

24. Elizabeth Lindstada, Torstein Ingebrigtsen (2020), "Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements", available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920918302578> (Accessed 16 December 2024).

Melnik O.V.

ADVANCED EFFICIENCY OF WORK OF SHIP PROPULSION PLANTS

The purpose of this article is to analyze the technical solutions of ship combination propulsion plants, which involve the operation of thermal propulsion engines and propulsion electric plants. Combined propulsion plants are examined, which are becoming more and more widely used on current ships of the maritime fleet. The peculiarity of the combined plants is that the energy for the ship's propulsion in them is generated in two different types of ship engines - thermal and electrical, operating on the propulsion system.

These plants are folding electromechanical systems designed to ensure the safety of the ship in various modes of operation of the ship and the generation of electricity in the economical mode or when stationary. Combined propulsion plants combine the advantages of traditional propulsion installations with thermal propulsion engines and propulsion electric installations.

A promising way to directly improve the efficiency of combined propulsion units is also the use of shaft generators in engine mode. The configuration of these plantss consists of a low-speed diesel engine (MSD) connected to the gearbox, driven by the propeller of an electric machine (EM), which can operate in generator mode or in motor mode.

Key words: combined propulsion plant, main thermal engine, electric propulsion motor, electric propulsion plant, reducer, shaft drive, propeller, engine, operating mode. effective power, power transmission, marine diesel, power plant, ship, marine engines.

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21

Сазін С.С., Сазін С.В.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МАНЕВРУВАННЯ ВЕЛИКОТОННАЖНИХ СУДЕН В СТИСНЕНИХ ПОРТОВИХ ВОДАХ

Проведено аналіз особливостей і небезпек маневрування суден у стиснених портових водах, зосереджуючи увагу на складнощі, що виникають у процесі управління судноплаством в умовах інтенсивного трафіку. Розглянуто ключові виклики, пов'язані з вузькими фарватерами, близьким розташуванням причалів, портових споруд та високою щільністю руху суден. Значну увагу приділено впливу гідрографічних і метеорологічних умов, таких як мілководдя, сильні течії, вітри та хвилювання, які суттєво впливають на маневрові характеристики великотоннажних суден. Визначено, що однією з головних небезпек під час маневрування у стиснених водах є ризик зіткнення суден один з одним, з портовими спорудами або причалами. Також висвітлено проблеми, пов'язані з посадкою на мілину, які можуть виникати через змінну глибину фарватерів або неврахування припливно-відпливних процесів. Розглянути додаткові ризики, які створює втрата маневрових властивостей суден за умовою низьких швидкостей, що особливо критично для суден із великою водотоннажністю. Акцентована увага на людському факторі як одному з головних джерел ризиків під час маневрування. Як такі визначені недостатній досвід екіпажу чи лоцманів, недостатня координація дій між суднами та портовою системою контролю, а також

обмежений час для прийняття та ухвалення рішень, які поодиночі або в сукупності можуть призводити до небезпечних навігаційних ситуацій. Запропоновано застосування інноваційних рішень для мінімізації ризиків. Особливу увагу приділено впровадженню систем підтримки ухвалення рішень, які інтегрують дані з автоматизованих систем моніторингу, гідрометеорологічних станцій і супутникових систем. Показано, що системи підтримки ухвалення рішень забезпечують аналіз даних у реальному часі, дозволяють прогнозувати можливі ризики та моделювати траєкторії руху суден. Завдяки цьому портові диспетчери отримують точні рекомендації для оптимізації руху суден навіть у найскладніших умовах. Також вказано, що використання систем симуляційного моделювання, побудованих на основі нейронних мереж, дозволяє аналізувати складні сценарії, такі як небезпечне зближення суден, втрата керованості судном чи вплив несприятливих погодних умов. Такі системи слугують інструментом як для підготовки екіпажів, так і для оцінки можливих ризиків у конкретній акваторії. Досвід демонструє, що впровадження системи підтримки ухвалення рішень і симуляційного моделювання дозволяє підвищити рівень безпеки, оптимізувати рух суден і забезпечити безперервність логістичних процесів у портах із високою щільністю трафіку. Отримані результати є корисними для подальшого вдосконалення портової логістики в умовах стиснених вод та можуть бути адаптовані для інших портів із подібними умовами експлуатації.

