

*Мельник О.М., Калініченко Є.В., Бурлаченко Д.А.,
Никитюк П.В., Колесник О.В.*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ ШЛЯХОМ РОЗРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЙ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ НА БАЗІ «МОДЕЛІ ВІДКРИТОГО МОРЯ»

Зіткнення суден становлять значний ризик для безпеки на морі, людських життів і навколишнього середовища. Для зменшення цього ризику, нагальною потребою є розробка та використання передових системи та технологій, які допомагають штурманському складу сучасних суден приймати ефективні рішення та уникати ситуацій надмірного зближення. Однією з таких систем є система запобігання зіткненням суден з використанням моделі відкритого моря (OSM), яка являє собою динамічне представлення морського середовища, включно з інформацією про параметри руху суден-цілей в реальному часі. У цій статті представлено огляд систем запобігання зіткненням суден з використанням моделювання, обговорюються їх компоненти, методологія та переваги. Підкреслюється необхідність розробки та впровадження систем запобігання зіткненням суден і негативний вплив потенційних наслідків зіткнень. Розглядаються основні компоненти системи, включаючи збір і попередню обробку даних. Обговорюється розвиток таких моделей, підкреслюється їх роль у представленні та візуалізації морського середовища, її природа в режимі реального часу. Представляється методологія оцінки ризику зіткнення, розрахунок параметрів руху суден, таких як найближча точка зближення і потенційні курси зіткнення. Описано процес прийняття рішень щодо уникнення зіткнення суден, включаючи генерування оповіщень, попереджень і рекомендованих дій. Крім того, в статті розглядається розробка користувальницького інтерфейсу, який візуалізує модель відкритого моря, покращуючи взаємодію з користувачем і його обізнаність про ситуацію. Також підкреслюється важливість інтеграції системи з навігаційним обладнанням судна. Втім обумовлюється складність процесу впровадження систем запобігання зіткненням суден і необхідність дотримання морських правил і норм безпеки, експертної оцінки і дотримання галузевих стандартів для забезпечення ефективної і юридично сумісної системи. Загалом, використання систем запобігання зіткненням суден надає екіпажам суден потужний інструмент для оцінки ризиків зіткнення, прийняття обґрунтованих рішень і підвищення безпеки на морі в режимі реального часу і використання передових методологій сприяючих мінімізації потенційних наслідків зіткнення суден і захисту людських життів, майна і навколишнього середовища.

Ключові слова: моделювання, попередження зіткнень, модель відкритого моря, ризик зіткнення суден, потенційні курси зіткнення, безпека на морі, екіпаж судна, оцінка ризиків, безпека судноводіння, керування рухом.

Постановка проблеми. Проблеми, що загрожують безпеці судноплавства становлять значні ризики для життя людей, довкілля та майна. Зіткнення суден є серйозною загрозою, яку всупереч класичним методам, необхідно розв'язувати за допомогою розроблення та застосування передових систем і технологій. Одним із сучасних рішень є розроблення систем запобігання зіткненням суден з використанням моделювання, таких як система запобігання зіткненням суден з використанням моделі відкритого моря (OSM). Ця система здатна надавати

допомогу штурманському складу сучасних суден приймати ефективні рішення щодо процесу розходження та уникнення небезпечних ситуацій, ситуацій надмірного зближення з іншими суднами з метою зниження ризику зіткнень, покращення безпеки на морі та захисту навколишнього середовища.

Мета статті. Метою даної статті є всебічний розгляд та обговорення процесу впровадження систем запобігання зіткненню суден з використанням моделей для забезпечення безпеки судноводіння, зокрема переваги та потенціал, які вони надають для поліпшення безпеки судноплавства.

