

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

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Сурінов Ігор Леонідович**

УДК 656.052.1-044.337(043.5)

**АНОТАЦІЯ**  
до дисертації на тему:  
**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ НАВІГАЦІЙНОГО ПЛАНУВАННЯ  
ШЛЯХУ СУДНА ПІД ЧАС ЛОЦМАНСЬКОГО ПРОВЕДЕННЯ**

Спеціальність 271 – Морський та внутрішній водний транспорт

Галузь знань 27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового  
ступеня доктора філософії

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



І. Л. Сурінов

(підпис)

Науковий керівник: **Мальцев Анатолій Сидорович**  
доктор технічних наук, професор

Одеса – 2023

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 14:22:48 23.11.2023

Назва файлу з підписом: Дисертація Сурінов.pdf.p7s  
Розмір файлу з підписом: 18.1 КБ

Перевірені файли:  
Назва файлу без підпису: Дисертація Сурінов.pdf  
Розмір файлу без підпису: 110.5 МБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Сурінов Ігор Леонідович  
П.І.Б.: Сурінов Ігор Леонідович  
Країна: Україна  
РНОКПП: 3548611797

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 15:22:46 23.11.2023

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг  
Серійний номер: 382367105294AF9704000000E42ABA00284A6801  
Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301  
Алгоритм підпису: ДСТУ-4145  
Тип підпису: Кваліфікований  
Тип контейнера: Підпис та дані в CMS-файлі (CAAdES)  
Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)  
Сертифікат: Кваліфікований

## АНОТАЦІЯ

**Сурінов І. Л. Удосконалення методики навігаційного планування шляху судна під час лоцманського проведення.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – Транспорт). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2023.

Ризик опинитися судну у форс-мажорних обставинах, коли діють певні навігаційні обмеження, коли неможлива присутність лоцмана на борту, при безпілотному функціонуванні судна тощо, дедалі існують у сучасному судноплаванні. Міжнародна морська організація (ММО) упорядкувала вимоги щодо планування шляху в рейсовому циклі морського судна. Аналіз інформаційних джерел і реальних планів лоцманського проведення морських суден показує, що найчастіше аварійні ситуації в акваторії порту, або у стиснених умовах плавання, спричинені не тільки помилковими діями операторів ходового містка, а і закладені вже на етапі підготовки процесу управління маневруванням, на етапі його організації – у зв'язку із недостатністю актуальної навігаційної інформації, відсутністю методики урахування інших чинників, що суттєво впливають на безпечне маневрування судна.

Аналіз різноманітних інформаційних джерел доводить про існуючий суттєвий розрив між складністю і можливостями сучасної інформаційно-керуючої техніки, і психологічними обмеженнями оператора як елемента ергатичної системи судна.

Відомо, що використання інноваційних технологій е-навігації стає **актуальним** і пріоритетним напрямком розвитку морського транспорту різного

типу і призначення, при цьому сучасна підготовка судноводіїв для роботи, наприклад, на автоматизованих суднах нового покоління та використання новітніх рішень з управління судном надає можливість безпечного проведення судна акваторією порту, проведення його у стиснених умовах плавання, при складному маневруванні.

Для зменшення можливості виникнення аварійних ситуацій під час лоцманського проведення у роботі запропоновано удосконалення методики побудови «Суднового плану лоцманського проведення», створеного за вимогами ММО. Мета удосконалення цього плану спрямована на підвищення рівня безпеки суден під час їх лоцманського проведення.

Для досягнення поставленої мети у роботі удосконалено систему підтримки прийняття рішення (СППР) у частині використання навігаційної системи OpenCPN. Це удосконалення здійснено за допомогою урахування і уведення в розрахунки шляхових точок плану маневрених характеристик судна, особливостей геометричного розташування елементів порту, погодних умов плавання, впливу буксирів на процес руху судна, а також удосконалення процедур обміну інформацією між локальними елементами складної системи управління маневруванням (судно – лоцман – капітан буксиру – системи управління рухом судна). Використання запропонованих рішень під час побудови удосконаленого плану здійснюється за допомогою інтегрування до системи OpenCPN створеного додатку – комп'ютерного плагіну, який отримав назву «Path Planning IS».

Верифікація запропонованої методики планування координат шляху траєкторними точками (ТТ) за допомогою шляхових точок (ШТ), включаючи криволінійні ділянки руху, а також управління рухом за ними, проведена імітаційним моделюванням та під час спостережень навігаційними засобами заходу/виходу суден (порт Чорноморськ). Результати моделювання і спостережень показали, що рекомендований удосконаленою методикою шлях судна забезпечує безаварійне його проведення по заданій плановій лінії, яка

побудована з урахуванням геометрії порту, існуючих характеристик гальмування і поворотності судна, включаючи планування криволінійних відрізків шляху і відповідає критеріям безпеки судноплавства.

Базуючись на попередніх дослідженнях стану аварійності в портових та припортових водах, **запит практики** обґрунтовується наступним чином: а) необхідність забезпечення зниження аварійності у стиснених умовах плавання; б) необхідність забезпечення зниження впливу людини на управління судном при маневруванні в стиснених умовах; в) необхідність забезпечення можливості автоматизованого управління судном при його русі в стиснених умовах.

