

Національний університет «Одеська морська академія»
Міністерство освіти і науки України

Конон Наталія Миколаївна

АНОТАЦІЯ

до дисертації на тему:

«ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МАНЕВРУВАННЯ ВЕЛИКОТОННАЖНИХ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ У ПОРТОВИХ АКВАТОРІЯХ»

Спеціальність 271 – «Морський та внутрішній водний транспорт»

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Дисертація подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії, містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



(підпис)

Н.М. Конон

Науковий керівник:
Піпченко Олександр Дмитрович
д-р техн. наук, доцент

АНОТАЦІЯ

Конон Н.М. Підвищення безпеки маневрування великотоннажних контейнеровозів у портових акваторіях. – 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, 2024.

Сучасний запит практики вимагає підвищення безпеки судноплавства в умовах обмежених можливостей ефективного самостійного маневрування надвеликих суден у портових акваторіях. Це також підкреслює необхідність враховувати сили та моменти взаємодії між судном і буксирами при плануванні та виконанні маневрів, оскільки залучення буксирів є важливою умовою для безпечного проходу великотоннажних суден у портових водах. Аналіз наявних досліджень свідчить про недостатню вивченість керованості великотоннажних контейнеровозів у контексті підвищення безпеки їх маневрування. Таким чином, виникає необхідність зниження ризиків виникнення небезпечних ситуацій, яка зумовлює визначення й обґрунтування актуальності основного напрямку дослідження, що полягає в удосконаленні процесів та засобів, спрямованих на підвищення безпеки маневрування великотоннажних контейнеровозів у портових акваторіях.

В межах методологічного забезпечення дисертаційного дослідження, була сформована його технологічна карта, відповідно до якої визначено запит практики, який зумовлює тему наукової праці, мету, наукову гіпотезу, а також головне завдання дослідження, що представлене трьома окремими складовими. Отриманим науковим результатам притаманна наукова новизна.

Об’єктом даного дослідження є процес маневрування великотоннажних контейнеровозів.

Предметом дослідження є безпека маневрування великотоннажних контейнеровозів у портових акваторіях, зокрема із використанням буксирів.

Метою даного дисертаційного дослідження є удосконалення існуючих процесів та засобів, спрямованих на підвищення ефективності і безпеки судноплавства, й зменшення впливу людського фактору, в контексті управління великотоннажними контейнеровозами в портових акваторіях.

Головне завдання дисертаційного дослідження полягає в побудові алгоритму прогнозування траєкторії руху великотоннажного контейнеровозу на основі адекватних математичних моделей руху судна і буксирів, які працюють у різних режимах роботи, з врахуванням обмежень їх маневреності, в контексті виконання спільного маневрування в портових акваторіях.

Для вирішення головного завдання даного дисертаційного дослідження воно було розкладено на **допоміжні задачі**, а саме:

- 1) математичне моделювання руху великотоннажного контейнеровозу та верифікація математичної моделі за даними випробувань;
- 2) математичне моделювання взаємодії судна та буксирів, з урахуванням обмежень маневреності буксирів;
- 3) побудова алгоритму прогнозування траєкторії руху великотоннажного контейнеровозу на основі математичної моделі руху судна, а також розширення алгоритму для прогнозування траєкторії руху при спільному маневруванні з буксирами.

Наукова новизна отриманих результатів даного дисертаційного дослідження полягає в побудові нового алгоритму прогнозування траєкторії руху судна, зокрема при спільному маневруванні із буксирами, що базується на основі уточненої математичної моделі руху судна та математичної моделі взаємодії судна з буксирами, що працюють у різних режимах роботи і з урахуванням обмежень їх маневреності. В роботі досягнуті наступні результати:

- **удосконалено** методику верифікації математичної моделі плоского руху судна, яка відрізняється алгоритмом застосування методів оптимізації, що

дозволяє отримувати більш надійні результати при уточненні гідродинамічних коефіцієнтів математичної моделі руху судна за даними морських випробувань;

- **удосконалено** математичну модель взаємодії судна з буксиром, яка відрізняється врахуванням результуючих сил і моментів, коли в процесі маневрування беруть участь кілька буксирів, що працюють в різних режимах;

- **вперше** побудовано алгоритм прогнозування траєкторії руху судна, що відрізняється використанням уточнених гідродинамічних коефіцієнтів математичної моделі руху судна за удосконаленою методикою верифікації моделі його плоского руху, а також математичної моделі взаємодії судна з буксирами, з урахуванням обмежень маневреності буксирів, що працюють у різних режимах роботи.