Виклад основного матеріалу. Моделювання процесів розходження суден та розробка систем запобігання зіткненню суден є важливим інструментом який включає в себе використання різноманітних даних та алгоритмів для оцінки ризиків зіткнення та розрахунку оптимальних та прогнозованих шляхів руху суден. Моделі попередження зіткнення - це комплексні системи аналізу та прогнозування, які використовуються для виявлення потенційних ризиків зіткнення між суднами і надання рекомендацій з уникнення цих ситуацій. Ці моделі базуються на зборі, обробці та аналізі різних видів даних, включаючи положення суден, шляхи руху, швидкості, прогнозні дані погоди та інші фактори, які можуть впливати на безпеку мореплавства.

Моделі попередження зіткнення використовуються для розрахунку параметрів, таких як найближча точка зближення (CPA - Closest Point of Approach), час до CPA, потенційні курси зіткнення та інші характеристики руху суден. Застосування алгоритмів та математичних моделей дозволяє оцінити ризик зіткнення та розробити рекомендації для судноводіїв та операторів систем руху суден з метою запобігання зіткненням.

Моделі попередження зіткнення зазвичай включають в себе велику кількість даних і використовують різні алгоритми, такі як алгоритми оптимізації маршруту, методи класифікації та прогнозування, щоб аналізувати та передбачати ситуації, що можуть призвести до зіткнення. Однак, варто пам'ятати, що моделі попередження зіткнення надають рекомендації та допомогу при прийнятті рішень, але остаточні рішення щодо безпеки мореплавства залежать від судновласників, операторів суден та державних органів прибережних країн.

Такі моделі відрізняється від існуючих засобів попередження зіткнення суден своєю точністю врахування географічних умов рейсу, рельєфу морського дна та інших факторів, що впливають на рух суден. Більш точний та реалістичний прогноз руху суден у відкритому морі, ширший спектр аналізу та прогнозування можливих сценаріїв та їх реалізації в режимі реального часу з візуалізацією даних. Такі моделі враховують широке коло потенційних ситуацій зіткнень, включаючи різні типи суден, різні швидкості, шляхи руху та інші параметри. Як результат завдяки рекомендованим діям вони допомагають підвищити ефективність та безпеку мореплавства, зменшити ризик зіткнень та полегшити прийняття рішень для судноводіїв та операторів систем руху суден.

Для реалізації системи запобігання зіткненню суден використовуються різні методи і технології. Одним з підходів є використання моделі відкритого моря (OSM – Open Sea Model), яка представляє динамічне морське середовище, яке включає інформацію про місцезположення, курси і швидкості суден. Загальний опис побудови системи запобігання зіткненням суден за допомогою моделі відкритого моря (OSM):

- Збір та отримання необхідних даних для моделі. Сюди входить інформація про місцезположення цілей, їх курси, швидкості та інші відповідні параметри які збираються з різних джерел, таких як дані AIS (автоматична ідентифікаційна система), радари, супутникові знімки або навіть змодельовані дані.

- Попередня обробка даних. На цьому етапі відбувається сегрегація та обробка отриманих даних, включаючи фільтрацію зашумлених або ненадійних даних, перетворення форматів даних, якщо це необхідно, а також забезпечення узгодженості та точності даних.

- Розробка моделі OSM, яка наочно представляє оточення та морське середовище. Ця модель повинна включати місцезположення суден, їхні курси і швидкості, отримані з даних.

Модель повинна мати можливість оновлюватися в режимі реального часу по мірі надходження та опрацювання нових даних.

– Оцінка ризику зіткнення. Використовування моделі відкритого моря для оцінки ризику зіткнення між різними суднами. Це можна зробити шляхом розрахунку таких параметрів, як (CRA), (ТСРА) і потенційний курс зіткнення на основі місцеположень, курсів і швидкостей суден. Для визначення потенційних сценаріїв зіткнення можуть використовуватися різні алгоритми і методи, такі як «пошук найближчого сусіда» або моделі оцінки ризику зіткнення.

– Прийняття рішень. На основі оцінки ризику система приймає рішення, щоб уникнути потенційних зіткнень. Це може включати генерування сповіщень про зіткнення або попереджень для судових операторів, пропонування коригування курсу або швидкості, або навіть надання автономних команд управління судовій навігаційній системі.

