

Левченко О.В., Маранов О.В.

ІНТЕГРАЦІЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ СУДЕН У ПОРТОВИХ АКВАТОРІЯХ

Проведено аналіз особливостей забезпечення навігаційної безпеки під час маневрування суден у стиснутих портових акваторіях з інтенсивним судноплавством. Розглянуто ключові виклики, які постають перед організацією руху суден у таких умовах, включаючи вузькі фарватери, близьке розташування причалів, портових споруд і високу щільність судноплавного трафіку. Особливу увагу приділено гідрографічним і метеорологічним факторам, таким як мілководдя, сильні течії, вітер, хвилювання і змінна глибина, які значно впливають на маневрові характеристики суден, особливо великотоннажних танкерів, контейнеровозів та балкерів. Однією з найбільших небезпек під час маневрування в обмеженій акваторії є ризик навігаційних інцидентів, таких як зіткнення суден, посадка на мілину чи пошкодження портової інфраструктури. Особливо критичним є забезпечення безпечного розходження суден на вузьких фарватерах і у зонах з інтенсивним рухом. Низькі швидкості, що використовуються для точного маневрування, можуть зменшувати керованість суден, що особливо небезпечно для великотоннажних суден із обмеженими маневровими можливостями. Людський фактор продовжує залишатися однією з головних причин навігаційних аварій. Недостатня кваліфікація екіпажів або лоцманів, недостатня координація між судноводіями та портовими диспетчерами, а також обмежений час на прийняття рішень є основними чинниками, що створюють загрозу навігаційній безпеці. У сукупності ці чинники можуть призводити до небезпечних ситуацій, що загрожують як суднам, так і інфраструктурі порту. З метою забезпечення безпеки мореплавання в умовах обмеженого простору запропоновано впровадження комбінованих систем підтримки ухвалення рішень (Combined Decision Support Systems CDSS). Ці системи забезпечують інтеграцію даних з автоматизованих ідентифікаційних систем (AIS), гідрометеорологічних датчиків, радарів і супутникових систем, що дозволяє виконувати моніторинг руху суден в реальному часі. CDSS аналізує просторове розташування суден, їхні курси, швидкість та параметри осадки, що дає змогу прогнозувати потенційні конфлікти, забезпечувати безпечне розходження суден і пропонувати оптимальні траєкторії руху. Симуляційне моделювання, засноване на нейронних мережах, відіграє важливу роль у створенні реалістичних сценаріїв для відпрацювання навігаційних ситуацій. Ці системи дозволяють аналізувати ризики, що виникають у складних умовах, таких як небезпечне зближення суден, втрати керованості через погодні умови чи недостатню глибину. Крім того, симуляції широко використовуються для тренування екіпажів і вдосконалення алгоритмів розподілу трафіку. Отримані результати показують, що застосування комбінованих CDSS та симуляційного моделювання значно покращує рівень навігаційної безпеки, мінімізує ризик зіткнень та сприяє оптимізації руху суден. Це сприяє забезпеченню безперебійної роботи портів із високою щільністю руху, підвищує ефективність управління судноплавством та створює нові стандарти безпеки мореплавства. Запропоновані рекомендації можуть бути адаптовані для інших портів із подібними умовами експлуатації, забезпечуючи стабільність та екологічну стійкість міжнародних логістичних ланцюгів.

Ключові слова: безпека судноплавства, великотоннажні судна, комбіновані системи підтримки ухвалення рішень (CDSS), запобігання зіткнення суден, координація руху суден, маневрування суден, морський транспорт, морське судно, навігаційна безпека, нейронні мережі,

оптимізація руху суден, ризик зіткнень, розходження суден, симуляційне моделювання, стиснені портові води, траєкторія руху суден.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Ефективне управління судноплавством у портових водах із високою інтенсивністю руху є ключовим завданням сучасної морської логістики [1, 2]. Швидке зростання обсягів міжнародної торгівлі, що супроводжується збільшенням розмірів суден та їх кількості, створює значні виклики для забезпечення безпеки судноплавства та оптимального використання портової інфраструктури [3, 4]. Проблеми, що виникають у таких умовах, включають складність координації руху суден, ризик зіткнень, затримки через неефективний розподіл черговості маневрів, а також негативний вплив на екологію через можливі аварії.

