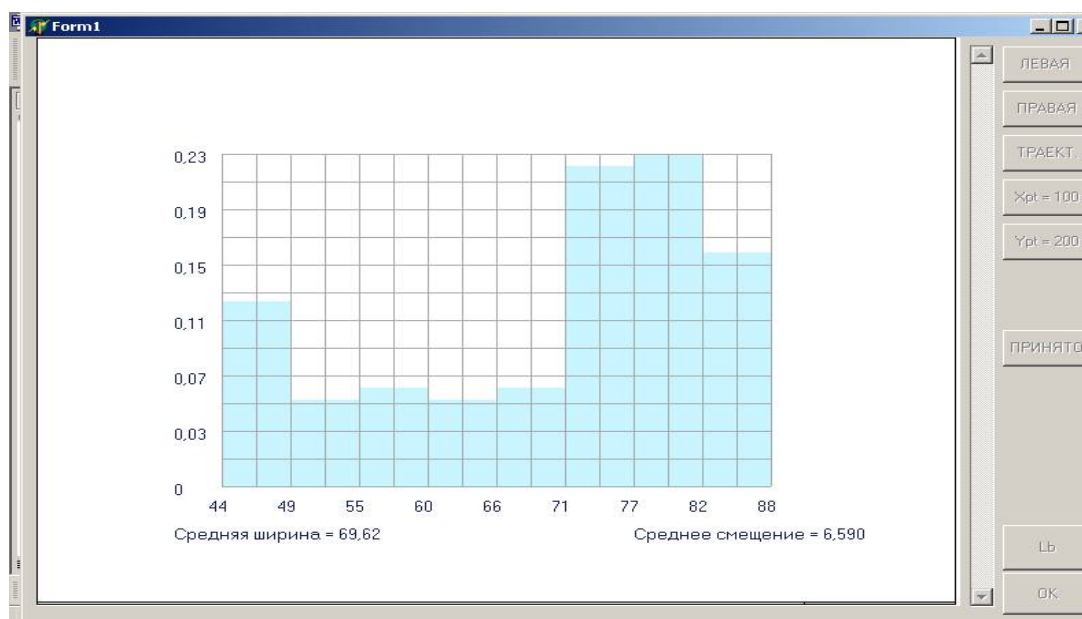


Рисунок 4 - Розподіл частот нормальної ширини вірогідності від бічного відхилення

Аналогічно для змішаного закону другого типу:

$$F_{2n}(x) = 1 - 2^n 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \left\{ \sum_{j=0}^n \frac{(-1)^j \alpha^{n+1+j}}{j!(n-j)!(n+1+j) (x^2 + 2\alpha + x\sqrt{x^2 + 2\alpha})^{n+1+j}} \right\}. \quad (n \leq 5)$$

На базі алгоритму розрахунку вірогідності безпечного проходження обмеженої ділянки складена відповідна комп'ютерна програма. У програмі крім точного розрахунку вірогідності безаварійної проводки судна  $P$  передбачена оцінка вірогідності  $P$ , за допомогою наближеної формули, яка враховує середні значення нормальної ширини  $b_m$  і зносу  $\delta_{bm}$ ; причому, наближена оцінка  $P_{пр}$  має наступний вигляд:

$$P_{пр} = \left[ \int_{-b_m/2}^{b_m/2} f(x - \delta_{bm}) dx \right]^s = \left[ 2 \int_0^{b_m/2} f(x - \delta_{bm}) dx \right]^s.$$

Для оцінки впливу закону розподілу вірогідності похибки бічного відхилення для одного і того ж маршруту розраховувалася вірогідність  $P$  і  $P_{пр}$  для нормального закону, а також змішаних законів першого і другого типів. За

послідовністю попереднього випадку.

Комп'ютерна програма дозволяє виводити інформацію по вірогідності безаварійного плавання у вигляді відображеному на рисунку 5 з урахуванням нормального розподілу похибок бічного відхилення.