– Візуалізація та операторський інтерфейс, який візуалізує модель і надає оновлення в реальному часі про місцеположення суден, ризику зіткнення і рекомендовані дії. Цей інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим і зручним для користувача, що дозволить судовим операторам швидко приймати обґрунтовані рішення.

– Інтеграція системи запобігання зіткненню суден з навігаційною системою судна, іншими системами та обладнанням на містку забезпечує безперебійний зв'язок і виконання рекомендованих дій для уникнення зіткнень (рис.1).

Важливо зазначити, що впровадження систем запобігання зіткненню суден (anti-collision systems) передбачає дотримання складних правил, міркувань безпеки та інтеграцію з існуючими навігаційними системами. В цьому зв'язку постійний контакт та консультації з експертами, дотримання галузевих стандартів мають вирішальне значення для забезпечення ефективності таких систем. Розвиток і можливість оновлення OSM у режимі реального часу є ключовими аспектами належного функціонування систем запобігання зіткненням, деякі чинники та перспективи цього розвитку представлені у табл.1.

Оновлення OSM в режимі реального часу і його здатність пристосовуватися до умов у відкритому морі, що змінюються, дозволяють системі запобігання зіткнень бути актуальною і ефективною в постійно змінюваному морському середовищі. Це важливий аспект для забезпечення безпеки судноплавства та запобігання аваріям.

Таблиця 1 – Особливості моделі відкритого моря (OSM)

Чинники	Особливості
Оновлення в режимі реального часу	Використання даних у реальному часі. OSM може отримувати дані в реальному часі від різних джерел, таких як системи AIS або радары, щоб оновлювати інформацію про положення та рух суден. Це дозволяє моделі відображати актуальні ситуації та зміни, що відбуваються у морському середовищі.
Адаптивність до умов, що змінюються	Однією з важливих особливостей OSM є його здатність адаптуватися до умов, що змінюються у відкритому морі. Модель може враховувати змінні фактори, такі як погода, течії, наявність інших суден та перешкод, та вносити відповідні зміни до подання морського середовища.
Обробка динамічних даних	OSM обробляє динамічні дані про суди та довкілля, щоб надати точну та актуальну інформацію про ризики зіткнень. Це включає розрахунки параметрів, таких як CRA (найближча точка зближення) та прогнозування можливих курсів зіткнень на основі поточних даних.
Інтеграція із системами навігації	OSM може інтегруватися із системами навігації на судні, що дозволяє операторам отримувати оновлену інформацію про ризики зіткнень та вживати відповідних заходів у реальному часі. Це підвищує безпеку та допомагає операторам приймати поінформовані рішення під час навігації.