Ключові слова: безпека судноплавства, великотоннажне судно, людський фактор, навігаційна безпека, навігаційна ситуація, нейронна мережа, маневрування суден, морське судно, морський транспорт, стиснені портові води, системи підтримки ухвалення рішень.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Забезпечення безпеки судноплавства у стиснених портових водах є однією з ключових у сучасній морській логістиці та морських транспортних системах. Стрімке зростання обсягів міжнародної торгівлі та підвищення інтенсивності руху суден вимагають нових підходів до управління портовими операціями, зокрема в умовах обмежених акваторій із високою щільністю трафіку. Ця проблема стає особливо актуальною для портів із вузькими фарватерами, мілководдям і швидкими змінами гідрометеорологічних умов, де навіть незначна навігаційна помилка, або затримка в прийнятті рішення може призвести до аварій, економічних втрат або екологічних катастроф [1-3].

Маневрування суден у таких умовах ускладнюється через технічні особливості великотоннажних суден (наприклад, контейнеровозів Panamax та балкерів Capesize), що мають обмежені маневрові можливості. У той же час, людський фактор залишається однією з головних причин помилок під час виконання складних маневрів, що підкреслює необхідність використання новітніх технологій для підтримки ухвалення рішень і зменшення ризиків [4-6].

В умовах швидкої цифровізації портових систем виникає потреба у впровадженні інноваційних підходів, зокрема систем підтримки ухвалення рішень (Decision Support Systems – DSS) та симуляційного моделювання. Ці інструменти дозволяють інтегрувати велику кількість даних із різних джерел, аналізувати ризики в реальному часі, прогнозувати розвиток подій та підвищувати ефективність портових процесів.

Забезпечення безпеки судноплавства у стиснених портових водах є не лише локальною проблемою окремих портів, але й важливим елементом глобальної морської інфраструктури [7-9]. Її вирішення має значний вплив на забезпечення стабільності логістичних ланцюгів, зменшення аварійності на морі, підвищення ефективності використання портових потужностей і забезпечення екологічної стійкості транспортних систем [10-12]. Таким чином, дана проблема має не лише наукову, але й вагомий практичну значущість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення питання забезпечення безпеки маневрування суден у стиснених портових водах отримало значну увагу в наукових дослідженнях,

зокрема через постійне зростання інтенсивності судноплавства та розмірів суден. Особливу увагу присвячено аналізу впливу гідрометеорологічних факторів, таких як течії, хвилювання, та вітрові навантаження, на маневрові характеристики великотоннажних суден [13, 14].

Також багатократно розглядалися питання зниження ризику зіткнень суден у складних умовах [15, 16]. У подібних дослідженнях розглядаються алгоритми розрахунку безпечних траєкторій руху суден, які враховують динаміку руху, метеорологічні параметри та характеристики інших суден у межах обмеженого простору стиснених портових вод. Ряд наукових досліджень підкреслює важливість впровадження систем сучасних систем підтримки та ухвалення рішень, які дозволяють інтегрувати дані з автоматизованих систем і гідрометеорологічних станцій для оцінки навігаційних ризиків і оптимізації руху суден в стиснених водах [17, 18]. При цьому найбільш доцільним та ефективним є використання симуляційного моделювання на базі нейронних мереж, яке дозволяє створювати реалістичні сценарії руху суден, що враховують зовнішні фактори (включаючи погодні умови, глибинні характеристики та площі акваторії морських портів) та взаємодію з іншими суднами. Це сприяє як підвищенню рівня підготовки екіпажів, також і плануванню оптимального маневрування у складних умовах.

Незважаючи на численні дослідження та впровадження наукових розробок, статистика зіткнень суден в стиснених портових водах залишається високою, що свідчить про необхідність подальшого розвитку методів і технологій для забезпечення безпеки судноплавства шляхом вдосконалення процесу маневрування морських суден. Зокрема, існує потреба в адаптації сучасних рішень до різноманітних умов портових акваторій і підвищенні рівня навчання екіпажів [19-21]. Крім того, актуальними залишаються питання інтеграції новітніх технологій у щоденні портові операції з метою підвищення їхньої ефективності та надійності.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є аналіз проблем і небезпек маневрування суден у стиснених портових водах та оцінка сучасних методів і технологій, таких як DSS і симуляційне моделювання та розробка рекомендацій щодо їх впровадження в навігаційну практику, для підвищення безпеки судноплавства та ефективності управління рухом суден.