Особливо це актуально для портів із обмеженими акваторіями, таких як Альхесірас та Гібралтар, які функціонують у складних навігаційних умовах. Їх вузькі фарватери, високий рівень трафіку та динамічні гідрометеорологічні умови значно ускладнюють роботу як портових операторів, так і капітанів суден. У таких ситуаціях навіть незначна помилка у прийнятті рішень може призвести до аварій, економічних втрат або екологічних катастроф [5-8].

Для розв'язання цих проблем необхідні інноваційні підходи, зокрема впровадження комбінованих систем підтримки прийняття рішень (CDSS). Ці системи дозволяють інтегрувати великі обсяги даних з різних джерел, аналізувати їх у реальному часі, прогнозувати розвиток подій та ефективно координувати рух суден. Використання CDSS сприяє зниженню ризику зіткнень, мінімізації затримок і підвищенню ефективності управління портовими операціями [9, 10].

Таким чином, забезпечення безпеки судноплавства та оптимального функціонування портів через використання сучасних технологій, таких як CDSS, є важливим як у науковому, так і в практичному аспекті. Це сприяє стабільності глобальних логістичних ланцюгів, покращує економічну ефективність портової діяльності та підтримує екологічну стійкість транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні наукові дослідження зосереджені на вирішенні проблеми забезпечення безпеки судноплавства у стиснених портових водах, особливо в умовах зростання розмірів суден та інтенсивності руху. Значна увага приділяється вивченню впливу гідрометеорологічних умов, таких як течії, хвилювання та вітрові навантаження, на маневрові характеристики великотоннажних суден [11-14]. У роботах розглядаються підходи до моделювання впливу цих факторів на траєкторію руху суден, що дозволяє оцінити ризики та вдосконалити стратегії маневрування [15, 16].

Особливий інтерес викликають дослідження з оптимізації руху суден за допомогою алгоритмів розрахунку безпечних траєкторій, що враховують динаміку суден, характеристики акваторії та зовнішні фактори, а також енергетичні показники судна [17, 18]. Розробка таких алгоритмів базується на використанні нейронних мереж та систем підтримки прийняття рішень (CDSS), які інтегрують дані з автоматичних ідентифікаційних систем (AIS) та гідрометеорологічних станцій. В наукових працях [19, 20] підкреслюється важливість застосування симуляційного моделювання для створення реалістичних сценаріїв руху суден у портових водах. Це дозволяє ефективно відтворювати складні ситуації, які виникають у вузьких акваторіях з високою щільністю трафіку, та випробовувати різні стратегії маневрування без ризику реальних зіткнень.

Незважаючи на значні досягнення в галузі, численні дослідження вказують на необхідність подальшого розвитку методів та технологій для зниження ризиків зіткнень у портових водах [21, 22]. Статистика інцидентів у портових акваторіях залишається високою, що підтверджується дослідженнями призначеними цієї проблемі [23-25]. У цих публікаціях також наголошується на

важливості інтеграції сучасних технологій у повсякденну практику портових операцій та підвищенні рівня підготовки екіпажів.

Таким чином, проведені дослідження демонструють перспективність використання комбінованих систем підтримки прийняття рішень та симуляційного моделювання для забезпечення безпеки судноплавства у складних портових умовах. Однак існує потреба у подальших дослідженнях, спрямованих на адаптацію цих технологій до специфічних умов окремих портів і удосконалення алгоритмів управління судновим рухом.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є аналіз ефективності комбінованих систем підтримки прийняття рішень (CDSS) для підвищення безпеки та оптимізації руху суден у умовах високої щільності портового трафіку, з акцентом на забезпечення безпеки маневрування в портових водах і розробку рекомендацій щодо впровадження цих технологій у практику судноплавства.

Виклад основного матеріалу. Маневрування суден у портових акваторіях із обмеженим простором є надзвичайно складним завданням, яке потребує високої точності, узгоджених дій та професійної підготовки екіпажу. Умови обмеженого простору, зумовлені вузькими фарватерами, близьким розташуванням причалів та портової інфраструктури, а також високою інтенсивністю руху суден, значно ускладнюють процес маневрування, особливо що стосується великотоннажних суден.