**Об'єктом дослідження** є процеси маневрування морських суден під час лоцманського проведення та руху у стиснених умовах плавання. **Предметом дослідження** є удосконалення методики планування шляху судна під час його лоцманського проведення та в стиснених умовах плавання.

**Головним завданням** дослідження є розроблення методики, що удосконалює оперативне планування шляху судна траєкторними точками для навігації і контролю його руху в стиснених умовах плавання.

Головне завдання дослідження розділено на три допоміжні науково-технічних задачі.

**Перше** – розроблення автоматизованого складання (побудови) «Суднового плану лоцманського проведення» у стиснених умовах плавання, придатного для практичної навігації.

**Друге** – визначення впливу особливостей акваторії порту, буксирів і суден з різноманітними паливними системами і їх характеристик на принципову можливість використання цих додаткових даних при автоматизованій побудові плану лоцманського проведення.

**Третє** – верифікація удосконаленого «Суднового плану лоцманського проведення» та розробка перспектив подальшого його розвитку і розширеного використання на практиці.

**Метою дослідження** є забезпечення безпечного маневрування та зниження впливу людського фактору на управління судном в стиснених умовах плавання.

У роботі висунута **наукова гіпотеза**, яка виходить із *можливості* забезпечення безпечного маневрування судна в стиснених умовах плавання, зниження впливу людського фактору на управління судном *за рахунок* використання удосконаленого суднового плану лоцманського проведення та автоматизованого планування координат шляху судна.

Сформульовано **наукове положення**, яке визначає, що безпека процесу маневрування у стиснених умовах забезпечується використанням оперативних способів визначення параметрів руху і контролю параметрів процесу управління судном у реальному часі за плановими значеннями руху.

Узагальнений алгоритм виконання дисертації заснований на використанні загальних принципів методології наукових досліджень, що дозволило запропонувати порядок вирішення допоміжних задач, і включає розроблення удосконалених і нових теоретичних моделей планування координат руху, їх верифікацію за натурними випробуваннями, оцінки адекватності запропонованих рішень реальним процесам управління судном.

Показано, що процедура організації інформаційних зв'язків між елементами системи управління маневруванням для безпечного лоцманського проведення у більшості портів включає обмежене використання е-навігаційних елементів. У роботі запропоновано удосконалити систему планування руху судна і процес організації багатооператорного управління складною системою маневрування при обміні інформацією між учасниками процесу маневрування (судно – лоцман – буксири та берегова служба контролю руху).

Отримані результати досліджень пропонується використати для навігації при проходженні суден стисненими водами та акваторією порту при участі лоцмана або без нього, що експериментально доведено і підтверджує їх практичну значущість.

**Перше допоміжне завдання** – автоматизоване складання «Суднового плану лоцманського проведення», придатного для навігації у стиснених умовах плавання, включає: огляд і аналіз наукових праць з маневрування суден під час проходження акваторією порту; побудову уточненої моделі планування траєкторії руху центру тяжіння (ЦТ) судна за допомогою матриць траєкторних точок (ТТ) на основі шляхових точок (ШТ) та оперативного контролю руху по ній; розроблення методики навігаційного планування шляху, придатної для подальшого автоматизованого планування при русі суден у стиснених умовах з урахуванням вимог ММО.

Основні елементи запропонованої методики навігаційного планування шляху судна під час лоцманського проведення підтверджені деклараційними патентами України та опубліковані у закордонних наукових виданнях, що індексуються у наукометричних базах *Scopus* та *Web of Science*.

**Друге допоміжне завдання** – визначення впливу особливостей акваторії порту, буксирів і суден з різноманітними паливними системами на можливість використання при побудові автоматизованого плану лоцманського проведення, вирішується у три етапи:

– проведення аналізу існуючих систем підтримки прийняття рішень у системі *OpenCPN* та розроблення доповнення (плагіну) до функціонування системи *OpenCPN*;

– аналіз процедур маневрування суден (порт Чорноморськ);

– удосконалення навчальної методики навігаційної підготовки команди містка при плануванні і виконанні маневрування при портових морських операціях, включаючи управління їх складними багатооператорними системами.

Вирішення цього завдання доводить, що практичне використання пропонованого плагіну до системи *OpenCPN* підвищує якість функціонування багатооператорної системи управління маневруванням «лоцман – капітан судна – буксирне забезпечення – СУРС»: підвищуються оперативність планування траєкторії руху судна та однозначність команд управління. При цьому доведено, що впровадження розробленого плагіну у систему *OpenCPN* на судна різних типів і в лоцманську службу порту надає можливість знизити ризик виникнення передаварійної ситуації на судні.

Вирішення *третього допоміжного завдання* – верифікація удосконаленого «Суднового плану лоцманського проведення» та розроблення перспектив подальшого його розвитку, дозволило підтвердити практичну цінність використання удосконаленої методики виконання плану маневрування судна під час морських операціях.