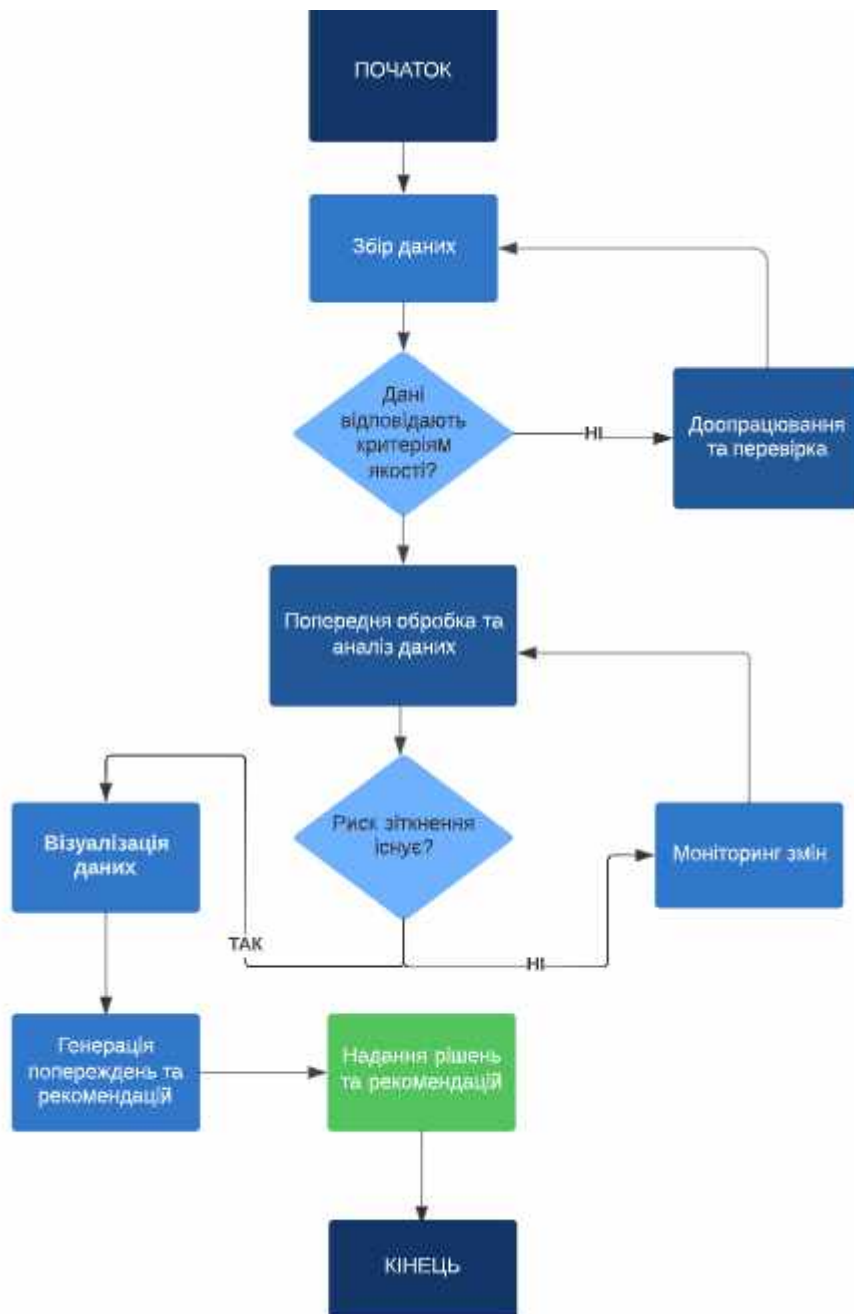


Рисунок 1 - Блок-схем функціоналу OSM

Методологія оцінки ризику зіткнень у системі запобігання зіткненням з використанням OSM включає розрахунок важливих параметрів, таких як найближча точка зближення (CPA) та потенційні курси зіткнень. Розглянемо цю методологію та процес прийняття рішень, заснований на результаті оцінки ризику зіткнень:

1. Розрахунок найближчої точки зближення (CPA). Найближча точка зближення (CPA) є крапкою на траєкторіях двох суден, де відстань між ними досягає мінімального значення. Розрахунок CPA ґрунтується на даних про положення та рух суден, які надходять до OSM. Система аналізує траєкторії суден та визначає момент, коли відстань між ними мінімальна. Це дозволяє оцінити найближчу можливу точку зближення та потенційний ризик зіткнення.

2. Розрахунок потенційних курсів зіткнень. Потенційні курси зіткнень є різними напрямками руху суден, які можуть призвести до зіткнення, якщо вони збережуться. Система

запобігання зіткнень використовує інформацію про поточні курси та швидкості суден, щоб обчислити потенційні курси зіткнень. Це дозволяє оцінити ймовірність зіткнення, якщо судна продовжать рух поточними траєкторіями.

3. Процес прийняття рішень. Результати оцінки ризику зіткнень, включаючи CPA та потенційні курси зіткнень, використовуються для створення попереджень та рекомендацій судноводіям. Система надає інформацію про потенційні загрози зіткнення та пропонує рекомендації щодо корекції курсу або швидкості судна, щоб зменшити ризик зіткнення. Ці попередження та рекомендації можуть бути надані через інтерфейс системи навігації на судні чи інші комунікаційні засоби.