Додатковими факторами, які ускладнюють маневрування, є гідрографічні умови. Мілководдя, змінна глибина, а також сильні течії впливають на здатність суден точно виконувати маневри. Крім того, погодні умови, зокрема сильний вітер, хвилювання чи густий туман, значно обмежують видимість та ускладнюють контроль над судном. У таких обставинах будь-яка помилка, навіть незначна, може мати критичні наслідки, включаючи зіткнення з іншими суднами, пошкодження портових споруд або причалів.

Найбільшу небезпеку в таких умовах становлять обмеження часу на прийняття рішення. У стиснених акваторіях із високою щільністю трафіку судна повинні діяти швидко, щоб уникнути потенційних інцидентів. Зниження швидкості, що використовується для більш точного маневрування, нерідко зменшує контроль над судном, особливо для великотоннажних суден із обмеженими маневровими можливостями.

Людський фактор залишається однією з основних причин виникнення небезпечних ситуацій під час маневрування. Брак досвіду у членів екіпажу або лоцманів, недостатня координація між судновим екіпажем і портовою адміністрацією чи помилки в ухваленні рішень можуть створювати критичні обставини. Тому особлива увага повинна приділятися підвищенню рівня підготовки персоналу та розвитку технологій, які сприяють прийняттю точних і своєчасних рішень.

Порти Альхесірас і Гібралтар є важливими вузлами міжнародної морської торгівлі, що обслуговують велику кількість суден різних типів і розмірів. Їхнє стратегічне розташування на перехресті морських шляхів обумовлює високий рівень трафіку, що створює численні виклики для забезпечення безпеки судноплавства. Порт Альхесірас є найбільшим портом Іспанії за обсягами вантажообігу, щорічно порт обслуговує приблизно 30000 суден, обробляючи понад 109 млн. тонн вантажів та 4,76 млн. TEU на рік. Порт Гібралтар відіграє стратегічну роль у міжнародній торгівлі та судноплавстві, забезпечуючи послуги з бункерування, ремонту та обслуговування суден. Крім того, він є важливим центром для круїзних лайнерів, сприяючи розвитку туризму в регіоні. На рік порт обслуговує понад 10350 суден. Зростаючий обсяг вантажообігу, збільшення розмірів суден та складні гідрометеорологічні умови потребують впровадження інноваційних підходів до управління рухом суден. Для забезпечення максимальної ефективності та безпеки судноплавства в двох портах одночасно, в сучасні час в тестовому режимі використовують комбіновану систему підтримки прийняття рішень (CDSS).

Сучасні CDSS портів Альхесірас і Гібралтар, інтегрують дані з автоматизованих ідентифікаційних систем (AIS), радарів, гідрометеорологічних станцій та портових інформаційних систем. Це дозволяє здійснювати моніторинг трафіку в реальному часі, аналізувати потенційні

ризиками та прогнозувати оптимальні сценарії руху. В умовах портів Альхесірас і Гібралтар CDSS виконує ключову функцію координації руху суден, зокрема в ситуаціях одночасного входу та виходу кількох великотоннажних суден.

Комбінована система підтримки прийняття рішень (Combined Decision Support Systems, CDSS) являє собою інтегрований програмно-апаратний комплекс, який дозволяє диспетчерам керувати рухом суден оперативно й ефективно. Вона забезпечує прийняття обґрунтованих рішень на основі аналізу зібраної, обробленої та структурованої інформації.

Функціонування цієї системи ґрунтується на ключових принципах:

1) обробка інформації в реальному часі з двох чи більше портів: CDSS синхронізує дані з обох портів, що дозволяє отримати цілісну картину руху суден та зовнішніх факторів. Наприклад, система аналізує, які судна мають перетнути спільну акваторію, і прогнозує їхнє взаємне положення;

2) моделювання сценаріїв та надавання рекомендацій для операторів портів: за допомогою математичних моделей та алгоритмів штучного інтелекту система прогнозує розвиток ситуацій. Наприклад, якщо одночасно з портів виходять кілька великотоннажних суден, CDSS може розрахувати оптимальну траєкторію для кожного, щоб уникнути конфліктів;

3) визначення пріоритету руху суден: CDSS враховує характеристики суден, такі як розміри, осадка, швидкість та маневровість. Судна з обмеженою маневровістю, наприклад, великотоннажні танкери чи контейнеровози, отримують пріоритет у русі;