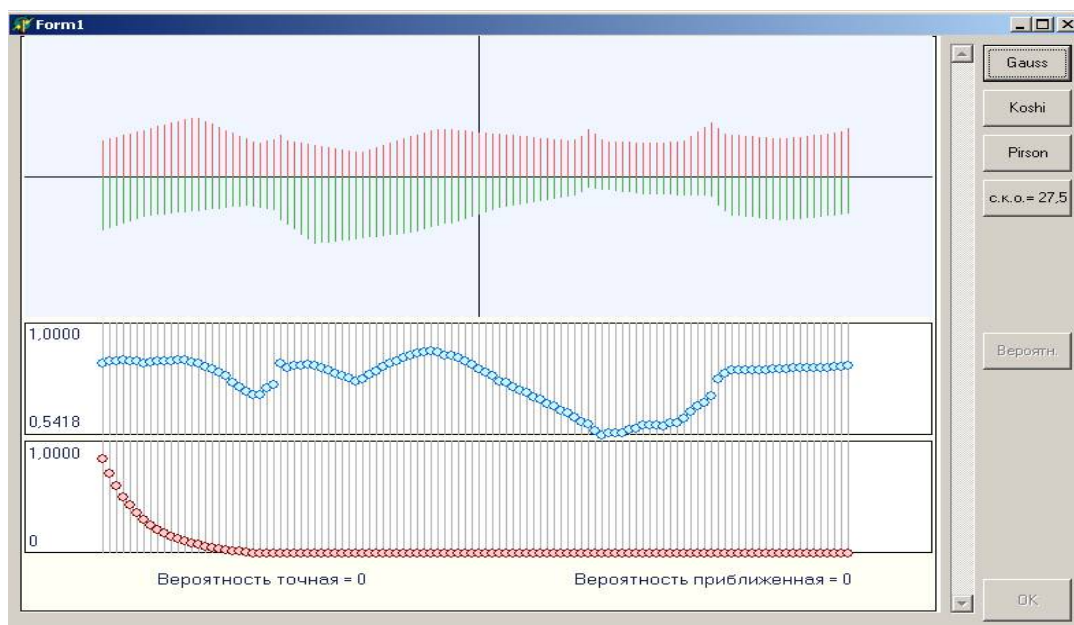


Рисунок 5 - Інформація по безпеці проходження при нормальному законі розподілу

У верхній частині екрану представлена діаграма розподілу нормальної ширини по протяжності маршруту проводки. Нижче вказаний графік вірогідності безпечного проходження елементарних ділянок маршруту проводки. Нижній графік показує залежність вірогідності безпечної проводки пройденої частини маршруту. У нижній частині екрану приведена інформація про точну і наближену вірогідності безпечного проходження всього маршруту. З урахуванням прийнятої дисперсії похибок бічного відхилення плавання другим маршрутом неможливе, оскільки вірогідність його безпечного проходження рівна 0. Більш того, вірогідність  $P$  обертається в 0 при проходженні тільки 20% маршруту.

У разі розподілу похибок бічного відхилення по змішаному закону першого типу точна вірогідність безпечного проходження першого маршруту  $P = 0,6967$ , як впливає з рис. 6. Ця вірогідність також дуже низька, що пояснюється великою обмеженістю маршруту і низькою точністю контролю місця судна. На рис. 7 представлена інформація по безпеці плавання першим маршрутом для випадку, коли похибки бічного відхилення підкоряються змішаному закону другого типу. В цьому випадку точна вірогідність складає  $P = 0,7439$ , що також недостатньо для безпечної проводки судна цим маршрутом. При аналізі безпеки проводки судна обома маршрутами виявилось, що при прийнятій точності визначення бічного відхилення з  $\sigma = 27,5$  екранних одиниць відстані безаварійна проводка судна незалежно від закону розподілу похибок бічного відхилення неможлива.