Необхідно відмітити що штурманський склад суден може використовувати ці результати оцінки ризику зіткнень для прийняття поінформованих рішень та запобігання зіткненням. Також судноводії можуть вживати заходів, таких як зміна курсу або швидкості, щоб уникнути потенційно небезпечних ситуацій. Додатково можуть бути активовані системи автоматичного попередження та керування, які можуть сигналізувати про ризики зіткнень та автоматично вживати заходів для зменшення цього ризику.

Загалом методологія оцінки ризику зіткнень та процес прийняття рішень у системі запобігання зіткненням з використанням OSM забезпечують судноводіям інформацію та рекомендації для управління ризиком зіткнень та підвищення безпеки у морському середовищі.

Використання інтерфейсу, що візуалізує OSM, відіграє важливу роль у системі запобігання зіткненням. Цей інтерфейс надає судноводіям інформацію в режимі реального часу про становище суден, ризики зіткнень і рекомендовані дії, що підвищує їх обізнаність щодо ситуації та полегшує прийняття оперативних рішень, деякі особливості інтерфейсу, що візуалізує OSM:

1. Візуалізація суден: Інтерфейс відображає положення суден на морській карті в режимі реального часу. Судна позначаються на карті символами, що відображають їх тип та статус. Це дозволяє судноводіям наочно бачити поточне положення суден та їхню взаємодію.

2. Індикація ризику зіткнення: Інтерфейс може використовувати різні кольори або позначення для вказівки на потенційні ризики зіткнення між суднами. Наприклад, судна, які знаходяться поблизу CPA (найближчої точки зближення), можуть бути виділені яскравим кольором або маркером. Це дозволяє судноводіям швидко визначити потенційно небезпечні ситуації.

3. Попередження та рекомендації: Інтерфейс надає попередження та рекомендації на основі результатів оцінки ризику зіткнень. Це може містити попереджувальні повідомлення, звукові сигнали або візуальні індикатори. Крім того, інтерфейс може давати рекомендації щодо коригування курсу або швидкості судна для зменшення ризику зіткнення.

4. Додаткова інформація: Інтерфейс може надавати додаткову інформацію про кожне судно, таку як його ідентифікаційні дані, характеристики та запланований маршрут. Це допомагає судноводіям більш повно оцінити ситуацію та ухвалити поінформовані рішення.

Використання інтерфейсу, який візуалізує дані OSM, дозволяє судноводіям мати наочне уявлення про поточну ситуацію, виявляти наявність ризиків зіткнень і застосовувати рекомендовані дії. Це підвищує їх обізнаність та сприяє ухваленню оперативних рішень для забезпечення безпеки судноводіння.

Так як OSM є однією з найпоширеніших моделей уникнення зіткнення суден в її основі лежить ідея, що кожне судно рухається у власному напрямку і з власною швидкістю і може змінювати свій напрямок або швидкість, задля уникнення зіткнення з іншими суднами, тому в моделі використовується метод розрахунку очікуваного місцеположення кожного судна на основі його поточної позиції, швидкості і курсу, а також параметрів руху інших суден. Модель розраховує відстань між кожною парою суден і визначає, чи існує загроза зіткнення, у випадку якщо вона існує, модель надає рекомендації щодо зміни швидкості та напрямку руху кожного з суден, задля уникнення зіткнення.

Існує багато варіацій та вдосконалень моделей попередження зіткнень, і численні компанії та організації ведуть розробку власних моделей та програмного забезпечення для уникнення зіткнення суден у морі. Однак всі вони базуються на математичних формулах і алгоритмах для визначення найкращих рішень.