Наукова гіпотеза про можливість використання математичних моделей руху судна, зокрема великотоннажного контейнеровозу, і буксирів, що працюють у різних режимах роботи, з врахуванням обмежень їх маневреності, в контексті виконання спільного маневрування для прогнозування траєкторії руху судна, була підтверджена теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що результати дослідження можуть бути використані при розробці суднових систем підтримки прийняття рішень, а також при навчанні, підготовці та підвищенні кваліфікації судноводіїв. Крім того, ці результати можуть бути корисними для подальших наукових досліджень і розробок у цій галузі. Отримані в даному дисертаційному дослідженні наукові результати зумовлюють його наукове положення, яке можна сформулювати наступним чином: прогнозування траєкторії руху великотоннажного контейнеровозу на основі уточненої математичної моделі руху судна, а також математичної моделі взаємодії судна з декількома буксирами, з врахуванням обмежень маневреності буксирів, що працюють у різних режимах роботи, може бути застосовано з метою підвищення ефективності і безпеки судноплавства, а також зменшення впливу людського фактору при маневруванні великотоннажних контейнеровозів у портових водах.

Результати даного дисертаційного дослідження впроваджено в освітній процес підготовки другого (магістерського) рівня вищої освіти у якості складової частини; використовуються у навчальному процесі кафедри судноводіння, а саме в курсі лекцій з дисципліни «Математичні основи судноводіння»; впроваджено у освітній процес в якості складової практичної частини курсів підвищення кваліфікації судноводіїв в Інституті післядипломної освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу» Національного університету «Одеська морська академія»; впроваджено в освітню компоненту «Дослідницький практикум», відповідно до освітньо–професійної програми другого (магістерського) рівня підготовки «Навігація і управління морськими суднами» навчально–наукового інституту навігації НУОМА; відображено в звіті з науково–дослідної роботи «Підвищення навігаційної безпеки морських перевезень у територіальному морі та внутрішніх морських водах України в інтересах агропромислового комплексу» (№ ДР 0123U1047412, Розділ 7 – Розробка морського коридору у районі Дністровської банки для проходження великотоннажних суден, які виходять з портів Одеської затоки, в умовах воєнного стану); імплементовано в програмне забезпечення NavSimulator компанії Learnmarine LLC.

Ключові слова: великотоннажні контейнеровози, математична модель, гідродинамічні сили, людський фактор, навігаційна безпека, прогнозування аварій, керування судном, запобігання зіткненням суден, морський транспорт, навігаційні технології, морська освіта та підготовка, морські аварії, навігаційна ситуація, безпека маневрування.

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. N. Konon, “Analytical Modelling of Seakeeping Qualities of Container Vessel,” *Shipping & Navigation*, vol. 30, no. 1, pp. 78–87, Dec. 2020, DOI: 10.31653/2306–5761.30.2020.78–87.

2. O. Pipchenko, N. Konon and Ye. Bogachenko. "Mathematical modelling of "ASD tug – marine vessel" interaction considering tug's maneuverability and stability limitations," *Journal of Maritime Research*, vol. 20, no. 2, pp.117–124, August 2023, DOI: 10.5281/zenodo.8370780.

3. N. Konon and O. Pipchenko, "Enhancement of Ship Handling Techniques Along a Predetermined Trajectory," *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, vol. 26–27, no. 1–2, pp. 29–43, Dec. 2023, DOI: 10.33815/2313–4763.2023.1–2.26–27.029–043.

4. N. Konon and O. Pipchenko, "Analysis of Marine Accidents Involving Container Ships," *Shipping & Navigation*, vol. 32, no. 1, pp. 46–55, Dec. 2021, DOI: 10.31653/2306–5761.32.2021.46–55.