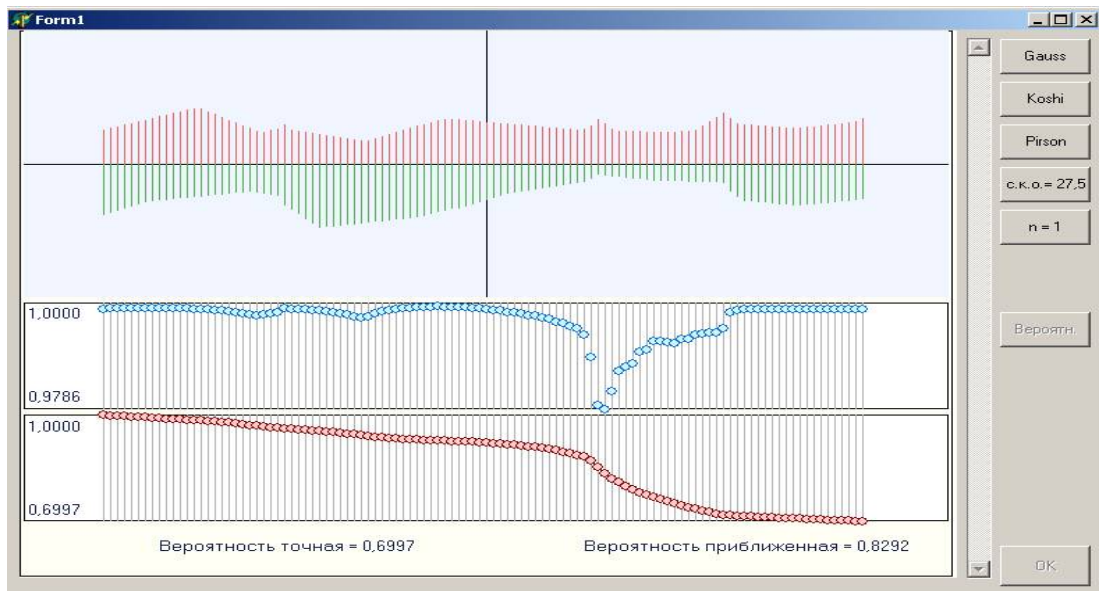


Рисунок 6 - Інформація по безпеці проходження при змішаному законі 1-го типу;

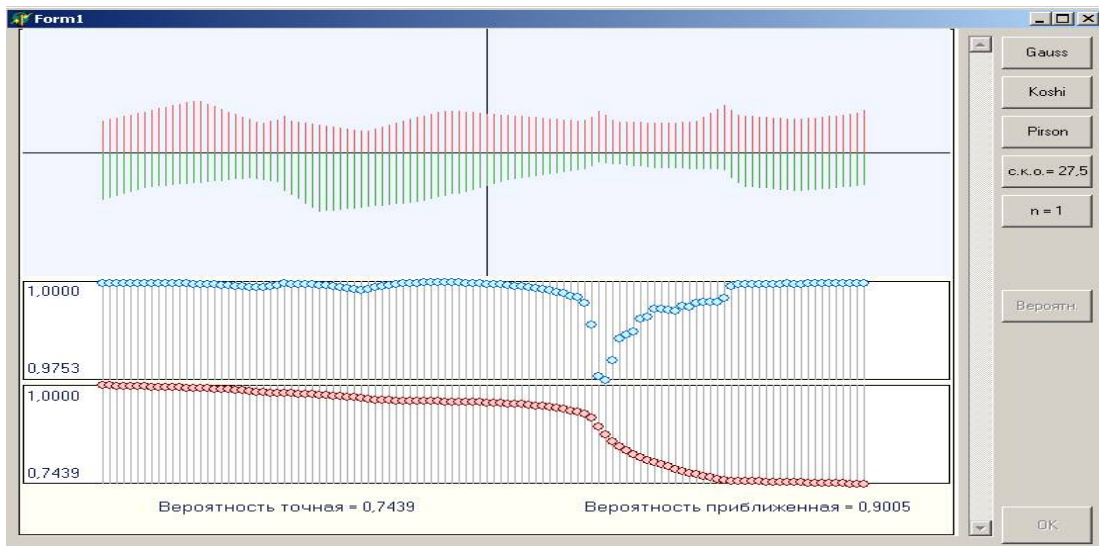


Рисунок 7 - Інформація по безпеці проходження при змішаному законі 2-го типу

Науковим результатом рішення другої допоміжної задачі стало визначення способів урахування впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного плавання судна, в залежності від обмежень маршруту.