Одним з найпоширеніших і точних методів є формула Вінсента, яка дозволяє точно розрахувати відстань між двома точками на поверхні Землі, використовуючи довжину і азимут геодезичної лінії між ними та є більш точною, ніж простіші формули, які передбачають, що Земля є ідеальною сферою і можуть бути виражені в різних формах, але узагальнена має наступний вигляд:

Нехай a - велика піввісь Землі, b - мала піввісь Землі, $f = 1 - b/a$ (приблизна величина стиснення Землі), $L = \lambda_2 - \lambda_1$ (різниця довгот), $U_1 = \arctan((1 - f) \times \tan(\varphi_1))$ (приведена широта для точки 1), $U_2 = \arctan((1 - f) \times \tan(\varphi_2))$ (приведена широта для точки 2), $\lambda = L$ (початкове наближення для довготи), $\lambda_{i+1} = \lambda + \Delta\lambda$ (нова довгота, обчислена ітераційно), тоді

$$\sin \sigma = \sqrt{(\cos U_2 \times \sin \lambda_{i+1})^2 + (\cos U_1 \times \sin U_2 - \sin U_1 \times \cos U_2 \times \cos \lambda_{i+1})^2} \quad (1)$$

$$\cos \sigma = \sin U_1 \times \sin U_2 + \cos U_1 \times \cos U_2 \times \cos \lambda_{i+1} \quad (2)$$

$$\sin \alpha = \cos U_1 \times \cos U_2 \times \sin \lambda_{i+1} / \sin \sigma \quad (3)$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha \quad (4)$$

$$\cos 2\sigma_m = \cos \sigma - 2 \times \sin U_1 \times \sin U_2 / \cos^2 \alpha \quad (5)$$

$$C = f / 16 \times \cos^2 \alpha \times (4 + f \times (4 - 3 \times \cos^2 \alpha)) \quad (6)$$

$$\Delta\lambda = L + (1 - C) \times f \times \sin \alpha * (\sigma + C \times \sin \sigma \times \quad (7)$$

$$(\cos 2\sigma_m + C \times \cos \sigma \times (-1 + 2 \times \cos^2 2\sigma_m)))$$

(8)

$$s = b \times (1 - f) \times A \text{ (відстань між точками)}$$

де φ_1 і λ_1 - широта і довгота першої точки, φ_2 і λ_2 - широта і довгота другої точки, $\Delta\lambda$ - зміна довготи, s - відстань між двома точками, A - азимут (напрямок руху) від першої точки до другої точки, σ - центральний кут між двома точками на поверхні Землі, α - початковий азимут (напрямок).

Наприклад, для того щоб обчислити відстань між двома точками на поверхні Землі за формулами Вінсента, необхідно послідовно розв'язати систему рівнянь за допомогою методу ітерацій:

- 1) Обчисліть приведену широту U_1 та U_2 для кожної точки;
- 2) Використовуючи початкове наближення для довготи λ , обчисліть нову довготу λ_{i+1} ;
- 3) Обчисліть центральний кут σ , а також початковий азимут α ;
- 4) Використовуючи σ та α , обчисліть відстань s між точками.

Якщо отримане значення s достатньо близьке до заданої для пошуку відстані, воно вважається остаточним результатом. Якщо ні, використовується s для обчислення нового наближення для довготи λ і повторюються кроки 2-4, поки не досягнете потрібної точності.

Формула Вінсента є більш точним способом розрахунку відстані між двома точками на поверхні Землі порівняно з простішими формулами, які передбачають ідеальну сферичну форму Землі, що є важливим при розробці моделей та алгоритмів для уникнення зіткнень суден у морі.

Використання формули Вінсента дозволяє точніше визначити відстань між судами та розрахувати оптимальні шляхи для уникнення зіткнень, це особливо важливо в умовах навігації у вузькостях, районах з інтенсивним рухом суден або підходах до ділянок з високою щільністю руху таких як канали та протоки, та загалом надає такі переваги:

1. Підвищення точності розрахунків. Використання більш точних математичних моделей дозволяє отримати більш точні результати при розрахунках, пов'язаних з положенням, шляхами та відстанями між суднами. Це важливо для точної оцінки ризиків зіткнень та визначення оптимальних маршрутів, які допоможуть уникнути потенційних конфліктів;