Виклад основного матеріалу. Маневрування суден у стиснених портових водах є складним процесом, який вимагає точності, координації та професіоналізму. Портова акваторія, як правило, має обмежений простір для маневрування через вузькі фарватери, близькість до причалів, портових споруд і високий трафік суден. Ці фактори суттєво ускладнюють рух, особливо для великотоннажних суден, таких як контейнеровози, танкери та балкери типу Panamax та Capesize [22-24]. Гідрографічні особливості, включаючи мілководдя, змінну глибину та сильні течії, також впливають на маневрові характеристики суден. До цього додаються метеорологічні фактори, такі як сильні вітри, хвилювання чи туман, які можуть суттєво знижувати видимість та ускладнювати контроль над судном [25-27].

Небезпеки маневрування в таких умовах є численними. Найбільший ризик становить можливість зіткнення з іншими суднами, портовими спорудами чи причалами. У стиснених водах, де час прийняття рішення обмежений, навіть незначна помилка може призвести до серйозних наслідків [28, 29]. Також існує загроза посадки на мілину через нестабільну глибину або неправильну оцінку припливно-відпливних процесів. Зниження швидкості для збереження контролю над судном може призвести до втрати маневрових властивостей, що особливо критично для великотоннажних суден із обмеженою здатністю виконувати різкі повороти.

Людський фактор залишається одним із головних джерел ризиків під час маневрування [30, 31]. Недостатній досвід екіпажу або лоцмана, погана координація дій між портовою адміністрацією та судном, або помилки в ухваленні рішень можуть створювати критичні ситуації.

Підтвердження вищевказаного ілюструє навігаційна обстановка в морському порту Річардс-Бей – одному із найбільших портів Південної Африки, що спеціалізується на перевалці вугілля, генеральних вантажів і контейнерів. Розташований на північному сході країни, порт є важливим центром для обслуговування суден високого тоннажу, зокрема контейнеровозів та балкерів типу Panamax та Capesize які відіграючи ключову роль у міжнародних ланцюгах постачання. Щорічний

вантажообіг порту становить близько 90 мільйонів тонн навалювального вантажу та від 500000 до 1000000 TEU на рік, при цьому кількість обслугованих суден перевищує 2000 одиниць на рік. Порт має розвинену інфраструктуру для перевалки різноманітних вантажів, включаючи один із найбільших у світі вугільних терміналів, який забезпечує продуктивність завантаження від 20 до 30 тисяч тонн вугілля на годину для одного судна. Крім цього, порт спеціалізується на обробці генеральних вантажів, контейнерів та нафтоналивних продуктів, що забезпечує його стратегічну значущість у глобальних логістичних мережах.

Інтенсивний трафік суден та складні гідрометеорологічні умови в акваторії порту вимагають особливої уваги до забезпечення безпеки судноплавства. Підтримання маневрових характеристик суден, зокрема в умовах обмежених маневрових зон, вузьких фарватерів, сильних течій та вітрового впливу, особливо в зимовий період, є критично важливим для безпечної та ефективної роботи порту.

Для забезпечення безпеки судноплавства портова адміністрація застосовує суворі вимоги щодо мінімальної осадки суден. Це дозволяє покращити маневровість суден під час підходу до порту та у його акваторії.

Зокрема, встановлені такі правила:

1) для суден із довжиною до 250 метрів:

• **осадка носової частини судна повинна становити не менше ніж 2,0 % від загальної довжини судна.**

• **осадка кормової частини судна повинна становити не менше ніж 3,0 % від загальної довжини судна;**

2) для суден із довжиною понад 250 метрів:

• **осадка носової частини судна повинна становити не менше ніж 2,5 % від загальної довжини судна.**

• **осадка кормової частини судна повинна становити не менше ніж 3,5 % від загальної довжини судна.**

Маневрова частина порту поділена на три основні частини, як зображено на рис. 1. До них відносяться:

1) припортова зона с виділеним фарватером для заходу та виходу суден з використання віртуальних буїв з індикатором автоматичної ідентифікаційної системи (Automatic Identification System – AIS);

2) внутрішньо портова фарватерна зона з обмеженими стисненими водами;

3) акваторія порту, яка поділена на південну та північну частину з загальним колом для маневрування.