4) інтеграція даних з двох чи більше портів: CDSS враховує взаємодію між рухом суден в Альхесірасі та Гібралтарі. Наприклад, якщо судно виходить з Альхесірасу й рухається до Гібралтару, система координує його маневри, враховуючи інтенсивність трафіку в акваторії другого порту;

5) виявлення потенційних конфліктів між суднами: Система аналізує можливі ризики зіткнень, посадки на мілину або затримок у русі суден, завчасно надаючи рекомендації операторам портів і екіпажам суден;

6) моніторинг трафіку в реальному часі: CDSS безперервно відстежує позиції суден в акваторії, використовуючи інтегровані дані з радарів, AIS та гідрометеорологічних датчиків. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни в навігаційних умовах і забезпечувати безпечний рух суден навіть у складних ситуаціях;

7) автоматизація рішень: CDSS не лише надає рекомендації, але й дозволяє автоматизувати деякі процеси прийняття рішень, наприклад, розподіл черговості заходу або виходу суден із порту. Це зменшує залежність від людського фактора та підвищує ефективність управління.

Одним із наглядних прикладів застосування комбінованої системи підтримки прийняття рішень (Combined Decision Support Systems, CDSS), наведена на рис. 1. В даному сценарії, з порту Альхесірас виходять балкер (довжиною 200,3 м, шириною 32,2 м) і танкер (довжиною 278,3 м, шириною 41,9 м). Одночасно з порту Гібралтар виходять крупнотоннажний контейнеровоз на 12350 TEU (довжиною 400,2 м, шириною 60,1 м) та пасажирський пором (довжиною 82,2 м, шириною 15,9 м). У цей час до портів заходять автомобільний пором (довжиною 150,1 м, шириною 25,2 м) і нафтовий танкер (довжиною 290,3 м, шириною 45,1 м) в Альхесірас, а також круїзне судно (довжиною 330,3 м, шириною 40,2 м) і невеликий контейнеровоз на 730 TEU (довжиною 169,9 м, шириною 28,0 м) у Гібралтар, як наведено в таблиці 1. Така інтенсивність трафіку створює складну навігаційну ситуацію, яка потребує високого рівня координації для уникнення зіткнень та забезпечення безпеки.

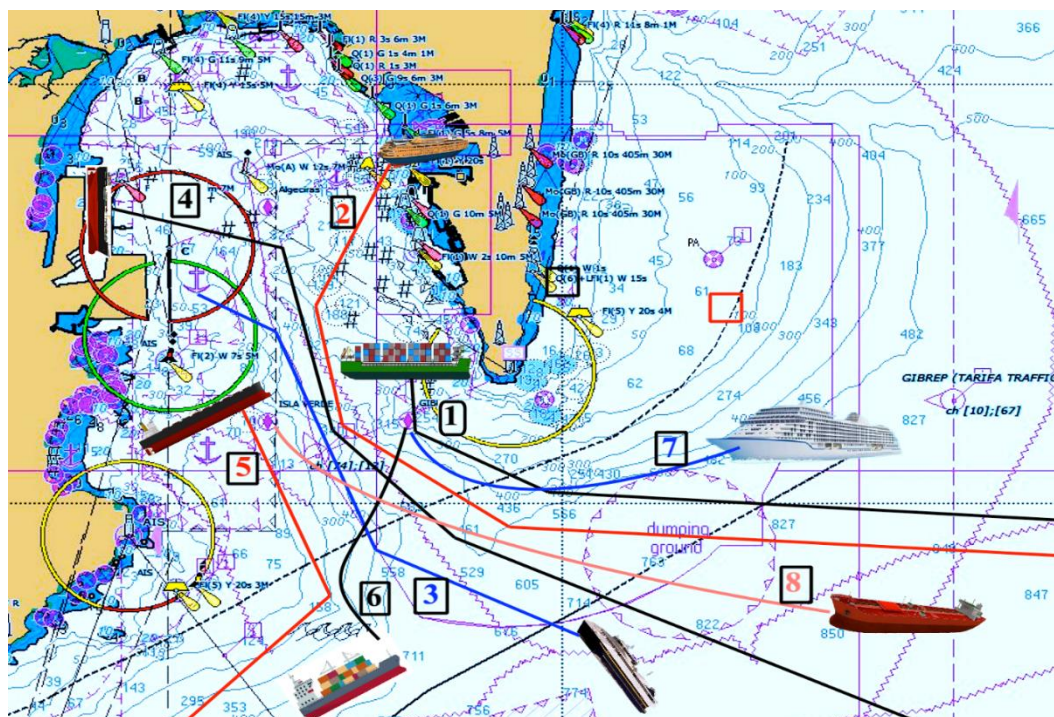


Рисунок 1 – Відображення поетапного заходу та виходу суден за допомогою використання комбінованої системи підтримки та прийняття рішень