2. Врахування реальних географічних умов. Врахування форми Землі та реальних географічних умов, таких як нерівномірна поверхня, рельєф дна моря та інші фактори, дозволяє отримати більш точні результати при прогнозуванні руху суден. Це особливо важливо в умовах навігації у вузьких водах або в областях зі значною морською активністю;

3. Покращення безпеки мореплавання. Використання більш точних математичних моделей допомагає забезпечити вищий рівень безпеки мореплавання. З точними розрахунками відстаней та шляхів суден можна своєчасно виявити потенційні ризики зіткнень і вжити відповідні заходи для їх уникнення;

4. Забезпечення ефективності та оптимізація руху суден. Використання більш точних математичних моделей дозволяє покращити ефективність руху суден і зменшити затримки. Оптиміальне планування маршрутів та уникнення зіткнень сприяє зниженню витрат палива, зменшенню часу подорожі та підвищенню загальної ефективності експлуатації судна.

Висновки. Системи попередження зіткнень є важливим інструментом для підвищення безпеки мореплавання, адже вони допомагають зменшувати ризик зіткнень та створюють умови для прийняття ефективних рішень щодо їх унеможливлення. Однак важливо зазначити, що впровадження систем запобігання зіткненням на основі моделювання вимагає складних заходів, дотримання правил і положень, необхідності консультування з експертами та інтеграції таких системи з наявним навігаційним обладнанням, щоб забезпечити їх ефективність та відповідність галузевим стандартам.

Шляхом використання передових технологій і даних у реальному часі, системи запобігання зіткненням з використанням моделей являють собою перспективне рішення для підвищення безпеки судноплавства, забезпечення високої точності прогнозування маршрутів руху суден та оцінку ризиків зіткнень що дозволяє операторам та розробникам систем вживати відповідних заходів для забезпечення безпеки, вчасного реагування на потенційні конфліктні ситуації та покращити ефективність систем підтримки рішень, що сприяє безпеці мореплавання та захисту морського середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Viljanen, Mika. (2023). How to Ensure Safe Navigation: Navigation Safety Regulation in MASS. 10.1007/978-3-031-24740-8_8.
2. Parameshwaran, Aditya & Wang, Yue. (2023). Safety Verification and Navigation for Autonomous Vehicles Based on Signal Temporal Logic Constraints. 10.4271/2023-01-0113.
3. Yuan, Peiyin & Wang, Pingyi & Zhao, Yu. (2021). Innovative Method for Ship Navigation Safety Risk Response in Landslide-Induced Wave. *Advances in Civil Engineering*. 2021. 1-10. 10.1155/2021/6640548.
4. Quangen, Fang & Shenping, Hu & Yongtao, Xi. (2007). Study on Risk Assessment and Control of Ship Safety Navigation. 55 - 59. 10.1049/cp:20070441.
5. Wang, Lei & Liu, Qing & Dong, Shiyu & Guedes Soares, Carlos. (2019). Effectiveness assessment of ship navigation safety countermeasures using fuzzy cognitive maps. *Safety Science*. 117. 352-364. 10.1016/j.ssci.2019.04.027.
6. Gucma, Stanisław & Slaczka, Wojciech & Bąk, Andrzej. (2022). Assessment of ship manoeuvring safety in waterway systems by relative navigational risk. *Archives of Transport*. 64. 109-124. 10.5604/01.3001.0016.1230.
7. Ari, Ibrahim & Aksakalli, Vural & Aydogdu, Volkan & Kum, Serdar. (2013). Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints. *European Journal of Operational Research*. 229. 707–717. 10.1016/j.ejor.2013.03.022.
8. Burmaka, I., Vorokhobin I., Melnyk, O., Burmaka, O., Sagin, S. (2022) Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship's Course or Speed, *Transactions on Maritime Science*, 11(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

9. Melnyk O., Onishchenko O., Onyshchenko S., Voloshyn A., Kalinichenko Y., Rossomakha O., Naleva G., Rossomakha O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 16, No. 3, pp. 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18.