Сукупність отриманих рішень, дозволила не тільки вирішити головне завдання дослідження з розроблення методики, що удосконалює оперативне планування шляху судна траєкторними точками для навігації і контролю його руху в стиснених умовах плавання, а і рекомендувати пропоновану методику для практичного судноводіння в стиснених умовах плавання. Отримані результати підтверджують дієвість удосконаленої методики, доводять можливість проведення судна у стиснених умовах без фізичної присутності лоцмана на борту при подальшому їх розвитку.

Додатково ці твердження доведені натурними випробуваннями у порту Клайпеда (Литва), а також виконанням імітаційного моделювання на тренажерному комплексі НУ «ОМА».

**Наукова новизна** отриманих результатів дисертації полягає у пропонуванні методики розрахунку координат траєкторії шляху маневрування судна в стиснених умовах плавання за допомогою таблиці шляхових точок, даних про характеристики поворотності судна і геометрії акваторії для маневрування у вигляді матриць траєкторних точок, що дозволяє знизити ризики



виникнення аварійних ситуацій через непорозуміння між лоцманом та капітаном судна, підвищити якість контролю за рухом судна, а також організувати безпечне проходження припортовою акваторією, територією порту та фарватером або каналом.

У дослідженні захищаються наступні наукові результати:

– **уперше запропоновано** здійснювати планування координат руху судна, яке відрізняється від відомого рішення використанням додаткової математичної обробки траєкторних точок за таблицями шляхових точок з формулюванням рекомендацій з управління при маневруванні, що у сукупності забезпечує більш безпечне проходження судна у стиснених умовах плавання;

– **удосконалено методику** побудови «Суднового плану лоцманського проведення», яка відрізняється від відомої впровадженням у електронну картографічну навігаційно-інформаційну систему судна додаткового плагіну, використання якого дозволяє урахувати при побудові плану динамічні характеристики судна;

– **удосконалено методику** планування координат траєкторії руху судна при маневруванні у стиснених умовах, яка: 1) ураховує обмін інформацією (лоцман – капітани – СУРС); 2) забезпечує завчасну передачу рекомендованого шляху проходу судна у вигляді уточнених шляхових точок; 3) оброблює та перераховує актуальний маршрут у координати траєкторних точок; 4) ураховує вплив типу палива на можливості маневрування; 5) здійснює контроль за рухом судна за координатами траєкторних точок;

– **отримала подальший розвиток методика** визначення координат судна при його маневруванні у стиснених умовах, яка відрізняється оперативним визначенням допустимого куту зсуву, що дозволяє завчасно скорегувати курс для виходу на лінію заданого безпечного шляху при існуючих погодних умовах.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у розробленні методики планування координат безпечного шляху слідування судна в

стиснених умовах та автоматизованого контролю за маневруванням за маршрутом згідно з рекомендаціями ММО.

### **Результати дослідження впроваджені:**

– у дослідний процес маневрування судном «Nordic Luebeck» під час виходу судна із порту Клайпеда (Литва) без присутності лоцмана на борту судна (акт впровадження від 08.03.2021);

– при розрахунках параметрів циркуляції судна «Nordic Luebeck», залежно від завантаження судна та його швидкості під час виконання маневру (акт впровадження від 15.05.2021);

– під час спостереження, аналізу і систематизації процесів маневрування суден у порту Чорноморськ за період з 07.10.2020 до 03.06.2023 включно (акт впровадження від 03.07.2023);

– на тренажерному комплексі «Центру підготовки та атестації плавскладу» НУ «ОМА», де верифіковано плагін «Path Planning IS» до існуючої системи е-навігації (акт впровадження від 05.07.2023);

– у складову частину звіту за НДР № 0123U101463 кафедри «Управління судном» НУ «ОМА» за 2022-2023 роки за темою «Удосконалення методів управління та експлуатації суден» (акт впровадження від 26.09.2023);

– у навчальну дисципліну «Управління ресурсами навігаційного містка» кафедри «Управління судном» Навчально-наукового інституту навігації НУ «ОМА» (акт впровадження від 27.09.2023) та у вигляді навчального посібника «Маневрування суден під час розходження» (акт впровадження від 14.06.2023).

**Ключові слова:** морське судноплавство, безпека навігації, кібер-безпека, енергоефективність суден, система підтримки прийняття рішень, план управління, координати судна, електронна навігація, моделювання, теорія керування, контроль процесу управління, траєкторні точки, рекомендації.

Основні наукові результати дисертаційних досліджень опубліковані в наступних працях.

### Статті у наукових фахових виданнях

1. **Surinov I.** Comparison of emergency situations during ships' navigation under extreme conditions. Науково-технічний збірник «Судноводіння». – 2021. – №32. – С. 103–110.

<https://doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.103-110>, видання кат. Б.

2. **Surinov I.**, Shemonayev V. New opportunities for seafarers owing to reduction emission and arising the number of Dual fuel vessels, 2021, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 915, 012029.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012029>, Scopus.