Таблиця 1 – Початкові данні для аналізу системи підтримки прийняття рішень CDSS

ПОРТ АЛЬХЕСІРАС	ПОРТ ГІБРАЛТАР
Планові судна на вихід з порту	Планові судна на вихід з порту
1. Балкер довжиною 200,3 м і шириною 32,2 м. Виходить з північної якірної стоянки. 2. Танкер довжиною 278,3 м і шириною 41,9 м. Відшвартовується від причалу 4В.	1. Крупнотоннажний контейнеровоз на 12350 TEU довжиною 400,2 м і шириною 60,1 м. Виходить з південної якірної стоянки. 2. Пасажирський пором довжиною 82,2 м і шириною 15,9 м. Відшвартовується від причалу 23.
Планові судна на захід в порт	Планові судна на захід в порт
1. Автомобільний пором довжиною 150,1 м і шириною 25,2 м. Прямує на бункерування. 2. Нафтовий танкер довжиною 290,3 м і шириною 45,1 м. Прямує в порт до причалу 4В.	1. Круїзне судно довжиною 330,3 м і шириною 40,2 м. Прямує в порт до причалу 18. 2. Контейнеровоз довжиною 169,9 м і шириною 28,0 м. Прямує на бункерування.

За початковою інформацією щодо планового виходу груп суден з портів Альхесірасі та Гібралтарі та заходу інших суден, система CDSS.

У цьому випадку, комбінована система підтримки прийняття рішень CDSS, працює за кількома напрямками. По-перше, система визначає пріоритет руху суден, аналізуючи їхні технічні характеристики, розміри, швидкість і маневрові можливості. Наприклад, контейнеровоз із Гібралтару отримує пріоритет через більшу осадку та обмежену маневровість, тоді як пасажирський пором через свої розміри і високу маневреність може вийти пізніше. По-друге, CDSS оптимізує розклад руху, враховуючи гідрометеорологічні умови, такі як вітер, течії та видимість, а також динаміку руху інших суден. Наприклад, якщо круїзне судно затримується через несприятливі погодні умови, система автоматично коригує розклад для інших суден, щоб уникнути заторів.

Моніторинг та координація є ключовими функціями CDSS. У реальному часі система відстежує позиції всіх суден, аналізує їхній курс і швидкість, а також повідомляє екіпажі про потенційні ризики. У разі виникнення непередбачених ситуацій CDSS пропонує альтернативні траєкторії руху, забезпечуючи дотримання безпечних дистанцій між суднами. Комунікація також є важливою складовою. Система автоматично передає інформацію диспетчерам портів та суднам, надаючи рекомендації для безпечного маневрування.

Результат застосування CDSS у портах Альхесірас і Гібралтар продемонстрував значні переваги. Кілька великотоннажних суден змогли успішно виконати свої маневри без затримок і ризику зіткнень. Це стало можливим завдяки тому, що система не лише оптимізувала порядок маневрування, але й надавала диспетчерам порту чіткі рекомендації щодо дій у реальному часі.

Цей приклад підкреслює здатність CDSS ефективно працювати в умовах високої щільності портового трафіку. Система сприяє покращенню координації між суднами в обох портах, забезпечуючи вищий рівень безпеки та ефективності операцій. Такі випадки демонструють, як інноваційні технології можуть інтегруватися в щоденну практику управління портами, встановлюючи нові стандарти продуктивності й безпеки.

Крім CDSS, у портах Альхесірас і Гібралтар активно застосовується симуляційне моделювання для аналізу та прогнозування ризиків. Використання систем, побудованих на базі нейронних мереж, дозволяє створювати реалістичні сценарії руху суден в акваторії портів. Це включає врахування таких факторів, як погодні умови, технічні характеристики суден і взаємодія з течіями або іншими перешкодами. Завдяки цьому диспетчери обох портів можуть заздалегідь ідентифікувати потенційно небезпечні ситуації та впроваджувати превентивні заходи.

