

*Sagin A.S., Sagin S.V.*

## **EXPERIMENTAL DETERMINATION OF OPTIMAL PHASES OF FUEL SUPPLY TO THE CYLINDER OF MARINE DIESEL ENGINES**

*Consider the issue of experimental determination of the optimal phases of fuel supply to the diesel cylinder during the change of one type of fuel to another. It was determined that in accordance with the requirements of Annex VI of the MARPOL International Convention, the operation of marine diesel engines in some areas of the world ocean is possible only under the condition of using fuel with a sulfur content of no more than 0.1 %. Similar types of fuel are characterized by a lower auto-ignition temperature and higher calorific value. During combustion, this leads to an increase in the rate of fuel combustion and the degree of pressure increase during combustion, precisely because of this, the dynamic loads on the parts of the cylinder-piston group and diesel engine bearings increase. Also, this (due to the increase in temperature at the end of combustion) creates conditions for an increase in the concentration of nitrogen oxides in diesel exhaust gases. Reconfiguration of the high-pressure fuel equipment, namely changing the fuel injection angles, is proposed as a method that contributes to the prevention or reduction of the negative effects of these phenomena. The research was carried out on a General Cargo class vessel with a 7S50ME-B9.3-TII MAN-Diesel & Turbo main engine. Combustion pressure, the degree of pressure increase during combustion, the temperature of exhaust gases, and the concentration of nitrogen oxides in exhaust gases were chosen as the indicators for evaluating the use and implementation of the proposed method. It has been experimentally proven that this results in an increase in the environmental sustainability of diesel operation by 7.08-15.15 %, an increase in thermal stability – up to 8.93 %, and an increase in dynamic stability – up to 2.72 %. This is due to the shift of the self-ignition and combustion process towards expansion and the corresponding decrease in pressure and temperature at the end of combustion. The most favorable use of this method is on modern diesel engines that have an electronic fuel injection control system, so they do not require mechanical reconfiguration of fuel pumps. Taking this into account, the method based on the change of fuel injection angles is defined in such a way as to ensure the maintenance of environmental and energy indicators of marine diesel engines during their transfer from one type of fuel to another.*

**Key words:** *diesel diagnostics, dynamic loads, environmental indicators, fuel equipment, fuel for marine diesels, fuel injection angle, fuel injection, main power plant, marine diesel, marine transport, thermal loads.*

УДК 629.5

[doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22)

*Sagin C.C., Sagin C.B.*

## **ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИТУАЦІЯХ НАДМІРНОГО ЗБЛИЖЕННЯ СУДЕН**

*Розглянуті методи контролю та управління рухом судна під час маневрування з метою забезпечення безпечного розходження, за умовою взаємодії навігаційного офіцера зі штучним інтелектом. Зазначено що, основною причиною аварій на морі є людський фактор, при цьому в окремих випадках навігаційний офіцер не може вчасно розрахувати необхідний маневр безпечного розходження суден. Для вирішення питання забезпечення безпеки судноплавства, була розглянута можливість застосування штучного інтелекту в ситуації надмірного зближення суден, згідно з відповідними нормами міжнародних правил запобігання зіткненню суден у морі, в яких вставлена чітка відповідальність дій які потрібно виконати навігаційному*

офіцеру під час виникнення різноманітних ситуацій небезпечного зближення. Визначено, що навігаційний офіцер має змогу вносити різні дані в систему штучного інтелекту, такі як поточне положення судна, швидкість, курс, пеленг, погодні умови та будь-яку іншу відповідну інформацію, для того щоб система штучного інтелекту обробляла ці дані за допомогою алгоритму та моделі для оцінки поточної ситуації та прогнозувала виникнення потенційних майбутніх сценаріїв. Штучний інтелект включає аналіз ризиків зіткнення, оцінку впливу погодних умов та умов моря, а також враховує можливості маневрування судна. На основі власного аналізу система штучного інтелекту надає навігаційному офіцеру рекомендовані маневри розходження. Ці рекомендації враховують такі фактори, як найбезпечніший і найефективніший маршрут, щоб уникнути потенційних небезпек або оптимізувати поточний маршрут. Визначено, що протягом усього цього процесу штучний інтелект служить інструментом, який допомагає навігаційному офіцеру приймати обґрунтовані рішення щодо маневру розходження та аналізувати величезну кількість даних за короткий час. Через отримані результати та рекомендації від штучного інтелекту, навігаційний офіцер, беручи до уваги власний досвід, знання та особливості конкретних обставин, приймає остаточне рішення щодо маневру розходження. При цьому здійснюється врахування будь-яких інших важливих факторів, що могли залишитися неврахованими штучним інтелектом.