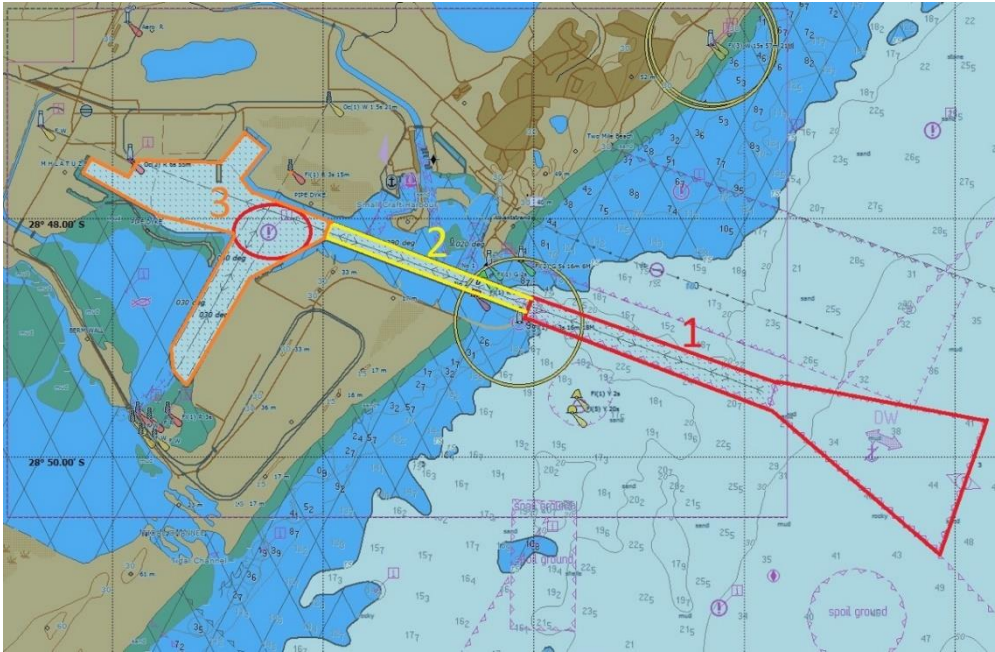


Рисунок 1 – Маневровий план порту Річардс-Бей

Лоцманська проводка в даному порту, є обов'язковою але місця прийому та висадки лоцмана різняться залежно від метеорологічних умов. В основному через обмеження в руху лоцманського катера чи буксира у сурові метеорологічні умови, прийом та здача лоцмана здійснюються за допомогою гелікоптера.

У зв'язку з високою інтенсивністю вантажних операцій адміністрація порту активно впроваджує заходи, спрямовані на мінімізацію часу між завершенням обробки одного судна та початком операцій із наступним. Це включає вимогу, щоб судно, яке очікує на погрузку або розвантаження, вже перебувало у внутрішній акваторії порту на момент виходу іншого судна. Така організація руху суден сприяє оптимізації портових процесів, однак значна щільність трафіку ускладнює контроль маневрових властивостей суден і забезпечення безпечного шляху в умовах стиснених вод. Значний обсяг судноплавства в порту Річардс-Бей створює серйозні небезпеки для організації руху суден в обмеженій акваторії.

Маневрування суден у стиснених водах порту Річардс-Бей є складним завданням, яке пов'язане з численними викликами. Основними проблемами є обмежений простір для маневрування через вузький фарватер, близьке розташування інших суден і портових споруд, а також гідрографічні особливості, такі як сильні течії, мілководдя та змінна глибина акваторії. Метеорологічні фактори, зокрема сильні вітри є вагомим небезпечним фактором в порту Річардс-Бей. Окрім цього, збільшення розмірів сучасних суден із меншими маневровими властивостями створює додаткові ризики, що вимагає впровадження інноваційних підходів до організації руху в порту.