У дослідженні використані нормальний закон розподілу і змішані закони першого і другого типів. Показано, що вірогідність безпечної проводки зменшується із збільшенням дисперсії похибки бічного відхилення і збільшується із зростанням істотного параметра змішаних законів розподілу.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 14, 16, 17, 20, 22].

У **п'ятому розділі** вирішена третя допоміжна задача дисертаційного дослідження - розробка розрахункової схеми імітаційного моделювання та



засобу оцінки вірогідності безпечного плавання у середовищі ECDIS, та головна задача дослідження.

Для рішення задачі були використані наступні методи наукового дослідження: математичний аналіз, системний аналіз, теорія вірогідностей.

На першому етапі рішення третьої допоміжної задачі складена імітаційна комп'ютерна програма, в якій передбачена можливість вибору заданого маршруту проводки судна обмеженим районом декількома альтернативними способами. Перш за все, можна скористатися маршрутами з бази даних, сформувавши його по заданому масиву точок або з використанням електронної карти для координатного зображення.

Були порівняні дві альтернативні моделі оцінки вірогідності безпечної проводки судна заданим обмеженим маршрутом, в першій з яких використана двовимірний щільність розподілу вірогідності векторіальної похибки і двовимірні масиви шматково-лінійної апроксимації меж безпечної області плавання. У другій моделі застосовувалася одновимірний щільність похибки бічного відхилення і одновимірні масиви нормальної ширини і зносу. Для одного і того ж маршруту плавання, що включає межі безпечної області плавання і програмну траєкторію руху судна, проводився розрахунок вірогідності безпечної проводки судна заданим маршрутом по обох моделях і одержані результати порівнювалися. Позначимо вірогідність, одержану по моделі одновимірної щільності, через  $P_1$ , а по моделі двовимірної щільності – через  $P_2$ .

За допомогою комп'ютерної програми формувалися п'ять обмежених маршрутів плавання судна, для чого вводилися масиви меж області безпечного плавання і програмна траєкторія плавання судна. Для кожного маршруту вибиралося значення с. к. в. і припускалося, що похибки підкоряються нормальному закону розподілу. Потім проводився розрахунок оцінки вірогідності  $P_2$  безпечної проводки обмеженим маршрутом.

Комп'ютерною програмою визначались одновимірні характеристики маршрутів, які дозволили провести точну оцінку вірогідності безпечного плавання  $P_1$  по одновимірній моделі.

В якості прикладу розглянемо маршрут 3 плавання судна в обмеженому районі. Для розрахунку вірогідності безпечної проводки судна по даному маршруту приймалася точність  $\sigma=4,3$ . Вірогідність оцінювалася моделлю з двовимірною щільністю векторіальної похибки  $P_2$  і склала 0,982 (рис. 8). Альтернативна оцінка безпеки плавання маршрутом 3 за допомогою вірогідності  $P_1$  моделлю одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення, як показано на рис. 9, склала  $P_1 = 0,9818$ , яка практично співпадає з вірогідністю  $P_2$  для цього випадку.