5. N. Konon, "Prospects for Modern Maritime Education and Training Practices in Terms of Distance Learning," *Shipping & Navigation*, vol. 33, no. 1, pp. 54–66, Dec. 2022, DOI: 10.31653/2306–5761.33.2022.54–66.

6. Н. Конон, В. Конон, "Аналіз ризиків притаманних контейнерному флоту у контексті підвищення безпеки морських операцій," *Shipping & Navigation*, vol. 34, no. 1, pp. 79–92, May 2023, DOI: 10.31653/2306–5761.34.2023.79–92.

7. О. Піпченко, Н. Конон, "Удосконалення методів морської професійної підготовки шляхом залучення сучасних технологій," *Shipping & Navigation*, vol. 35, no. 1, pp. 128–142, Dec. 2023, DOI: 10.31653/2306–5761.35.2023.128–142.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. N. Konon, O. Pipchenko and Yu. Kazak, "Virtual Reality Application and Usability in the Context of Maritime Education and Training: Assessment and Perspectives," in *Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference*, Palanga, Lithuania, October 04–06, 2023, Kaunas: Publishing House "Technologija", 2023, pp. 680–684, DOI: 10.5755/e01.2351–7034.2023.P2.

9. O. Pipchenko and N. Konon, "Involvement of modern technologies in the improvement of marine professional training methods," *Збірник матеріалів VIII міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні підходи до розвитку*

компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення», 19–20 квітня 2024 р., ДІ НУ «ОМА», Ізмаїл, С. 329–332.

10. Н. М. Конон, “Оцінка перспектив підвищення навігаційної безпеки великотоннажних контейнеровозів,” *Збірник матеріалів науково–технічної конференції “Судноводіння, морські технології та перевезення” (NST–2022), 17–18 листопада 2022 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 165–169.*

11. N. Konon, “Multi–vessel operation in maritime education and training,” in *Conference booklet “The green line of maritime business”, Lithuanian Maritime Academy, Klaipeda, 14–16 September 2022, p. 14.*

12. Н. М. Конон, “Аналіз аварійності контейнеровозів,” *Збірник матеріалів науково-практичної конференції “Проблеми сталого розвитку морської галузі PSDMI–2021”, 3–5 листопада 2021 р., ХДМА, Херсон, С. 45 – 48.*

13. Н. М. Конон, “Контроль навігаційної безпеки при проходженні Суецького каналу на прикладі аварії т/х «Ever Given»,” *Збірник матеріалів XIII міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті” (MINTT – 2021), 25–27 травня 2021 р., ХДМА, Херсон, С. 118–121.*

Список публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Суднова система підтримки прийняття рішень при спільному маневруванні з буксирами : пат. 157309 Україна : (2023.01) G01C 21/00, (2006.01) B63B 49/00. № и 2023 00148 ; заявл. 16.01.2023; опубл. 02.10.2024, Бюл. № 40/2024 (кн. 1). 170 с.

ABSTRACT

Konon N.M. Enhancing the safety of manoeuvring large-tonnage container ships in port waters. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the Doctor of Philosophy by the specialty 271 – «Sea and inland water transport» (branch of knowledge 27 – Transport). – National University "Odesa Maritime Academy", Odesa, 2024.

Contemporary practices necessitate enhanced navigational safety in port areas, where the effective independent manoeuvring of very large vessels is limited. This also emphasizes the necessity of considering the interaction forces and moments between the vessel and tugboats when planning and executing manoeuvres, as the involvement of tugboats is a crucial condition for the safe passage of large vessels in port waters. The analysis of existing studies shows that the controllability of large-tonnage container ships is insufficiently studied in the context of increasing the safety of their manoeuvring. Thus, a need to manage the risks of hazardous situations arises. This necessitates the identification and justification of the relevance of the main research direction, which focuses on improving the processes and means aimed at enhancing the safety of manoeuvring large-tonnage container ships in port waters. Within the methodological framework of the dissertation research, a research roadmap was formed, according to which the practical demand that determines the topic of the scientific work, the goal, the scientific hypothesis, and the main task of the research, presented in three separate components, were defined. The obtained results are characterized by scientific novelty.

The object of this research is the process of manoeuvring large-tonnage container ships.

The subject of the research is the safety of manoeuvring large-tonnage container ships in port waters, particularly with the use of tugboats.