3. **Surinov I.** Algorithms and Calculation Scheme for Planning the Way of Movement of Trajectory Point During Maneuvering for Anchoring / Surinov. // TransNav 2021. – 2021. – № 15. – С. 629–638.

<http://dx.doi.org/10.12716/1001.15.03.18>, Scopus, Web of Science.

4. Maltsev A., **Surinov I.** (2021). Improving the navigational preparation of a bridge crew for entering/leaving a port, including activities in case of emergency . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(3 (111), 42–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>, Scopus.

5. **Surinov I.** Formality model of chosen appropriate tug's service by method of balance handling forces / **I. Surinov**, O. Mazur, O. Onishchenko // Water Transport: Collection of scientific works. – 2022. – №3(35). – С. 140 – 152.

<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.18>., видання кат. Б.

6. **Surinov I.**, Shumilov D.. Cybersecurity of the Processes of Manoeuvring in Confined Waters. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 3, pp. 723-732, 2023.

<https://doi.org/10.12716/1001.17.03.25>, **Scopus, Web of Science.**

### **Публікації, які додатково відображають основні наукові результати**

7. **Surinov I.** The way to improve the accuracy of control of maneuvering of the vessel by assessing the abscissa of the center of gravity. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences VIII (29), Issue:238. – 2020. – Pp. 58-62. <http://dx.doi.org/10.31174/SEND-NT2020-238VIII29-14>.

8. **Surinov I.** Influence of the hydrometeorological mode in the port of Chornomorsk on the safety of navigation. Науково-технічний збірник «Судноводіння». – 2020. – № 30. – С. 124–134. – Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.31653/2306-5761.30.2020.124-134>.

9. **Surinov I.**, Shemonayev V., Kazak Y. Information support of operator activity in organizing the tug service. Науково-технічний збірник «Судноводіння». – 2021. – № 32. – С. 95-102. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.95-102>.

10. **Surinov I.** Studying the impact of proper crew trainings and safety procedure during LNG bunkering. Advanced materials proceedings. – 2023. – Vol. 8, no. 1. – P. 1-7. <https://doi.org/10.5185/amp.2023.5582.1004>.

11. **Surinov I.** Method of ensuring safe planning and control when maneuvering due to enter and leave the port. Science, research, development. Technics and Technology. – 2020. – № 34. – Pp. 51-54.

12. Shemonayev V., **Surinov I.** Ship crew management in emergency on the example of a shipping company. Науково-технічний збірник «Судноводіння». – 2021. – №32. – С. 111-119. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.111-119>.

## Патенти на корисну модель

**13. Патент на корисну модель 150310 UA. МПК G08G 3/02 (2006.01).**  
Мальцев А. С., Сінюта К. О., **Суринов І. Л.** Система оперативного динамічного позиціонування судна при маневруванні в стиснених водах. Заявник Мальцев Анатолій Сидорович, Сінюта Катерина Олександрівна, Суринов Ігор Леонідович.  
- № u 2021 53064 . заявлено 20/09/2021, опубліковано 23.12.2021 р.

**14. Патент на корисну модель 151907 (51) МПК G08G 3/02 (2006.01).**  
Система визначення навігаційних ризиків рейсового циклу та управління їх рівнем (Мальцев А. С., **Суринов І. Л.**, Шумілова К. В.) Заявник Національний університет «Одеська морська академія». – № u 2022 01850; заявлено 01.06.2022; опубліковано 28.09.2022, Бюл. № 39.

**15. Патент на корисну модель МПК B63H25/00 G05D1/00.** Спосіб навігаційної підготовки та управління маневруванням судна при заході/виході з порту (Мальцев А. С., Суринов І. Л.) Заявник Національний університет «Одеська морська академія». – № a202104599; заявлено 09.08.2021; опубліковано 08.12.2021, Бюл. № 49/2021.

## Апробаційні публікації

**16. Суринов І. Л., Варбанець Т. В.** Гідрометеорологічне забезпечення плавання в Північній Атлантиці в зимовий період. Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». – 2017. – С. 64-65.

17. **Суринов І. Л.,** Костиця О. В. Конвенція із захисту Чорного моря від забруднення. Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». – 2017. – С. 67-68.

18. **Суринов І. Л.,** Костиця О. В. Правове регулювання приходу, стоянки та відходу суден в порту Чорноморськ.. Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». – 2018. – С. 44-46.

19. **Суринов І. Л.,** Мальцев А. С. Аналіз аварійності в морському порту «Чорноморськ». Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». – 2019. – С. 146-148.

20. Мальцев А. С., **Суринов І. Л.** Динамічне позиціонування вісі буру якірною системою платформи способом негативного вектору зсуву. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT-2020). – 2020. – С. 73-76.

21. **Суринов І.** Аналіз міжнародних конвенцій з навігаційних операцій. Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». – 2020. – С. 86-87.

22. **Суринов І. Л.** Вплив гідрометеорологічного режиму в порту «Чорноморськ» на безпеку судноплавства. Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». – 2020. – С. 88-90.