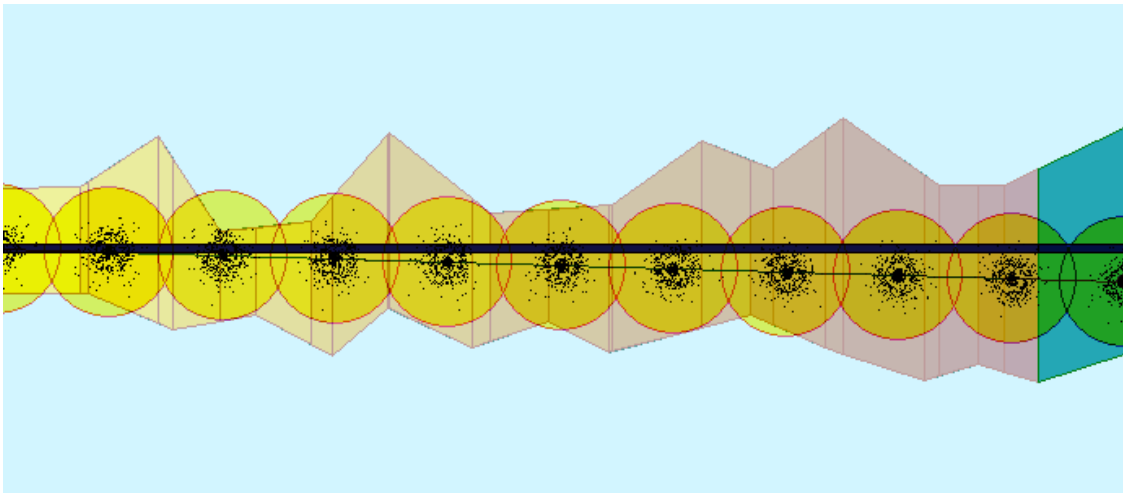


Рисунок 8 - Оцінка вірогідності  $P_2$  при плаванні судна маршрутом 3;

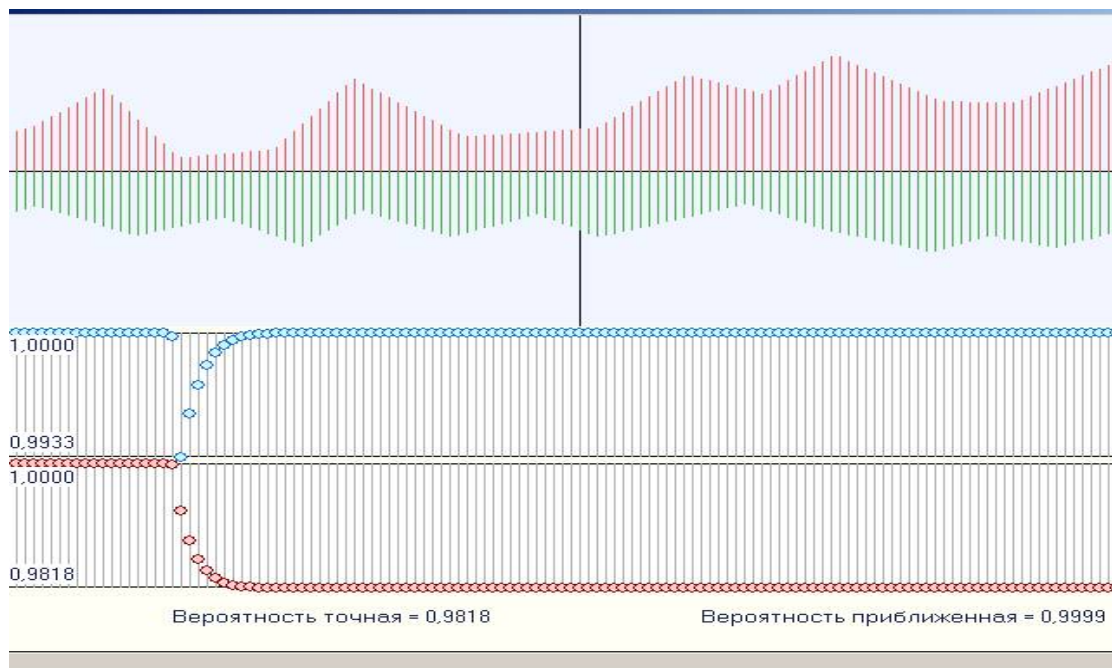


Рисунок 9 - Оцінка вірогідності  $P_1$  безпечної проводки судна маршрутом 3

Результати оцінки вірогідності безпечної проводки судна по всіх п'яти маршрутах за допомогою обох моделей приведено в табл. 4.

Таблиця 4 - Результати оцінки вірогідності безпечної проводки судна

Маршрут	1	2	3	4	5
$P_1$	0,487	0,543	0,9818	0,9179	0,8149
$P_2$	0,484	0,546	0,982	0,916	0,817
$\delta P$ (%)	0,6	0,5	0,02	0,2	0,3

З табл. 4 видно, що середня відносна різниця між оцінками вірогідності проводки судна по обох моделях складає 0,3 %, що підтверджує правомірність оцінки вірогідності проводки судна по обмеженому маршруту моделлю із застосуванням одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення.

**Науковим результатом рішення третьої допоміжної задачі** стало створення імітаційного способу кількісної оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою комп'ютерною програми, реалізованій у координатному середовищі на електронній карті.