**Ключові слова:** безпека судноплавства, маневр розходження, маневрування, маршрут судна, метод управління, морський транспорт, навігаційна інформація, попередження зіткнення суден, прийняття рішення, рух судна, управління рухом судна, штучний інтелект.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Забезпечення та реалізація безпечного руху судна є найбільш актуальною проблемою, яка виникає під час надмірного зближення суден морського транспорту [1, 2]. Однією з її важливих складових є своєчасний аналіз ситуації та вибір маневру для безпечного розходження суден в ситуаціях небезпечного зближення. Основним методом, який регламентуються в Міжнародних правилах запобігання зіткнення суден у морі (МППЗС-72), є використання системи бінарної координації під час виникнення ситуації надмірного зближення суден [3, 4]. Через щорічне збільшення судноплавства в усьому світі, виникає велика кількість різноманітних ситуацій небезпечного зближення суден під час їх розходження, що впливає на труднощі у виборі коректних дій, що приймаються для забезпечення безпечного розходження [5, 6].

Неодноразово визначалось, що основною причиною аварій на морі є людський фактор, при цьому в окремих випадках навігаційний офіцер не може вчасно розрахувати необхідний маневр безпечного розходження суден [7, 8]. Останнім часом велика увага приділяється створенню автоматичної системи вибору маневру розходження. Проте дослідження щодо перспективних автоматичних суднових систем для запобігання зіткненням та їх теоретичне обґрунтування з урахуванням факторів до повної автономної навігації все ще знаходяться в стадії тестування, а питання безпеки судноплавства та запобігання зіткненням морських транспортних суден все ще залишаються невирішеними, тому є актуальними [9, 10].

Питання впровадження штучного інтелекту в життя людини почали цікавити людство ще в середині минулого століття. Однак до початку 21 століття для більшості людей це здавалося фантазією, яку неможливо втілити в життя. Зараз такі компанії, як IBM Watson, Google, Microsoft, Apple, інвестують мільярди доларів у вдосконалення та впровадження своїх продуктів для масового використання. Використання та взаємодія людей зі штучним інтелектом у питаннях навігації може бути основною причиною підвищення безпеки та ефективності у судноплавстві. Розв'язання навігаційних проблем часто стикаються з невизначеністю інформації, складністю та вимогами часу негайно приймати рішення. Для цього і було запропоновано втручання штучного інтелекту, щоб мінімізувати витрати часу на розрахунки та сфокусувати на завчасному виборі безпечного маневру [11]. У рекомендаціях штучного інтелекту можуть враховуватися такі фактори, як найбезпечніший і найефективніший маршрут, щоб уникнути потенційних небезпек або оптимізувати роботу судна. Протягом усього цього

процесу штучний інтелект служить інструментом, який допомагає навігаційному офіцеру приймати обґрунтовані рішення щодо маневру розходження. У даній роботі розглядається проблема управління діями суден для реалізації рішення про розходження за допомогою взаємодії штучного інтелекту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенню питання безпеки судноплавства та попередження зіткнення суден морського транспорту присвячено ряд досліджень [12-14]. Одним із способів попередження зіткнень суден є метод складання аналітичного алгоритму розходження для існуючої ситуації [15]. Однак різноманітність ситуацій надмірного зближення суден вимагає детального розгляду ситуацій відповідно до регламенту МППЗС-72. До методів попередження зіткнення суден у морі відноситься зміщення судна на лінію паралельну шляху їх руху [16], однак цей метод є ефективним лише в умовах помірної трафіку суден.

Суттєвий внесок в вирішення питання забезпечення безпечного розходження суден надає метод використання формалізації МППЗС-72 у вигляді аналітичних виразів з метою визначення допустимих параметрів руху суден [17], згідно з якими границя безпечного руху суден буде відповідати гранично допустимій дистанції, яка забезпечить їх безпечне розходження.