У цих умовах важливу відіграє система управління рухом суден (Vessel Traffic Service – VTS), яка забезпечує моніторинг трафіку в реальному часі, надає рекомендації екіпажам щодо швидкості та траєкторії руху, а також попереджає про потенційні ризики. Проте використання базових методів моніторингу руху суден а саме радіолокаційного та AIS спостереження, в складних навігаційних умовах може виявити певні труднощі щодо забезпечення та оптимізації трафіку суден в акваторії порту.

Порт Річардс-Бей активно впроваджує сучасні технології для забезпечення безпеки судноплавства, підвищення ефективності управління трафіком та мінімізації ризиків у складних навігаційних умовах. Одним із ключових інструментів, які використовуються в порту, є системи

підтримки прийняття рішень (Decision Support Systems, DSS). Ці системи аналізують величезні обсяги даних у реальному часі, включаючи інформацію про гідрометеорологічні умови (течії, вітер, хвилювання), характеристики суден (швидкість, траєкторія, осадка) та їх взаємне розташування в акваторії.

DSS не лише забезпечують оперативний доступ до актуальної інформації, але й виконують складні розрахунки для оптимізації маневрів. Наприклад, система може пропонувати найбільш безпечну траєкторію руху судна, враховуючи потенційні конфлікти маршрутів із іншими суднами чи обмеження фарватеру.

Система підтримки ухвалення рішень (Decision Support Systems, DSS) є комплексним програмно-апаратним інструментом, що допомагає диспетчерам систем управління рухом суден швидко й ефективно ухвалювати рішення на основі зібраних, оброблених і структурованих даних.

Запропонована система базується на чотирьох основних принципах, якими є:

- 1) інтеграція даних із різноманітних джерел;
- 2) обробка інформації в реальному часі;
- 3) моделювання та прогнозування;
- 4) адаптація до різних умов.

Одним із базових принципів роботи DSS є здатність об'єднувати інформацію з декількох джерел: автоматизованих систем моніторингу (AIS), гідрометеорологічних станцій, радіолокаційних та супутникових систем, а також внутрішніх баз даних (наприклад, про розклад руху суден чи технічний стан портового обладнання). Така інтеграція дозволяє формувати цілісну картину ситуації в реальному часі та надавати користувачеві актуальні дані для ухвалення обґрунтованих рішень.

Критично важливою умовою для ефективної роботи DSS є мінімальна затримка під час збору й обробки інформації. Дані про швидкість, курс суден, погодні умови чи статус портових операцій мають надходити безпосередньо в систему з найменшою можливою затримкою. Це дозволяє DSS оперативна реагувати на зміни в поточній ситуації та видавати рекомендації для оператора в максимально стислий термін.

DSS використовує математичні моделі та нейронні мережі, для моделювання можливих сценаріїв розвитку подій. Завдяки цьому система здатна аналізувати різні варіанти дій (наприклад, траєкторії руху судна) та обирати найбільш безпечний або економічно вигідний сценарій з урахуванням поточних умов.

Умови експлуатації DSS можуть суттєво змінюватися залежно від інтенсивності портового трафіку, складності завдань та обсягу інформації. Система повинна бути гнучкою, легко адаптованою до нових сценаріїв і здатною інтегрувати додаткові модулі або оновлювати алгоритми аналізу в міру появи нових загроз чи необхідності розширення функціоналу.

На даний момент DSS у порту Річардс-Бей знаходяться на етапі тестування, однак уже демонструють високу ефективність у розв'язанні складних навігаційних завдань. Наприклад, у випадках інтенсивного трафіку система надає рекомендації щодо оптимального порядку входу та виходу суден, допомагаючи уникати заторів і небезпечного зближення. Це особливо важливо в умовах, коли кілька великих суден одночасно виконують маневри в обмеженій акваторії.

Одним із прикладів використання системи підтримки ухвалення рішень (DSS) є управління складними операціями одночасного виходу та заходу чотирьох суден в акваторії порту Річардс-Бей, як наведено на рис. 2. У цьому випадку перше контейнерне судно відшвартовувалося від 702 північного причалу, а друге судно – від 301 південного причалу. Їхнім завданням було пропустити два інших судна, що рухалися фарватером у напрямку входу до порту, залишаючись при цьому в акваторії та зберігаючи свої маневрові можливості.