The purpose of this dissertation research is to improve existing processes and means aimed at enhancing the efficiency and safety of navigation, and reducing the

impact of the human factor, in the context of ship handling large-tonnage container ships in port waters.

The main objective of this dissertation research is to develop an algorithm for predicting the trajectory of a large-tonnage container ship based on adequate mathematical models of the ship's movement and tugboats operating in different modes, taking into account their manoeuvrability limitations, in the context of joint manoeuvring in port waters.

To solve the main task of this dissertation research, it was decomposed into the **auxiliary objectives**, namely:

1) Develop a mathematical model of large-tonnage container ship's movement and verify the model based on trial data;

2) Develop a ship-tugs interaction model considering tugs' manoeuvrability limitations;

3) Develop an algorithm for predicting the trajectory of a large-tonnage container ship based on the mathematical model of the ship's movement, and extending the algorithm to predict the trajectory during joint manoeuvring with tugboats.

The scientific novelty of the results obtained in this dissertation research lies in the development of a new algorithm for predicting the trajectory of a large-tonnage container ship, particularly during joint manoeuvring with tugboats, based on a refined mathematical model of the ship's movement and a mathematical model of the interaction between the ship and tugboats operating in different modes, taking into account their manoeuvrability limitations. The following results have been achieved in this work:

- an **improved** methodology for verifying the mathematical model of the planar motion of the ship, distinguished by an algorithm for applying optimization methods, which allows for more reliable results when refining the hydrodynamic coefficients of the ship's movement mathematical model based on sea trial data;

- an **improved** mathematical model of the interaction between the ship and tugboats, distinguished by considering the resultant forces and moments when multiple tugboats operating in different modes participate in the manoeuvring process;

- **for the first time**, an algorithm for predicting the ship's trajectory has been developed, distinguished by the use of a refined mathematical model of the ship's movement and a mathematical model of the interaction between the ship and tugboats, taking into account the manoeuvrability limitations of the tugboats operating in different modes.

The **hypothesis** regarding the possibility of using mathematical models of the ship's movement, particularly a large-tonnage container ship, and tugboats operating in different modes, taking into account their manoeuvrability limitations, in the context of joint manoeuvring to predict the ship's trajectory, has been confirmed by theoretical results and simulation modelling.

The **practical significance** of the obtained results lies in their potential application in the development of ship decision support systems, as well as in the training, preparation, and professional development of navigators. Additionally, these results may be useful for subsequent scientific research and development in this field. The results obtained in this dissertation research determine its **scientific position**, formulated as follows: enhancing the efficiency and safety of navigation, as well as minimizing the influence of the human factor during the manoeuvring of large-tonnage vessels in port waters, can be effectively achieved through the prediction of the trajectory of a large-tonnage container ship based on a refined mathematical model of the vessel's movement and a mathematical model of the ship-tugs interaction, taking into account the manoeuvrability limitations of tugboats operating in different modes.

The results of this dissertation research have been implemented in the educational process of the second (master's) level of higher education as a component; they are used in the educational process of the Department of Navigation, in the lecture course on "Mathematical Foundations of Navigation"; they have been implemented in the educational process as a component of the practical part of the professional development courses for navigators at the Institute of Postgraduate Education "Training and Certification Center for Seafarers" of the National University "Odessa Maritime Academy"; they have been implemented in the educational component "Research practicum" in accordance with the educational and professional program of

the second (master's) level of training " Navigation and ship handling; they are reflected in the research report "Enhancing the Navigational Safety of Maritime Transport in the Territorial Sea and Internal Waters of Ukraine in the Interests of the Agro–Industrial Complex" (No. DR 0123U1047412, Section 7 – Development of a Maritime Corridor in the Area of the Dniester Bank for the Passage of Large Vessels Departing from the Ports of the Odessa Bay under Martial Law Conditions); they have been implemented into the NavSimulator software of the Learnmarine LLC.

Keywords: ultra large container ships (ULCS), mathematical model, hydrodynamic forces, human factor, navigation safety, accident prediction, vessel control, prevention of vessels collisions, maritime transport, navigation technologies, crew training and education, maritime accidents, navigation situation, maneuvering safety.