23. **Surinov I.** Optimization of planning during proceeding to the anchorage using path points. International Conference on Science and Technology «Navigation, Shipping and Technology». – 2021. – №1. – С. 25-29. <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ISCT-NST-novyjSformuloj.pdf>.

24. **Surinov I.**, Shemonayev V. Calculation scheme and algorithms for planning the proceeding plan of trajectory point during maneuvering for anchoring. International Conference on Science and Technology «Navigation, Shipping and Technology». – 2021. – №1. – С. 47-51. <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ISCT-NST-novyjSformuloj.pdf>.

25. **Surinov I.**, Syrotiuk M.. Marine accidents prevention. Міжнародна науково-технічна конференція «Судноводіння, морські технології та перевезення». – 2021. – С. 69-73.

26. Maltsev A., **Surinov I.**, Shumilova K. Selection of waypoints for planning the ship's voyage cycle. International scientific innovations in human life. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Manchester, United Kingdom. – 2022. – С. 230-242. <https://sci-conf.com.ua/xi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-international-scientific-innovations-in-human-life-11-13-maya-2022-goda-manchester-velikobritaniya-arhiv/>.

27. **Surinov I.** Influence of meteorological factors and sea condition to port facilities. Conference ECSA, № 59. – 2022.

<https://www.estuarinecoastalconference.com/conference-program.html>.

## ABSTRACT

***Surinov I.L. Improvement of the navigational method of the ship's route planning during pilotage*** – Qualification scientific work with manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 271 – “Sea and inland water transport” (field of knowledge 27 – Transport). – National University “Odesa Maritime Academy”, Odesa, 2023.

The risk of being a vessel in force majeure, when there are certain navigation restrictions, when the presence of a pilot on board, with unmanned the vessel, etc., exist in modern navigation. The International Maritime Organization (IMO) has streamlined the requirement regarding of the vessel’s voyage planning. However, our review and analysis of literary sources and actual plans for pilotage of marine vessels in different countries of the world on the topic of accidents during pilotage in port waters or in confined waters showed that emergency situations, caused by the actions of individuals, the predominant among which are organizational errors of bridge operators’ groups during the preparation of the manoeuvring process and its organization.

Analysis of various information sources also proves the existing significant gap between the complexity and capabilities of modern information-quality technology and the psychological restrictions of the operator as an element of the ergastic system of the vessel.

It is known that the use of innovative technologies of e-navigation becomes a **relevant and priority** area of development of maritime transport of different types and purpose, with the modern preparation of navigators for work, for example, on automated vessels of new generation, and the use of the latest solutions to management of the vessel, provides a safe conduct vessels with a water area of the port, carrying it out in constraint waters, with complex manoeuvring.



In order to reduce the possibility of emergencies during the pilotage conducting in the work, it is proposed to improve the method of preparation a «Vessel pilot passage plan», created according to the requirements of the IMO. The purpose of improving this plan is aimed at improving the safety of vessels during the pilotage.

In order to achieve the set goal, the Decision Support System (DSS) was improved in the work in terms of the use of the OpenCPN navigation system. This improvement was carried out by taking into account and introducing into the calculations the waypoints of the plan using the maneuvering characteristics of the ship, the peculiarities of the geometric arrangement of the port elements, weather conditions, the impact of tugs on the movement process, as well as a new method of information exchange between local elements of the complex ship maneuvering control systems (Vessel – Pilot – tug captain – Vessel Traffic System (VTS)). The use of the proposed solutions when preparing an improved plan is carried out by integrating the created computer plug-in called «Path Planning IS» into the OpenCPN system.

Verification of the proposed method of planning the coordinates of the path by trajectory points (TP) with the help of waypoints (WP), including curvilinear traffic sections, as well as traffic control after them, was carried out by simulation modeling and during observations by navigational means of inbound/outbound vessels (port of Chornomorsk). The results of simulations and observations showed that the ship's path recommended by the improved methodology ensures its accident-free passage along the given planned line, which is prepared taking into account the geometry of the port, the existing characteristics of braking and turning of the ship, including the planning of curved sections of the path and meets the criteria of navigation safety.

Based on previous studies of the accidents' state in port and near-port waters and analysis of their dynamics, the **request for practice** is substantiated as follows:

1. The need to ensure the reduction of accidents in confined navigation conditions.
2. The need to ensure a reduction in human influence on ship's handling during maneuvering in confined navigation conditions.

3. The need to ensure the possibility of automated control of the vessel during its movement in compressed confined navigation conditions.

**The object of the study** is the processes of marine vessels maneuvering under pilot control and movement in confined navigation conditions. **The subject of research** is the improvement of the methodology of planning the vessel's route during pilotage and in confined navigation conditions.

**The main task** is to develop methods of operational planning of the vessel's route for navigation purposes of the trajectory points for navigation and control of its movement in confined navigation conditions.

The main task is divided into three auxiliary tasks:

1. development of automated compilation (construction) of the «Vessel pilot passage plan» in confined navigation conditions, used to navigation;

2. determination of the influence of the features of the port water area, tugboats and vessels with various fuel systems and their characteristics on the principal possibility of using these additional data in the automated construction of the pilotage plan;

3. verification of the improved «Vessel pilot passage plan» and the development of prospects for its further improvement and expanded use in practice.