Інтеграція CDSS із симуляційними моделями дозволяє розробляти та тестувати оптимальні стратегії маневрування, які мінімізують ризики навіть у найскладніших умовах. Це сприяє підвищенню ефективності управління рухом суден і забезпечує безперебійну роботу портів Альхесірас і Гібралтар як ключових вузлів міжнародної торгівлі.

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

1. Проведений аналіз підтверджує критичну важливість інтеграції сучасних технологій для забезпечення навігаційної безпеки у стиснених портових водах із високою інтенсивністю руху суден.

2. Комбіновані системи підтримки ухвалення рішень (CDSS) забезпечують оперативний аналіз інформації в реальному часі, дозволяючи прогнозувати ризики зіткнень, оптимізувати траєкторії руху суден та координувати їхній рух навіть у складних навігаційних умовах.

3. Використання CDSS сприяє інтеграції даних із різних джерел, таких як AIS, радари та гідрометеорологічні датчики, що підвищує точність моніторингу руху суден і мінімізує вплив людського фактора.

4. Інтеграція CDSS із симуляційними моделями, заснованими на нейронних мережах, дозволяє створювати реалістичні сценарії для аналізу ризиків, оптимізації маневрування суден і підготовки екіпажів до дій у складних умовах, що значно підвищує рівень навігаційної безпеки, мінімізує ризики зіткнень і забезпечує безперебійну роботу портової інфраструктури.

5. Запропоновані технології сприяють стабільності глобальних логістичних ланцюгів, покращують екологічну стійкість транспортних систем і підвищують економічну ефективність портових операцій, а також можуть бути адаптовані до інших портів із подібними умовами експлуатації, забезпечуючи підвищення рівня безпеки мореплавства та ефективності управління судноплавством.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
3. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk 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. – 10(9), 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
4. Войченко Т.О., Трофименко І.В., Шевченко А.П., Рященко О.І. Аналіз напрямів досліджень щодо маршрутизації транспортних засобів при експлуатації контейнерних терміналів морських портів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 82-89. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.10.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Богом'я В.І. Метод розпізнавання підводних об'єктів за допомогою багатопроменевого сонара для забезпечення безпеки безпілотного підводного апарату // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.10.
11. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // Applied Ocean Research, 2023. – Vol. 140. 103745. https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745.
12. 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.
13. 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.
14. Бажак О.І., Гаценко Л.В. Сучасні методи адаптації морського транспорту до впливу природних факторів : досвід та перспективи // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 32-40. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.04.
15. 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.

16. 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.
17. 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(10). – P. 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.
18. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
19. Гончарук І.П., Никифоров Ю.О., Кошарська Л.В., Головань А.І. Особливості впливу відновлюваної енергетики на ефективність і екологічність морського транспорту. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
20. Фуклев О.І., Євтушенко М.Ю. Моделі розходження суден у стиснених водах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 159-166. doi: 10.33298/2226-8553.2024.3.41.18.
21. Сагін С.С., Сагін С.С. Використання гібридної системи координації руху морських суден під час їх маневрування в стиснених водах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 208-220. doi: 10.33298/2226-8553.2024.3.41.24.
22. Сагін С.С., Сагін С.С. Забезпечення безпеки маневрування великотоннажних суден в стиснених портових водах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 208-220. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21.
23. 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.
24. Тимошук О.М., Шапран Ю.Є. Імпульсне-модуляційне управління судновими електроенергетичними системами // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 201-207. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.23.
25. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Використання інтегрованих діагностичних моделей для оцінки експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 133-140. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.15.

REFERENCES

1. 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. – № 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
2. 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.
3. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk 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.
4. Voichenko T.O., Trofymenko I.V., Shevchenko A.P., Riashchenko O.I. Analysis of research directions on vehicle routing in the operation of container terminals of seaports // Water transport. – 2024. – № 3(41). – P. 82-89. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.10.