Незважаючи на систематичне розглядання та аналізування цього питання, випадків зіткнення суден з кожним роком не лише не зменшується, а навпаки прогресивно збільшується, що іноді приводить к втратам людського життя, втратам судна, великим економічним витратам [18], тимчасовим припиненням судноплавства в окремих районах [19, 20], забрудненню довкілля [21, 22] та втратами вантажу [23, 24].

Досвід використання штучного інтелекту на практиці, та втручання його в постійний алгоритм вирішення та визначення проблем, представлено в роботі [25].

Дослідження перспективних автономних судових систем, призначених для автоматичного розрахунку безпечного маневру та застосування цього на практиці, ще все знаходиться в статусі тестового випробовування. Надання можливості використання та взаємодія зі штучним інтелектом у питаннях навігації може бути основною причиною підвищення безпеки та ефективності в судноплавстві.

**Формулювання цілей статті.** Ціллю статті є впровадження та метод взаємодії штучного інтелекту з навігаційним офіцером, щоб зменшити помилки людського фактору в ситуаціях надмірного зближення суден морського транспорту.

**Виклад основного матеріалу.** Забезпечення маневрування судна, значною мірою залежить від своєчасного виявлення ситуації надмірного зближення та оперативного вибору правильного маневру ухилення. Виявлення та вибір маневру ухилення на судах морському транспорті, є фундаментальною навичкою та здібністю для навігаційного офіцера. Для координації маневрів розходження двох суден, в МППЗС-72 запроваджено логічну систему, яка враховує стан видимості. У разі гарної видимості взаємні обов'язки пари суден розподіляються залежно від їхнього статусу і характеристики обстановки їх наближення, як показано на рис. 1. Під час зниження видимості вимоги МППЗС-72 не передбачають взаємної відповідальності суден і регламентуються лише діями керуючого судна. Навігаційний офіцер повинен своєчасно визначити ситуацію наближення та вжити відповідних заходів для запобігання зіткненню суден.