Подальше рішення головної задачі дослідження – розробка програми кількісної оцінки безпеки судноводіння адаптованою до ЕКНІС з урахуванням точності проводки судна на стислому маршруті, яка містить етапи вибори оптимального маршруту представлена у вигляді програмного алгоритму:

Оцінка вірогідності безпеки судноводіння виконувалась по трьом законам розподілу, що підвищує вірогідність проходження маршрутом методом вибору максимуму  $P_i$

Критерієм безпечного проходження судна маршрутом є вірогідність проводки  $P$ , яка при вирішенні головної задачі обирається методом мінімакса. Необхідно набути мінімального значення  $P$  на максимальних значеннях по різним законам розподілу. При вирішенні задачі описаної наступним словесним алгоритмом:

- Початок;
- Крок 0. Задаються масиви меж області безпечної плавання  $G$  з електронної карти;
- Крок 1. Задається попередня траєкторія  $T_g$  в межах області безпечної плавання  $G$ ;
- Крок 2. Визначається мінімальне значення вірогідності  $P_i (i=1,3)$  по одному з трьох доступних законів розподілу;
- Крок 3. Якщо значення мінімальної вірогідності  $P_{\min} \geq 0,99$ , то прохід судна маршрутом ймовірно безпечний, на Крок 5;
- Інакше на Крок 4;
- Крок 4. Корегуються відхилення відрізків траєкторії в межах області безпечного плавання, якщо значення вірогідності набуло  $P_{\min} \geq 0,99$ , то прохід маршрутом ймовірно безпечний, якщо корегування траєкторії не дає  $P_{\min} \geq 0,99$ , то необхідно прийняти рішення утриматись від проходження маршрутом без додаткових заходів безпеки;
- Крок 5. Вивід на друк;
- Кінець.

**Науковим результатом рішення головної задачі** стало розробка методу для створення комп'ютерної програми оптимізації кількісної оцінки безпечного судноводіння шляхом моделювання руху у координатному середовищі ЕКНІС, яка залежить від точності проводки судна стислим маршрутом, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання з необхідними умовами присутності функціонального обладнання ЕКНІС та достатніми умовами володіння статистики кількісної векторіальної похибки аварійності у заданому районі.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 8, 9, 10, 13, 18].

## ВИСНОВКИ

У роботі поставлена і вирішена важлива науково - прикладна задача зниження небезпеки судноводіння у стислих умовах плавання шляхом мінімізації ризиків, яке досягається на етапі планування маршруту.

1. Оцінка стану питання. Існує постійний запит від структур ММО що до мінімізації ризиків виникнення аварійної ситуації, забезпечення безаварійного судноводіння, та відсутність в існуючих вимогах до планування маршруту кількісної оцінки безпеки судноводіння, сприяло вибору теми - розробці способу апріорної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності провідки судна стислим маршрутом, яким слід користуватися на етапі планування переходу судна. Дана робота виконувалась в рамках наукових досліджень національного університету «Одеська морська академія» за темою «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» № ДР 0115U003580 (2017) та відповідає паспорту спеціальності 05.22.13, за напрямками досліджень 1, 2, 3, 4.

2. Формулювання вирішеної наукової задачі, її значення для науки і практики. Новизна результатів полягає у створенні комп'ютерної програми кількісної оцінки безпечного судноводіння шляхом моделювання руху у координатному середовищі ЕКНІС, яка залежить від точності провідки судна стислим маршрутом, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання з необхідними умовами присутності функціонального обладнання ЕКНІС та достатніми умовами володіння статистики кількісної векторіальної похибки аварійності. Порівняно та спрощено модель розрахунку апріорної вірогідності  $P$ , в якій задача формалізується з використанням одновимірної щільності похибки зносу судна. Різниця між векторіальною двомірною складала 0,02 – 0,6%. Сумарна різниця по вірогідностям  $P$ , по трьом законам складала 1-2%

3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Практична значимість роботи визначається тим, що результати дослідження можуть бути використані на судах для визначення безпечності маршруту, а також розробниками навігаційних інформаційних систем.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість апріорно визначити рівень безпеки судноводіння при плаванні стислим маршрутом, яким планується, та можливість знизити вплив негативних керованих факторів.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджуються коректною розробкою математичних моделей і їх застосуванням, як і проведеним імітаційним моделюванням.