**The purpose of the study** is to ensure safe maneuvering and reduce the influence of the human factor on ship control in confined navigation conditions

The proposed **scientific hypothesis**, which is based on the possibility of ensuring safe maneuvering of the vessel in confined navigation conditions, reducing the influence of the human factor on the control of the vessel through the use of an improved vessel plan for pilotage and automated planning of the coordinates of the vessel's route, was confirmed in the dissertation research.

The **scientific position** has been formulated, which determines that the safety of the maneuvering process in confined navigation conditions is ensured by the use of

operational methods for determining the movement parameters and controlling the parameters of the ship handling process in real time, according to their planned value.

The generalized algorithm for carrying out scientific research made it possible to propose a procedure for solving auxiliary problems and includes the development of new theoretical models for planning maneuvering coordinates and their verification during tests in situ to check adequacy.

The information processing procedure between the elements of the maneuvering control system for safe pilotage in many ports does not include the use of E-navigation elements. The paper proposes the optimization of both the planning system itself and the entire process of organizing multi-operator control of a complex maneuvering system during the exchange of information between the maneuvering participants (vessel – Pilot – tugboat and coastal vessel traffic service).

The obtained research results are used for navigation during the passage of the vessel's passage through confined waters and the port water area with or without the participation of a pilot, which was experimentally proven and confirms their practical significance.

***The first auxiliary task*** – development of automated compilation (construction) of the «Vessel pilot passage plan» in confined navigation conditions, used to navigation, includes: a review of scientific works on maneuvering ships while passing through the port's water area; construction of a high-accuracy model for planning the trajectory of the vessel's CG movement using TP matrices by the WP method and operational control of navigation along it using the DSS; development of an automatic algorithm for navigational planning of the route and calculation schemes for computer planning and operational control of navigation along it when entering/exiting in/out of the port in accordance with the requirements of the IMO.

The main elements of the proposed method of navigational planning of the ship's path during pilotage are confirmed by declaratory patents of Ukraine and published in foreign scientific collections with the Scopus and Web of Science indexes.

***The second auxiliary task*** – determination of the influence of the features of the port water area, tugboats and vessels with various fuel systems and their characteristics on the principal possibility of using these additional data in the automated construction of the pilotage plan was carried out in three stages:

- analysis of existing Decision Support Systems in the OpenCPN system, and development of a supplement (plugin) to the functioning of the OpenCPN system;
- analysis of vessel maneuvering procedures (port of Chornomorsk);
- improvement of training methods for navigational training of the bridge team during planning and execution of maneuvering during sea operations of entering and leaving the port, including control of complex multi-operator systems.

Solving this task proves that the practical use of the proposed plug-in to the OpenCPN system increases the quality of operation of the multi-operator maneuvering control system «Pilot – Master – towing support – VTS»: the efficiency of planning the ship's trajectory and the ambiguity of control commands increase. At the same time, it has been proven that the introduction of the developed plug-in into the OpenCPN system for various vessels and the pilotage service of the port provides an opportunity to reduce the risk of a pre-accident situation of the vessel.

***The solution of the third auxiliary task*** – verification of the improved «Vessel pilot passage plan» and the development of prospects for its further improvement and expanded use in practice, made it possible to confirm the developed methodology for the execution of the inverse planning scenario of maneuvering during sea operations of the vessel.

The set of solutions obtained allowed not only to solve the main research task of developing a methodology that improves the operational planning of the ship's route with trajectory points for navigation and control of its movement in confined navigation conditions, but also to recommend the proposed methodology for practical navigation in confined navigation conditions. The obtained results confirm the

effectiveness of the improved methodology, prove the possibility of conducting the vessel in confined navigation conditions without the physical presence of the pilot on board during its further development.

In addition, these statements are proven by field tests in the port of Klaipėda (Lithuania), as well as by simulation simulations at the NUOMA training complex.

**The scientific novelty** of the dissertation results consists of the development of an electronic function for calculating the trajectory coordinates of the vessel's maneuvering in confined areas of navigation using the WP table, data on the characteristics of turning and the water area geometry for maneuvering in the form of TP matrices, which allows to reduce the risks of accident situations due to misunderstandings between the Pilot and the Master, to improve the quality of control over the maneuvering of the vessel, as well as to organize safe passage through the port water area, the port territory and the fairway or channel.

The following results were achieved in the dissertation research:

- **for the first time**, it is proposed to plan the coordinates of the movement of the vessel, which differs from the known solution by using additional mathematical processing of trajectory points according to waypoint tables with the development of management recommendations during maneuvering, which in total ensures a safer passage of the vessel in confined navigation conditions;
- the **method** of preparation the «Vessel pilot passage plan» **has been improved**, which differs from the known one by introducing an additional plug-in into the ship's electronic cartographic navigation and information system, the use of which allows you to take into account the dynamic characteristics of the vessel when preparing the plan;
- the **method** of planning the coordinates of the vessel's trajectory during maneuvering in confined waters **has been improved**, which: 1) takes into account the exchange of information (pilot – captains – VTS), 2) ensures the early transmission of the recommended passage path of the ship in the form of specified waypoints, 3) processes and lists the actual route in the coordinates of the trajectory points, 4) takes

into account the influence of the fuel type on maneuverability; 5) controls the movement of the vessel according to the coordinates of the trajectory points;

- the **method** of determining the ship's coordinates during its maneuvering in confined navigation conditions **received further developed**, which is distinguished by the operational determination of the permissible angle of deviation, which allows to change the course to enter the line of a given safe route under existing weather conditions.