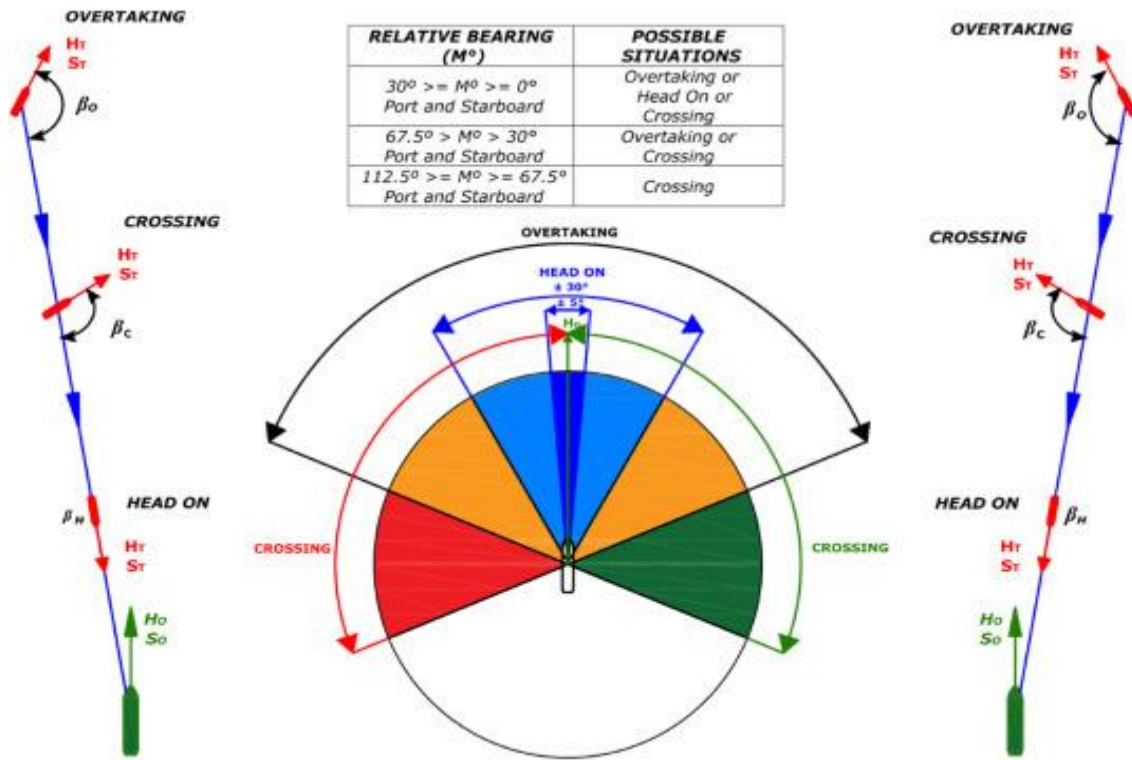


Рис. 1. Основні ситуації маневрування суден відповідно до МППЗС-72, які знаходяться на виду одне в одного

Згідно з даними Європейського агентства з безпеки на морі та їх щорічного огляду морських аварій та інцидентів на морі за 2014...2023 роки, як показано на рис. 2, найбільший відсоток зареєстрованих морських аварій та інцидентів відбулися у зоні «Внутрішніх вод» 51,5 %, за якою йдуть «Територіальні моря» з 24,3 % і «Відкрите море» з 20,8 %. Крім того, підкатегорія «Внутрішні води – портова зона» була територією з більшою кількістю випадків. Ці статистичні дані можуть свідчити про те, що через збільшення інтенсивності руху суден, особливо в прибережних районах, навігаційному офіцеру часто не вистачає часу для проведення своєчасного аналізу ситуацій, провести визначення пріоритетної цілі, та забезпечити безпечний та своєчасний маневр з іншими суднами.

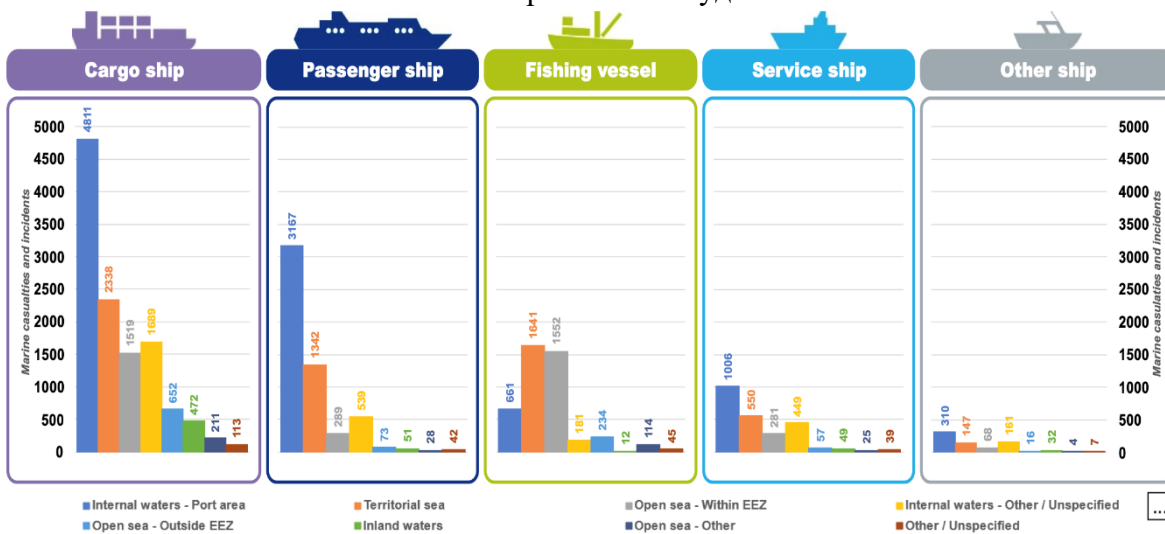


Рис. 2. Морські аварії та інциденти за період 2014...2022 рр., упорядковані за районом плавання та типом судна

Незважаючи на посилення контролю за безпекою судноплавства з боку систем управління руху суден, удосконалення системи управління безпекою компанії та регулярні курси підвищення кваліфікації для штурманів, зіткнення суден продовжують відбуватися і часто призводять до серйозних екологічних, фінансових і, перш за все небезпечних для життя наслідків. Відсоток інцидентів на суден за період з 2014 по 2022 рік, представлений на Європейській платформі інформації про нещасні випадки на морі, як показано на рис. 3, людський фактор був основним із наслідків нещасних подій з 59,1 % від загальної кількості, за нею йдуть відмови системи/обладнання з 25,3 %, дії іншого судна з 8,4 %, наслідки небезпечного матеріалу з 5,3 % і невідомі з 1,9 %.