DSS проаналізувала початкові дані, зокрема швидкість і курс кожного судна, поточні погодні умови, глибини акваторії та відстані до інших об'єктів. Завдяки інтеграції даних із систем автоматичного ідентифікації (AIS) і гідрометеорологічних станцій, система змогла побудувати детальний сценарій взаємодії суден який складався з восьми послідовних дій.

Для першого судна DSS рекомендувала тимчасово зайняти зону маневрування поблизу вихідного буя на північному кінці причальної стінки, забезпечуючи достатній простір для руху другого судна, яке повинно було виконати розворот. Друге судно, відповідно до рекомендацій DSS, використало свій носовий підрулюваний пристрій для плавного відходу від причалу, водночас коригуючи свою траєкторію так, щоб залишити фарватер вільним для суден, які заходили в порт.

Система також забезпечила точні рекомендації для двох суден, що рухалися фарватером. Вона розрахувала оптимальну швидкість і дистанцію між суднами, щоб уникнути перетинів траєкторій і зберегти безпечний інтервал. Розрахунки були виконані з урахуванням часу, необхідного для маневрування відшвартованих суден, і їхніх габаритів.

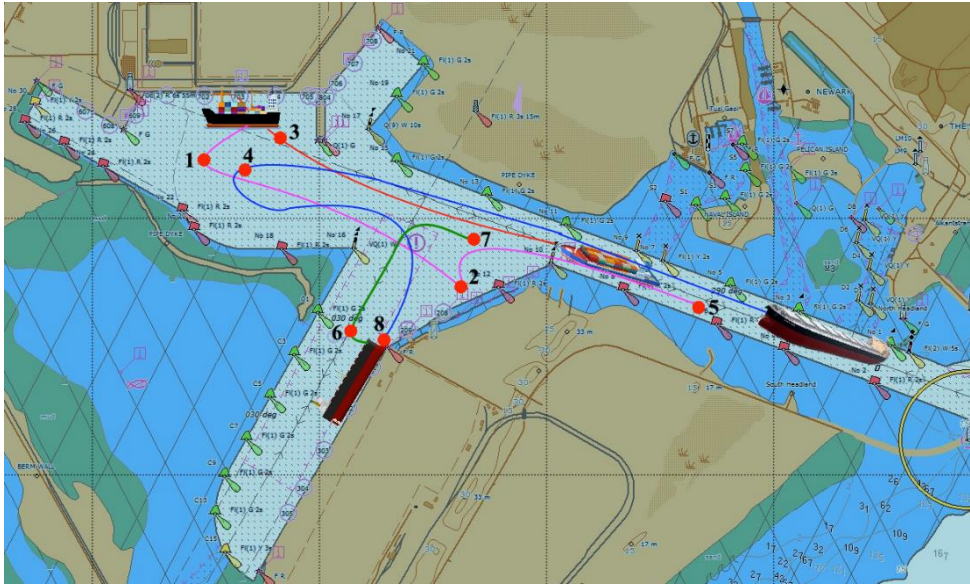


Рисунок 2 – Застосування системи підтримки ухвалення рішень під час одночасного знаходження в стиснених портових водах чотирьох великотоннажних суден

Результат застосування DSS у цій ситуації продемонстрував значні переваги. Чотири судна успішно виконали свої маневри без затримок і ризику зіткнень. Це стало можливим завдяки тому, що система DSS не лише оптимізувала порядок маневрів, але й надавала диспетчерам чіткі рекомендації щодо дій у реальному часі.

Цей випадок підкреслює здатність DSS ефективно працювати в умовах високої щільності портового трафіку. Система не лише покращує координацію між суднами, але й підвищує загальний рівень безпеки та ефективності операцій у порту. Такі сценарії демонструють, як інноваційні технології можуть інтегруватися в щоденну практику управління портом, створюючи нові стандарти безпеки та продуктивності.