List of publications in which the main scientific results of the dissertation were published:

1. N. Konon, “Analytical Modelling of Seakeeping Qualities of Container Vessel,” *Shipping & Navigation*, vol. 30, no. 1, pp. 78–87, Dec. 2020, DOI: 10.31653/2306–5761.30.2020.78–87.
2. O. Pipchenko, N. Konon and Ye. Bogachenko. “Mathematical modelling of "ASD tug – marine vessel" interaction considering tug's maneuverability and stability limitations,” *Journal of Maritime Research*, vol. 20, no. 2, pp.117–124, August 2023, DOI: 10.5281/zenodo.8370780.
3. N. Konon and O. Pipchenko, “Enhancement of Ship Handling Techniques Along a Predetermined Trajectory,” *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, vol. 26–27, no. 1–2, pp. 29–43, Dec. 2023, DOI: 10.33815/2313–4763.2023.1–2.26–27.029–043.
4. N. Konon and O. Pipchenko, “Analysis of Marine Accidents Involving Container Ships,” *Shipping & Navigation*, vol. 32, no. 1, pp. 46–55, Dec. 2021, DOI: 10.31653/2306–5761.32.2021.46–55.

5. N. Konon, “Prospects for Modern Maritime Education and Training Practices in Terms of Distance Learning,” *Shipping & Navigation*, vol. 33, no. 1, pp. 54–66, Dec. 2022, DOI: 10.31653/2306–5761.33.2022.54–66.

6. N. Konon and V. Konon, “Risk analysis of the container fleet in the context of the maritime operations’ safety improvement,” *Shipping & Navigation*, vol. 34, no. 1, pp. 79–92, May 2023, DOI: 10.31653/2306–5761.34.2023.79–92.

7. O. Pipchenko and N. Konon, “Improvement of marine professional training methods through the involvement of modern technologies,” *Shipping & Navigation*, vol. 35, no. 1, pp. 128–142, Dec. 2023, DOI: 10.31653/2306–5761.35.2023.128–142.

List of publications that witness the approbation of the dissertation materials:

8. N. Konon, O. Pipchenko and Yu. Kazak, “Virtual Reality Application and Usability in the Context of Maritime Education and Training: Assessment and Perspectives,” in *Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference*, Palanga, Lithuania, October 04–06, 2023, Kaunas: Publishing House "Technologija", 2023, pp. 680–684, DOI: 10.5755/e01.2351–7034.2023.P2.

9. O. Pipchenko and N. Konon, “Involvement of modern technologies in the improvement of marine professional training methods,” *Збірник матеріалів VIII міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні підходи до розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення»*, 19–20 квітня 2024 р., ДІ НУ «ОМА», Ізмаїл, С. 329–332.

10. Н. М. Конон, “Оцінка перспектив підвищення навігаційної безпеки великотоннажних контейнеровозів,” *Збірник матеріалів науково-технічної конференції “Судноводіння, морські технології та перевезення” (NST–2022)*, 17–18 листопада 2022 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 165–169.

11. N. Konon, “Multi–vessel operation in maritime education and training,” in *Conference booklet “The green line of maritime business”*, Lithuanian Maritime Academy, Klaipeda, 14–16 September 2022, p. 14.

12. Н. М. Конон, “Аналіз аварійності контейнеровозів,” *Збірник матеріалів науково-практичної конференції “Проблеми сталого розвитку морської галузі PSDMI–2021”*, 3–5 листопада 2021 р., ХДМА, Херсон, С. 45 – 48.

13. Н. М. Конон, “Контроль навігаційної безпеки при проходженні Суецького каналу на прикладі аварії т/х «Ever Given»,” *Збірник матеріалів XIII міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті” (MINTT – 2021)*, 25–27 травня 2021 р., ХДМА, Херсон, С. 118–121.

**List of publications that additionally reflect the scientific results of the
dissertation:**

14. Суднова система підтримки прийняття рішень при спільному маневруванні з буксирами : пат. 157309 Україна : (2023.01) G01C 21/00, (2006.01) B63B 49/00. № и 2023 00148 ; заявл. 16.01.2023; опубл. 02.10.2024, Бюл. № 40/2024 (кн. 1). 170 с.