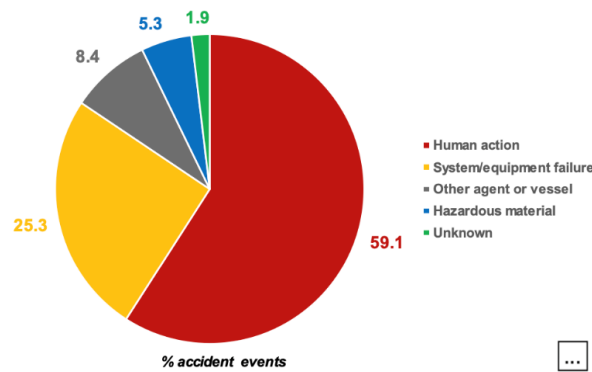


Рис. 3. Відсоток аварійних подій за період 2014...2022 рр. за видами аварійних подій

Основною ідеєю цієї статті є впровадження та метод взаємодії штучного інтелекту з навігаційним офіцером, щоб зменшити помилки людського фактору в ситуаціях надмірного зближення суден. Штучний інтелект відноситься до комп'ютерних систем, які можуть виконувати завдання, зазвичай пов'язані з когнітивними функціями людини. Як правило, системи штучного інтелекту навчаються, як це робити, обробляючи величезні обсяги даних і шукаючи шаблони для моделювання у власному прийнятті рішень, як показано на рис. 4. У багатьох випадках оператори контролюватимуть процес навчання штучного інтелекту, підкріплюючи правильні рішення та перешкоджаючи невірним.

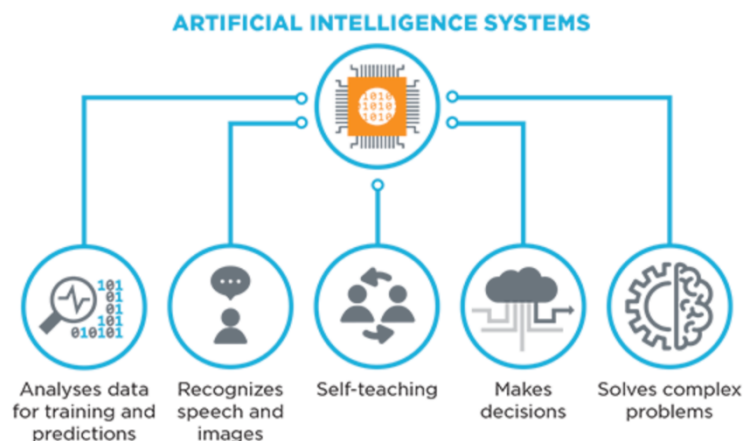


Рис. 4. Процес взаємодії зі штучним інтелектом

Величезний обсяг навігаційної інформації, яку навігаційний офіцер повинен проаналізувати за короткий проміжок часу, штучний інтелект може проаналізувати та надати необхідну стислу інформацію та рекомендації за лічені секунди. Ці рекомендації від штучного інтелекту можуть враховувати такі фактори, як найбезпечніший і найефективніший маршрут, щоб уникнути потенційних небезпек або оптимізувати роботу судна. Протягом цього процесу

штучний інтелект служить інструментом, який допомагає штурману приймати обґрунтовані рішення щодо маневру розходження. Він може аналізувати величезні обсяги даних і надавати цінну інформацію за короткий час. Отримані результати та рекомендації від штучного інтелекту, штурман переглядає та беручи до уваги власний досвід, знання та знання конкретних обставин, зможе швидше та якісніше проаналізувати та прийняти остаточне рішення щодо маневру розходження, враховуючи не лише рекомендації штучного інтелекту, але й будь-які інші важливі фактори, які штучний інтелект міг не врахувати. Час, витрачений на аналіз ситуації, зіграє ключову роль в прийнятті рішення щодо маневру розходження суден та вплине на зменшення кількості аварійних подій у морі.