6. Перспективні покращення результатів.

Дана програма апріорної оцінки безпечного судноводіння в залежності від точності провідки судна стислим маршрутом може надалі розвиватись за декількома напрямками: автоматизація моделювання, автоматизація вибору компенсацій зовнішніх факторів впливу на судно.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Казак Ю.В. Оценка векториальной погрешности поворота судна и минимизация ее величины / Ю.В. Казак, **В.В. Северин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.- техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ"ОМА". – С. 37 – 43.
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: науч. - 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: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ"ОМА". – С. 92 – 96.
5. 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.
6. Ворохобин И.И. Выражение плотности бокового отклонения судна от программной траектории движения при нормальном законе распределения / И.И. Ворохобин, **В.В. Северин** // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 56 - 59.
7. Ворохобин И.И. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения / И.И. Ворохобин, **В.В. Северин** // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 71 – 76.
8. Северин В.В. Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом/ В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С. 196 – 201.
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, **В.В. Северин** // 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. Опеделение 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. 34-37.

13. Северин В.В. Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом / В.В. Северин // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. - С. 94 -98.

14. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах/ И.И. Ворохобин, **В.В. Северин** // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014.- № 4 . - С. 119 - 126.

**Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

15. 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. 160-162.

16. 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.

17. Ворохобин И.И. Связь плотности погрешности бокового отклонения с плотностью векториальной позиционной погрешности/ И.И. Ворохобин, **В.В. Северин** // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса: ОНМА, 2016. – С. 58–59.

18. Северин В.В. Оценка вероятности проводки судна стесненным маршрутом альтернативными моделями / В.В. Северин // Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – С. 119 - 121.

19. 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 травня 2015, Херсон. – С.99-102.

20. 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. 139–142.

21. Северин В.В. Характеристики допустимой области плавания судна в стесненном районе / В.В. Северин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 133–136.

22. 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

**Северін В. В.** Розробка способу оцінки залежності безпеки судноводіння від точності проводки судна стислим маршрутом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом - Національний університет "Одеська морська академія", Одеса, 2019.

В роботі представлено математичну модель оцінки вірогідності безпечного плавання судна в обмежених умовах з урахуванням характеристик району плавання і застосуванням двовимірної щільності позиційної похибки. Розглянуто альтернативний спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання за допомогою одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна щодо програмної траєкторії руху судна в обмеженому районі. Одержаний в роботі вираз для вірогідності безпечного плавання враховує характеристику обмеженості району плавання, яка визначається безпечною областю плавання. Показана залежність вірогідності безпечного плавання від закону розподілу похибок бічного відхилення.

З метою оцінки вірогідності безаварійної проводки судна в заданому стислому районі розроблені процедури формалізації основних його параметрів. Одержано аналітичні вирази для оцінки обмеженості і зміщеності маршруту, заданого масивами точок безпечних меж і програмної траєкторії руху судна.

Проаналізовано вплив законів розподілу похибки бічного відхилення на вірогідність безпечної проводки судна стислим маршрутом. Для реалізації запропонованого способу оцінки вірогідності безаварійної проводки судна заданим маршрутом в стислих водах, що використовує модель одновимірної щільності похибки бічного відхилення була розроблена комп'ютерна програма, яка передбачає три варіанти завдання маршруту проводки судна, перший з яких дозволяє використовувати один з п'яти стандартних маршрутів. Два інших варіанти передбачають інтерактивне формування маршруту проводки, причому один з варіантів формування маршруту проводки передбачає використання електронної карти. За допомогою імітаційного моделювання проведено порівняння двовимірної і одновимірної моделей оцінки вірогідності проводки судна заданим маршрутом, в результаті якого одержаний висновок про ідентичність моделей.

На завершення роботи приведено опис формування завданого маршруту за допомогою електронної карти.

**Ключові слова:** безпека судноводіння, навігаційна аварійність, векторіальна позиційна похибка, двовірна щільність розподілу позиційної похибки, вірогідність безпечної проводки судна, імітаційне моделювання.