5. 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.
6. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
7. 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>.
8. 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>.
9. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // *Water Transport*. – 2020. – № 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
10. Bohomia V.I. A method for recognizing underwater objects using multibeam sonar to ensure the safety of an unmanned underwater vehicle // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – P. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.10.
11. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Pířtěk V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
12. 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.
13. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – № 1(37). – P.96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
14. Bazhak O.V., Hatsenko L.V. Models methods of maritime transport adaptation to natural factors : experience and prospects // *Water transport*. – 2024. – P. 3(41). – C. 32-40. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.04.
15. 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. – № 2(38). – C. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
16. 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.
17. 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(10). – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
18. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments”* (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
19. Honcharuk I.P., Nykyforov Yu.O., Kosharska L.B., Golovan A.I. Features of the influence of renewable energy on the efficiency and environmental safety of marine transport// *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – P. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
20. Fukliev O.I., Yevtushenko M.Yu. Models of ship dispersion in compressed waters // *Water transport*. – 2024. – № 3(41). – P. 159-166. doi: 10.33298/2226-8553.2024.3.41.18.
21. Sagin S.S., Sagin S.V. Using a hybrid system for coordinating the movement of sea vessels during their maneuvering in compressed waters // *Water transport*. – 2024. – № 3(41). – P. 208-220. doi: 10.33298/2226-8553.2024.3.41.24.

22. Sagin S.S., Sagin S.V. Ensuring the safe maneuvering of large-tonnage vessels in confined port waters // Water transport. – Вип. 3(41). – С. 208-220. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21.
23. 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.
24. Tymoshchuk O., Shapran Y. Pulse-modulation control of ship power systems // Water transport. – 2024. – № 3(41). – P. 201-207. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.23.
25. Sagin S.V., Zablotskyi Y.V. Use of integrated diagnostic models to assess the operational characteristics of a ship's propulsion system // Water transport. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 133-140. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.15.

Levhenko O.V., Maranov O.V.

INTEGRATION OF COMBINED DECISION SUPPORT SYSTEMS TO ENSURE NAVIGATIONAL SAFETY AND OPTIMIZE VESSEL TRAFFIC IN PORT AREAS

The analysis of the features of ensuring navigational safety during vessel maneuvering in compressed port areas with intensive shipping traffic was carried out. The key challenges facing the organization of vessel traffic in such conditions were considered, including narrow fairways, close proximity of berths, port facilities and high density of shipping traffic. Particular attention was paid to hydrographic and meteorological factors, such as shallow water, strong currents, wind, waves and variable depth, which significantly affect the maneuvering characteristics of vessels, especially large-tonnage tankers, container ships and bulk carriers. One of the greatest dangers during maneuvering in a limited water area is the risk of navigational incidents, such as vessel collisions, groundings or damage to port infrastructure. Ensuring safe separation of vessels in narrow fairways and in areas with heavy traffic is particularly critical. Low speeds used for precise maneuvering can reduce vessel controllability, which is especially dangerous for large-tonnage vessels with limited maneuvering capabilities. The human factor continues to be one of the main causes of navigational accidents. Insufficient qualification of crews or pilots, insufficient coordination between shipmasters and port dispatchers, as well as limited time for decision-making are the main factors that pose a threat to navigational safety. Taken together, these factors can lead to dangerous situations that threaten both vessels and port infrastructure. In order to ensure the safety of navigation in confined spaces, the implementation of combined decision support systems (CDSS) has been proposed. These systems integrate data from automated identification systems (AIS), hydrometeorological sensors, radars and satellite systems, which allows for real-time monitoring of vessel movements. CDSS analyzes the spatial location of vessels, their courses, speeds and draft parameters, which allows predicting potential conflicts, ensuring safe separation of vessels and suggesting optimal trajectories. Simulation modeling based on neural networks plays an important role in creating realistic scenarios for practicing navigational situations. These systems allow analyzing risks arising in complex conditions, such as dangerous convergence of vessels, loss of control due to weather conditions or insufficient depth. In addition, simulations are widely used for crew training and improving traffic distribution algorithms. The results obtained show that the use of combined CDSS and simulation modeling significantly improves the level of navigational safety, minimizes the risk of collisions and contributes to the optimization of vessel movement. This contributes to the smooth operation of ports with high traffic density, increases the efficiency of shipping management and creates new standards of maritime safety. The proposed recommendations can be adapted for other ports with similar operating conditions, ensuring the stability and environmental sustainability of international logistics chains.

Keywords: shipping safety, large-tonnage vessels, combined decision support systems (CDSS), ship collision prevention, ship traffic coordination, ship maneuvering, maritime transport, seagoing vessel, navigational safety, neural networks, ship traffic optimization, collision risk, ship separation, simulation modeling, compressed port waters, ship traffic trajectory.