Одним із способів взаємодії штучного інтелекту з навігаційним офіцером є використання в реальному часі загальнодоступних програм із забезпеченням штучного інтелекту – Open AI, Chat GPT або Chat & Ask AI, які здатні обробляти будь-яке запитання та видавати сформульований, стислий відповідь у короткий проміжок часу. Використовуючи штучний інтелект у режимі реального часу, він діє як помічник навігаційного офіцера як чат-бот із генеративним штучним інтелектом, здатний працювати в інтерактивному режимі, аналізувати та керувати ланцюгом подій на основі неймовірної кількості доступної інформації. У майбутньому розвиток штучного інтелекту на морських судах затребує розробки власного програмного забезпечення, яке працюватиме з інформацією, що дозволить ще більше збільшити швидкість обробки даних та отримувати точніші результати. Однак на даний момент, враховуючи існуючі програми, можна використовувати штучний інтелект як тестовий і навчальний зразок.

Розглянемо змодельовану ситуацію зближення суден на маневреному планшеті, що йдуть прямо одне на одного, і порівняємо отримані результати з рекомендаціями щодо розходження запропонованим штучним інтелектом. Судно прямує курсом 045 градусів ( $H^0$ ) і швидкістю 10 вузлів, інше судно наближається курсом 225 градусів ( $H^T$ ) зі швидкістю 12 вузлів. Відстань до зустрічного судна становить 9 морських миль. Необхідно розрахувати курс відхилення для розходження з іншим судном у дві морських милі. Результати, отримані з маневреного планшета, показують, що за умов миттєвих розрахунків, зроблених навігаційним офіцером, судну необхідно повернути на 27 градусів праворуч ( $H^1$ ), як показано на рис. 5, щоб безпечно розійтись з судном на необхідній відстані в 2 милі.

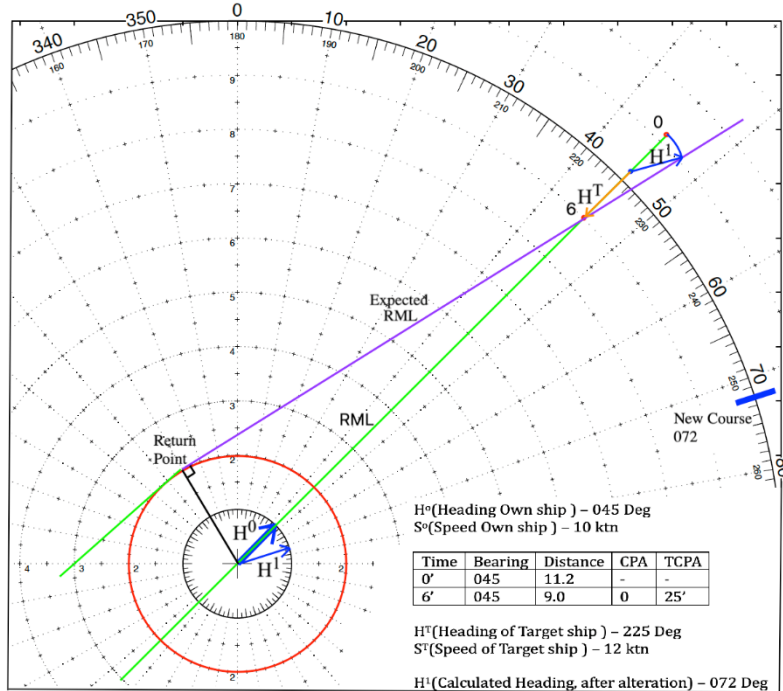


Рис. 5. Розрахунок маневру розходження за допомогою маневреного планшета

За допомогою програми зі штучним інтелектом та голосового помічника вводяться початкові вхідні дані та задаються необхідні параметри розходження. Також можливо текстове введення даних, але під час використання голосового помічника досягається суттєва економія часу. Після чого виконується порівняння отриманих результатів з розрахунками з маневреного планшета.