REFERENCES

1. Viljanen, Mika. (2023). How to Ensure Safe Navigation: Navigation Safety Regulation in MASS. 10.1007/978-3-031-24740-8_8.
2. Parameshwaran, Aditya & Wang, Yue. (2023). Safety Verification and Navigation for Autonomous Vehicles Based on Signal Temporal Logic Constraints. 10.4271/2023-01-0113.
3. Yuan, Peiyin & Wang, Pingyi & Zhao, Yu. (2021). Innovative Method for Ship Navigation Safety Risk Response in Landslide-Induced Wave. Advances in Civil Engineering. 2021. 1-10. 10.1155/2021/6640548.
4. Quangen, Fang & Shenping, Hu & Yongtao, Xi. (2007). Study on Risk Assessment and Control of Ship Safety Navigation. 55 - 59. 10.1049/cp:20070441.
5. Wang, Lei & Liu, Qing & Dong, Shiyu & Guedes Soares, Carlos. (2019). Effectiveness assessment of ship navigation safety countermeasures using fuzzy cognitive maps. Safety Science. 117. 352-364. 10.1016/j.ssci.2019.04.027.
6. Gucma, Stanisław & Slaczka, Wojciech & Bąk, Andrzej. (2022). Assessment of ship manoeuvring safety in waterway systems by relative navigational risk. Archives of Transport. 64. 109-124. 10.5604/01.3001.0016.1230.
7. Ari, Ibrahim & Aksakalli, Vural & Aydogdu, Volkan & Kum, Serdar. (2013). Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints. European Journal of Operational Research. 229. 707–717. 10.1016/j.ejor.2013.03.022.
8. Burmaka, I., Vorokhobin I., Melnyk, O., Burmaka, O., Sagin, S. (2022) Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship's Course or Speed, Transactions on Maritime Science, 11(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
9. Melnyk O., Onishchenko O., Onyshchenko S., Voloshyn A., Kalinichenko Y., Rossomakha O., Naleva G., Rossomakha O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 16, No. 3, pp. 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18.

Melnyk O.M., Kalinichenko E.V., Nykytyuk P.V., Kolesnyk O.V. ENSURING SAFETY OF NAVIGATION BY DEVELOPMENT OF COLLISION AVOIDANCE STRATEGIES ON THE BASIS OF «OPEN SEA MODEL»

Ship collisions pose a significant risk to maritime safety, human life and the environment. To reduce this risk, there is an urgent need to develop and use advanced systems and technologies that help navigators of modern ships make effective decisions and avoid situations of excessive proximity. One of such systems is a collision avoidance system using the Open Sea Model (OSM), which is a dynamic representation of the marine environment, including information about the movement parameters of target vessels in real time. This article provides an overview of modeling-based ship collision avoidance systems, discussing their components, methodology, and advantages. The need to develop and implement ship collision prevention systems and the negative impact of potential collision consequences are emphasized. The main components of the system, including data collection and preliminary processing, are considered. The development of such models is discussed, their role in representing and visualizing the marine environment and its nature in real time is emphasized. The methodology for assessing the risk of collision, calculation of vessel movement parameters, such as

the closest point of convergence and potential collision courses, is presented. The decision-making process for avoiding a collision is described, including the generation of alerts, warnings, and recommended actions. In addition, the article discusses the development of a user interface that visualizes the high seas model, improving user interaction and situational awareness. The importance of integrating the system with the ship's navigation equipment is also emphasized. However, the complexity of the process of implementing ship collision avoidance systems and the need to comply with maritime safety rules and regulations, expert assessment and compliance with industry standards to ensure an effective and legally compliant system are stressed. In general, the use of collision avoidance systems provides vessel crews with a powerful tool for assessing collision risks, making informed decisions and improving maritime safety in real time and using advanced methodologies to help minimize the potential consequences of a collision and protect human life, property and the environment.

Keywords: *modeling, collision prevention, open seas model, ship collision risk, potential collision courses, maritime safety, ship crew, risk assessment, navigation safety, traffic control.*