## ANNOTATION

**Severin V. V.** Development method of estimation of dependence of safety of navigation from exactness of navigating the ship by the constrained route. - Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences by specialty 05.22.13 - navigation and traffic control. - The National University "Odessa marine academy", Odessa, 2019.

In work, the mathematical model of estimation of probability of the safe sailing of ship is represented in the limited terms taking into account descriptions of sailing directions and application of closeness of position error. The alternative method of estimation of probability of the safe sailing by the closeness of distributing of error of lateral declination of ship in relation to the programming trajectory of motion of ship in the limited directions is considered. The expression got in work for probability of the safe navigating takes into account description of narrow-mindedness of sailing directions, which is determined by the safe region of sailing. Shown dependence of probability of the safe sailing on the law of distributing of errors of lateral or sideway declination.

With the purpose of estimation of probability of the accidental-free navigation in the directions set to straitened the developed procedures of formalization of basic his parameters. Influencing of laws of distributing of error of lateral declination on authenticity of the safe ship's navigation is considered the constrained route. For realization of the offered method of estimation of probability of the accident-free navigation of ship by the set route in constrained waters, which uses the model of closeness of error of lateral declination the computer program was developed. It foresees three variants of task of route of wiring of ship, first from which allows to use one of five standard routes. Two other variants foresee the interactive forming of route of wiring, thus one of variants of forming of route of wiring foresees the use of electronic chart. By the imitation design comparison of two models of estimation of probability of wiring of ship is conducted by the set route, as a result of which the got conclusion about the identity of models. Upon completion of work description of forming of the inflicted route by an electronic card is resulted.

The influence of the laws of the distribution of lateral deviation errors on the reliability of the safe navigation of the vessel by the constrained route is considered. To implement the proposed method of estimating the probability of an accident-free vessel posting by a specified route in constrained waters, a computer program was developed using a model of one-dimensional lateral deviation error density.

It provides three options for specifying the route of the vessel, the first of which allows you to use one of the five standard routes. Two other options provide interactive formation of the route of posting, and one of the options for forming the route of posting involves the use of an electronic chart.

The developed computer simulation program consisting of several modules allows you to perform the following tasks; with the help of the first module, the route formation of the vessel in the constrained navigation area is made; the choosing of the route of the vessel's posting with the help of an electronic map is made using the



third module of the simulation program. The paper proposes a more method for calculating a priori probability, in which the problem is formulated within the framework of a one-dimensional space using the one-dimensional error density of the lateral deviation of the vessel.

The permissible safe navigation area is given by an analytical description of its boundaries. Using simulation modeling, a comparison of two-dimensional and one-dimensional models for estimating the likelihood of a vessel to be navigated by a given route was made, as a result of which the conclusion obtained about model identity was obtained. For the practical application of the proposed method of estimating the likelihood of safe wiring of a vessel, it is necessary to form a real route of wiring a vessel in a restricted navigation area, which requires the use of electronic charts. At the end of the work, a description of the formation of the plotted route using an electronic chart is given.

A qualitative indicator of the research results is the ability to a priori determine the safety level of navigation when sailing on the constrained route that the ship is planned to carry out, and reduce the impact of negative controlled factors.

The reliability of the results of the thesis is confirmed by the correct development of mathematical models and their use, as well as the simulation carried out.

The practical significance of the work is determined by the fact that the results of the study can be used on ships to determine the safety of the route, as well as the developers of navigation information systems. The results obtained in the work, both theoretical and practical, can be used in the process of training and advanced training of navigators.

Practical results of the study were introduced by the private higher education institution "Institute of Postgraduate Education" for the training of navigators (act from 05/09/2018), the company "CMA SHIPS" for retraining of the company's ships (act of deployment from 09/09/2018), materials of dissertation research are used in educational the process at the Department of Court Management in the teaching of disciplines "Maneuvering and steering a vessel" (act from 17/09/2018).

**Keywords:** safety of navigation, navigation accident rate, vector's position error, closeness of distributing of position error, authenticity of the safe navigation, imitation design.

Підп. до друку 21.03.2019. Формат 60x84/16. Папір офсет.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.  
Тираж 100 пр. Зам. № И19-03-68

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