**Chat & Ask AI:**  
To calculate the ship's maneuver to the right in order to pass 2 miles to the right of the oncoming vessel, we can use trigonometry to find the change in course needed. First, we can find the time it will take for the two ships to meet using their speeds and the initial distance between them. Then, we can calculate the distance each ship will travel during that time, and use trigonometry to find the change in course needed for the first ship to pass 2 miles to the right of the oncoming vessel.

Step 1: Calculate the time to meet  
The time it takes for the ships to meet can be found using the formula:  
$$t = \frac{\text{distance}}{\text{relative speed}}$$

For the first ship:  
$$t_1 = \frac{9}{10 + 12}$$

**Me:**  
The ship is heading at 45 degrees and at a speed of 10 knots. Other ship is approaching the meeting with a heading of 225 degrees at a speed of 12 knots. the distance to the oncoming vessel is 9 nautical miles. calculate the ship's maneuver to the right so as to disperse by 2 miles.

Step 2: Calculate the distance each ship travels during the time to meet  
For the first ship:  
$$d_1 = 10 \times t_1$$
  
$$d_1 \approx 4.09$$
  
nautical miles

For the second ship:  
$$d_2 = 12 \times t_1$$
  
$$d_2 \approx 4.91$$
  
nautical miles

Step 3: Calculate the change in course for the first ship  
The change in course needed for the first ship to pass 2 miles to the right of the

oncoming vessel can be found using trigonometry. We can use the fact that the ships are moving in straight lines and that the relative position between the two ships will form a right-angled triangle.

Let's denote:  
$$a = 2$$
 nautical miles  
$$b = 4.09$$
 nautical miles  
$$\theta = \text{angle between original course and the new course}$$

We can use the tangent function to find the angle:  
$$\tan(\theta) = \frac{a}{b}$$
  
$$\theta = \arctan\left(\frac{a}{b}\right)$$
  
$$\theta = \arctan\left(\frac{2}{4.09}\right)$$
  
$$\theta \approx 26.6^\circ$$

So, the ship needs to change its course by approximately 26.6 degrees to the right in order to pass 2 miles to the right of the oncoming vessel.

Рис. 6. Розрахунок маневру розходження за допомогою штучного інтелекту

З наведеного вище прикладу можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити безпечне розходження з судном на необхідній відстані, необхідно відхилитися праворуч приблизно на 27 градусів. Результат, отриманий за допомогою розрахунків штучного інтелекту, становить 26,6 градусів, що майже збігається з фактичним розрахунком. Час, витрачений на розрахунки на маневреному планшеті, становитиме від 1 до кількох хвилин, залежно від навичок та досвіду навігаційного офіцера. У випадку зі штучним інтелектом результат буде отримано протягом кількох секунд, незалежно від досвіду навігаційного офіцера.

**Висновки.** Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Аналіз зіткнення суден за останні роки показав, що людський фактор є основною причиною, що призводить до аварійності суден. Інформаційний обсяг інформації, яку необхідно коректно та своєчасно проаналізувати навігаційному офіцеру в певних випадках перебільшують функціональні можливості людини.

2. Впровадження штучного інтелекту в повсякденне виконання обов'язків навігаційного офіцера може суттєво полегшити, а також убезпечити судно від можливих інцидентів. Система штучного інтелекту оброблятиме дані за допомогою алгоритмів і моделей для оцінки поточної ситуації та прогнозування потенційних майбутніх сценаріїв. Це може включати в себе аналіз ризиків зіткнення, оцінка впливу погоди і стану моря, і врахування маневрених можливостей судна.

3. Досліджуваний спосіб взаємодії навігаційного офіцера зі штучним інтелектом довів ефективність та переважання швидкості обчислення. Аналіз та розрахунок даних, для

попередження зіткнення, скорочується в часовому етапі на 10...20 разів, порівняно з натурними спостереженнями та розрахунками.

4. Пропонований метод використання штучного інтелекту в навігації значно зменшить помилки людського фактора при виборі маневру розбіжності.

5. Подальший розвиток та створення власного програмного забезпечення, на базі роботи штучного інтелекту в галузі навігації, може істотно мінімізувати випадки зіткнення суден у морі та дати великий поштовх для розвитку автономних безпілотних суден.