**The practical significance** of the obtained results lies in the development of methods of planning the coordinates of a safe route of following the ship in confined conditions and automatic control of maneuvering along the route in accordance with the recommendations of the IMO.

**The results of the study were implemented:**

- in the process of maneuvering the vessel «Nordic Luebeck» during the departure of the vessel from the port of Klaipėda (Lithuania) without the presence of a pilot on board the vessel (implementation act dated 08.03.2021);
- for calculations of the vessel's circulation parameters depending on the vessel's loading and its speed during the maneuver, including the anchoring of the vessel «Nordic Luebeck» (implementation act dated 05.15.2021);
- during radar monitoring of the navigation of 500 ships to/from berths in the port of Chornomorsk using AIS data through the Marine Traffic program in the period from 07.10.2020 to 03.06.2023, which were analysed and systematized (implementation act dated 03.07.2023);
- at the simulation centre of the NUOMA sub-division – the Institute of Postgraduate Education «Training and Certifying Centre of Seafarers», where the «Path Planning IS» program was successfully verified in November, December 2022 under the leadership of senior lecturer Viktor Pernikosa, the trainees are the NUOMA cadets of the third, fourth and

fifth years of education, where 30 experiments were conducted (implementation act dated 05.07.2023);

- in the component part of the report of scientific research work No. DR 0123U101463 of the «Ship Handling» department of NUOMA for 2022-2023 on the topic «Improving the methods of management and operation of ships» (implementation act dated 26.09.2023);
- implemented in the educational discipline «Management of navigation bridge resources» of the «Ship Handling» department of the Educational and Scientific Institute of Navigation of NUOMA (implementation act dated 27.09.2023).
- and in the form of a training manual «Maneuvering vessels during collision avoidance» (implementation act dated 14.06.2023).

**Key words:** *maritime shipping, safety of navigation, cyber-security, energy efficiency of ships, decision support system, management plan, ship coordinates, e-navigation, modeling, control theory, steering process control, trajectory points, recommendations.*

The main scientific results of dissertation research are published in the following works:

### **Articles in specialized scientific publications**

1. **Surinov I.** Comparison of emergency situations during ships' navigation under extreme conditions / I. Surinov // Scientific and technical proceedings «Navigation». – 2021. – №32. – Pp. 103–110. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.103-110>.

2. **Surinov I.**, Shemonayev V. New opportunities for seafarers owing to reduction emission and arising the number of Dual fuel vessels, 2021, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 915, 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012029>, **Scopus**.

3. **Surinov I.** Algorithms and Calculation Scheme for Planning the Way of Movement of Trajectory Point During Maneuvering for Anchoring / Surinov. // TransNav 2021. – 2021. – № 15. – Pp. 629–638. <http://dx.doi.org/10.12716/1001.15.03.18>, **Scopus, Web of Science**.

4. Maltsev A., **Surinov I.** (2021). Improving the navigational preparation of a bridge crew for entering/leaving a port, including activities in case of emergency . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(3 (111), 42–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>, **Scopus**.

5. **Surinov I.** Formality model of chosen appropriate tug's service by method of balance handling forces / **I. Surinov**, O. Mazur, O. Onishchenko // Water Transport: Collection of scientific works. – 2022. – №3(35). – Pp. 140 – 152. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.18>.

6. **Surinov I.**, Shumilov D.. Cybersecurity of the Processes of Manoeuvring in Confined Waters. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 3, pp. 723-732, 2023. <https://doi.org/10.12716/1001.17.03.25>, **Scopus, Web of Science**.

### **Publications that additionally reflect the main scientific results**

7. **Surinov I.** The way to improve the accuracy of control of maneuvering of the vessel by assessing the abscissa of the center of gravity. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences VIII (29), Issue:238. – 2020. – Pp. 58-62. <http://dx.doi.org/10.31174/SEND-NT2020-238VIII29-14>.



8. **Surinov I.** Influence of the hydrometeorological mode in the port of Chornomorsk on the safety of navigation / I. Surinov. // Scientific and technical proceedings «Navigation». – 2020. – №30. – Pp. 124–134. – Available at: <http://dx.doi.org/10.31653/2306-5761.30.2020.124-134>.

9. **Surinov I.** Information support of operator activity in organizing the tug service / I. Surinov, V. Shemonayev, Y. Kazak. // Scientific and technical proceedings «Navigation». – 2021. – №32. – Pp. 95–102. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.95-102>.