Окрім DSS, порт активно застосовує попередню стимуляційне моделювання для аналізу та прогнозування потенційно ризикованих ситуацій. Симуляційні системи, побудовані на базі нейронних мереж, дозволяють створювати реалістичні моделі руху суден в акваторії порту, враховуючи всі можливі фактори: погодні умови, технічні характеристики суден, взаємодію з течіями та перешкодами. Завдяки цьому диспетчер порту може заздалегідь ідентифікувати ситуації, які можуть призвести до зіткнень або аварій, і вжити відповідних заходів. Це дозволяє розробляти та тестувати стратегії маневрування, які знижують ризики навіть у найскладніших умовах.

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

1. Аналіз наукових досліджень показав, що маневрування суден у стиснених портових водах супроводжується високими ризиками через обмежений простір, значну щільність трафіку, мілководдя та складні гідрометеорологічні умови. Особливу небезпеку становлять зіткнення, посадка на мілину та втрата маневрових властивостей, що значно ускладнює операції великотоннажних суден.

2. Доведено, що впровадження сучасних технологій, таких як системи підтримки ухвалення рішень (DSS) та симуляційне моделювання, сприяє ефективній координації руху суден та зниженню ризиків у складних умовах. DSS дозволяє інтегрувати дані з різних джерел, прогнозувати ризики та оптимізувати маневрування.

3. Запропоновано підхід до використання симуляційного моделювання для попереднього аналізу ризиків. Завдяки нейронним мережам ці системи дозволяють створювати реалістичні сценарії руху суден, що знижує ризики аварій навіть у найскладніших умовах.

4. Використання інноваційних технологій портових операціях сприяє підвищенню рівня безпеки судноплавства, оптимізації руху суден і забезпеченню безперервності логістичних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

2. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.

3. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у судових СППР // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.

4. Майданевич С.Б., Тимошук О.М. Суб'єкти та принципи міжнародного морського права // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.

5. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.

6. Тимочко О.І., Левченко О.В., Руденко В.М., Сітков О.М. Використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.

7. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.

8. Левінський М.В., Левінський В.М. Вибір параметрів системи стабілізації курсу судна при дії водно-хвильових збурень // Автоматизація судових технічних засобів : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 26. – С.27-40. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40.

9. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.

10. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology. – 2022. – Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

11. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
12. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
13. Ворохобін І.І., Бурмака І.О., Кулаков М.О., Петриченко О.О. Спосіб департаментизації електронної карти при зовнішньому управлінні розходження суден в зоні відповідальності СУРС // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 32. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 26-33. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
14. Бурмака І.А., Ворохобін І.І., Федоров Д.Б. Учет динамики судов при автоматическом выборе маневра расхождения уклонением одного судна и пассивным торможением другого // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 31. – С. 80-88. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
15. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to Alter Ship's Course or Speed // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
16. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
17. Ворохобін І.І. Зависимость вероятности безопасного прохождения судном стесненного района от закона распределения погрешности смещения // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 58-66. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.58-66.
18. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
19. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
20. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // Applied Ocean Research. – 2023. – Vol. 140. – P. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
21. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
22. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – P. 120221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
23. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna. – 2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
24. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
25. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology. – 2019. – Vol. 66(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.

26. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
27. Petrychenko O., Levynskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // Transport Systems and Technologies. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.
28. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2018. – Vol. 65(2). – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3.
29. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Діагностування технічного стану суднових енергетичних установок засобів водного транспорту // Водний транспорт. – 2023. – № 2(38). – С. 164-175. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18.
30. Сагін С.С., Ворохобін І.І. Мінімізація ризику виникнення небезпеки морських подій під час навігаційних переходів суден морського транспорту // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 76-88.
31. Сагін С.В., Бондар С.А. Розробка методу діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту // Водний транспорт. – 2023. – № 2(38). – С. 175-186. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19.

REFERENCES

1. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences Water transport. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
2. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // Water transport. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
3. Levchenko O. Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel DSS. // Water transport. – 2021. – № 3(34). – P. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
4. Maydanevich S.B., Tymoshchuk O. Subjects and principles of the international maritime law // Water transport. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.
5. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // Water Transport: Collection of scientific works. – 2020. – Vol. 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
6. Tymochko O.I., Levchenko O.V., Rudenko V.M., Sitkov O.M. Use of hybrid robotic complex for inspection of marine oil and gas facilities // Water transport. – 2024. – Vol. 2(40). – P. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.
7. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
8. Levynskyi M.V., Levynskyi V.M. Choosing the structure and parameters of vessel's course automatic control system under the influence of water-wave disturbances // Automation of ship technical facilities. – 2020. – Вип. 26. – С. 27-40. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40.
9. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
10. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V., Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

11. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 45. – P. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
12. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
13. Vorokhobin I., Burmaka I., Kulakov M., Petrychenko O. A Method of electronic chart departmenisation under external control of vessels' passing in VTS areas // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2021. – Vol. 32. – P. 26-33. doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
14. Burmaka I., Vorokhobin I., Fedorov D. Account dynamics of ships at the automatic choice of manoeuvre of divergence by deviation of one ship and by the passive braking of the other // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2021. – Vol. 31. – P. 80-88. doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
15. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
16. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – Vol. 1(37). – P. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
17. Vorokhobin I. Impact of the cross-track error distribution law on safe navigation in narrow waters // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2020. – Vol. 30. – P. 58-66. doi.org/10.31653/2306-5761.30.2020.58-66.
18. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport*. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
19. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
20. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*. – 2023. – Vol. 140. – P. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
21. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
22. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – P. 120221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
23. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna*. – 2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
24. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // *American Scientific Journal*. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
25. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2019. – Vol. 66(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.
26. Sagin S.S., Sagin S.V. Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessels approaching // *Water Transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

27. Petrychenko O., Levinskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.

28. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2018. – Vol. 65(2). – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3.

29. Sagin S.V., Zablotskyi Yu.V. Development of a method for diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport // *Water transport*. – 2023. – Vol. 2(38). – P. 164-175. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18.

30. Sagin S.S., Vorokhobin I.I. Minimizing the risk of maritime incidents during navigation passages of sea transport vessels // *Water transport*. – 2024. – Vol. 2(40). – P. 76-88.

31. Sagin S.V., Bondar S.A. Development of a method for diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport // *Water transport*. – 2023. – Vol. 2(38). – P. 175-186. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19.

Sagin S.S., Sagin S.V.

ENSURING THE SAFE MANEUVERING OF LARGE-TONNAGE VESSELS IN CONFINED PORT WATERS

An analysis of the features and dangers of ship maneuvering in constrained port waters has been conducted, focusing on the challenges arising in traffic management under high traffic density conditions. Key challenges related to narrow fairways, proximity to berths and port facilities, and intense vessel traffic are examined. Particular attention is given to the impact of hydrographic and meteorological conditions, such as shallow waters, strong currents, winds, and waves, which significantly affect the maneuverability of large-tonnage vessels. It has been determined that one of the main dangers during maneuvering in constrained waters is the risk of collisions between vessels, with port facilities, or with berths. Problems associated with grounding are also highlighted, which may arise due to variable fairway depths or improper consideration of tidal processes. Additional risks are posed by the loss of maneuverability at low speeds, which is particularly critical for large vessels with significant displacement. Emphasis is placed on the human factor as one of the primary sources of risk during maneuvering. Identified issues include insufficient experience of crew members or pilots, poor coordination between vessels and port control systems, and limited time for decision-making, which individually or collectively can lead to dangerous navigational situations. The use of innovative solutions for risk minimization is proposed. Special attention is paid to the implementation of decision support systems (DSS) that integrate data from automated monitoring systems, hydro-meteorological stations, and satellite systems. DSS has been shown to provide real-time data analysis, enable risk forecasting, and model ship movement trajectories. This allows port dispatchers to receive precise recommendations for optimizing vessel movements, even under the most challenging conditions. Additionally, it is noted that the use of simulation modeling systems built on neural networks enables the analysis of complex scenarios, such as close vessel encounters, loss of vessel controllability, or the impact of adverse weather conditions. These systems serve as tools for both crew training and risk assessment in specific water areas. Experience demonstrates that the implementation of decision support systems and simulation modeling increases safety levels, optimizes vessel movements, and ensures continuity of logistics processes in ports with high traffic density. The obtained results are useful for further improvement of port logistics in constrained waters and can be adapted for other ports with similar operating conditions.

Key words: constrained port waters, decision support systems, human factor, large-tonnage vessel, maritime safety, maritime transport, maritime vessel, navigational safety, navigational situation, neural network, ship maneuvering.