## 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. Левінський М.В., Левінський В.М. Вибір параметрів системи стабілізації курсу судна при дії водно-хвильових збурень // Автоматизація суднових технічних засобів : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 26. – С.27-40. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40.
3. 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.
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. 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. 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.
8. Ворохобин 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.
9. Ворохобин 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.
10. Бурмака І.А., Ворохобин 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.
11. 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.
12. Li S.J., Liu J.L., Negenborn R.R. Distributed coordination for collision avoidance of multiple ships considering ship maneuverability // Ocean Eng. – 2019. Vol. 181. – P. 212-226. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.03.054.

13. 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>.
14. 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>.
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. Бурмака А.И., Калюжний В.В. Имитационное моделирование процесса расхождения судов экстренным уклонением при чрезмерном сближении // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2019. – Вип. 29. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 37-46. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.37-46.
17. Бурмака И.А., Янчецкий А.В. Оценка вероятности степени опасности сближения судов // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 27-33. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.27-33.
18. 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>.
19. 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>.
20. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek 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>.
21. 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>.
22. 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.
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. Marr B., Ward M. *Artificial Intelligence in Practice*. – 2019. – TJ International Ltd, Padstow, Cornwall, UK. – 333 p.

## 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. Levinskyi M.V., Levinskyi 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.

3. 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.
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. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Li S.J., Liu J.L., Negenborn R.R. Distributed coordination for collision avoidance of multiple ships considering ship maneuverability // *Ocean Eng.* – 2019. Vol. 181. – P. 212-226. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.03.054.
13. 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.
14. 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.
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. Burmaka I., Kaliuzhny V. Imitation design of process of divergence of vessels by urgent deviation at excessive rapprochement // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2019. – Vol. 29. – P.37-46. doi.org/10.31653/2306-5761.29.219.37-46.
17. Burmaka I., Yanchetsky A. Probability estimation degree of danger vessels rapprochement // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2020. – Vol.30. – P.27-33. doi.org/10.31653/2306-5761.30.2020.27-33.
18. 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.
19. 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.

20. 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>.
21. 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>.
22. 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](https://doi.org/10.17818/NM/2018/2.3).
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](https://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. Marr B., Ward M. *Artificial Intelligence in Practice*. – 2019. – TJ International Ltd, Padstow, Cornwall, UK. – 333 p.

*Sagin S.S., Sagin S.V.*

#### **USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE SITUATIONS OF EXCESSIVE VESSELS APPROACHING**

Considered the methods of control and management of the movement of the vessel during maneuvering, in order to ensure a safe divergence, under the condition of interaction of the navigation officer with artificial intelligence. It is noted that the main cause of accidents at sea is the human factor, while in some cases the navigation officer cannot calculate in time the necessary maneuver for the safe vessel divergence. To solve the issue of ensuring the safety of navigation, the possibility of using artificial intelligence in the situation of excessive vessels approaching was considered, in accordance with the relevant norms of the international rules for preventing collisions of ships at sea, which establish the interaction of ships depending on the situation that arose during a dangerous rapprochement. It is determined that the navigation officer is able to input various data into the artificial intelligence system, such as the vessel's current position, speed, course, bearing, weather conditions and any other relevant information, in order for the artificial intelligence system to process this data using an algorithm and models for assessing the current situation and predicted the emergence of potential future scenarios. Artificial intelligence includes analysis of collision risks, assessment of the impact of weather and sea conditions, and also takes into account the maneuverability of the vessel. Based on its own analysis, the artificial intelligence system provides the navigation officer with recommended divergence maneuvers. These recommendations consider factors such as the safest and most efficient route, in order to avoid potential hazards or optimize the current route. Throughout this process, artificial intelligence has been identified as a tool that helps the navigation officer make informed decisions about the divergence maneuver and analyze a huge amount of data in a short amount of time. Through results and recommendations received from artificial intelligence, the navigation officer, taking into account his own experience, knowledge and specific circumstances, makes the final decision on the divergence maneuver. At the same time, any other important factors that could remain unaccounted for by artificial intelligence are also taken into account.

**Key words:** *artificial intelligence, decision-making, divergence maneuver, manoeuvring, maritime transport, navigation information, prevention of ship collisions, safety of navigation, ship movement, ship movement management, ship route.*