10. **Surinov I.** Studying the impact of proper crew trainings and safety procedure during LNG bunkering. Advanced materials proceedings. – 2023. – Vol. 8, no. 1. – P. 1-7. <https://doi.org/10.5185/amp.2023.5582.1004>.

11. **Surinov I.** Method of ensuring safe planning and control when maneuvering due to enter and leave the port. Science, research, development. Technics and Technology. – 2020. – № 34. – Pp. 51-54.

12. Shemonayev V. Ship crew management in emergency on the example of a shipping company / V. Shemonayev, I. Surinov. // Scientific and technical proceedings “Navigation”. – 2021. – №32. – Pp. 111–119. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.111-119>.

### **List of patents that protect scientific innovation**

13. **Patent 150310 UA. MIIK G08G 3/02 (2006.01).** Maltsev A., Sinyuta K., Surinov I. System of operational dynamic positioning of the vessel when maneuvering in confined waters. The applicants: Maltsev A., Sinyuta K., **Surinov I.** - № u 2021 53064 . stated 20/09/2021, published 23.12.2021.

14. **Patent 151907 (51) MIIK G08G 3/02 (2006.01).** The system for determining the navigational risks of the voyage cycle and control their level. / Maltsev

A., **Surinov I.**, Shumilova K. The applicant: National University «Odessa Maritime Academy». – № u 2022 01850; stated 01.06.2022; published 28.09.2022, Bul. № 39.

15. **Patent for an invention MIIK B63H25/00 G05D1/00.** The method of navigation preparation and ship maneuvering control when entering/exiting into/from the port. / Maltsev A., **Surinov I.** The applicant: National University «Odessa Maritime Academy». – № a202104599; stated 09.08.2021; published 08.12.2021, Bul. № 49/2021.

### **Approbation of dissertation materials**

16. **Surinov I.** Hydrometeorological support for navigation in the North Atlantic in winter / I. Surinov, T. Varbanets. // Materials of the scientific and technical conference «Transport technologies (sea and river fleet): infrastructure, shipping, transportation, automation». – 2017. – Pp. 64–65.

17. **Surinov I.** Convention on the protection of the Black Sea from pollution / I. Surinov, O. Kostyrya. // Materials of the scientific and technical conference «Transport technologies (sea and river fleet): infrastructure, shipping, transportation, automation». – 2017. – P. 67–68.

18. **Surinov I.** Legal regulation of the arrival, berthing and departure of ships in the port of Chornomorsk / I. Surinov, O. Kostyrya. // Materials of the scientific and technical conference «Transport technologies (sea and river fleet): infrastructure, shipping, transportation, automation». – 2018. – P. 44–46.

19. **Surinov I.** Accident analysis in the seaport of Chornomorsk / I. Surinov, A. Maltsev. // Materials of the scientific and technical conference «Transport technologies (sea and river fleet): infrastructure, shipping, transportation, automation». – 2019. – P. 146–148.

20. Maltsev A. Dynamic positioning of the drill axis by the anchor system of the platform using the negative deviation vector method / **I. Surinov**, A. Maltsev. //

Materials of the XII International scientific and practical conference «Modern information and innovative technologies in transport» (MINTT-2020). – 2020. – P. 73–76.

21. **Surinov I.** Analysis of international conventions on navigational operations / I. Surinov. // Materials of the scientific and technical conference «Transport technologies (sea and river fleet): infrastructure, shipping, transportation, automation». – 2020. – P. 86–87.

22. **Surinov I.** The influence of the hydrometeorological regime in the seaport of Chornomorsk on the safety of navigation / I. Surinov. // Materials of the scientific and technical conference “Transport technologies (sea and river fleet): infrastructure, shipping, transportation, automation”. – 2020. – Pp. 88–90.

23. **Surinov I.** Optimization of planning during proceeding to the anchorage using path points. International Conference on Science and Technology «Navigation, Shipping and Technology». – 2021. – №1. – C. 25-29. <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ISCT-NST-novyjSformuloj.pdf>.

24. **Surinov I., Shemonayev V.** Calculation scheme and algorithms for planning the proceeding plan of trajectory point during maneuvering for anchoring. International Conference on Science and Technology «Navigation, Shipping and Technology». – 2021. – №1. – C. 47-51. <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ISCT-NST-novyjSformuloj.pdf>.

25. **Surinov I.** Marine accidents prevention / I. Surinov, M. Syrotiuk. // International Scientific and Technical Conference “Navigation, Marine Technologies and Transportation”. – 2021. – P. 69–73.

26. Maltsev A., **Surinov I., Shumilova K.** Selection of waypoints for planning the ship's voyage cycle. International scientific innovations in human life. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Manchester, United Kingdom. – 2022. – C. 230-242. <https://sci-conf.com.ua/xi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya->

international-scientific-innovations-in-human-life-11-13-maya-2022-goda-manchester-velikobritaniya-arhiv/.

27. **Surinov I.** Influence of meteorological factors and sea condition to port facilities. Conference ECSA, № 59. – 2022. <https://www.estuarinecoastalconference.com/conference-program.html>.