

PECULIARITIES OF PLANNING THE WAYS COORDINATES OF TRAJECTORY POINTS OF AN AUTONOMOUS VESSEL CONSIDERING NAVIGATIONAL RISKS

ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ КООРДИНАТ ТРАЄКТОРНИХ ТОЧОК АВТОНОМНОГО СУДНА З УРАХУВАННЯМ НАВІГАЦІЙНИХ РИЗИКІВ

G. M. Muravyov, PhD student

Г. М. Муравйов, аспірант

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

Marine autonomous surface vessels came both numerous advantages and critical dangers that must be addressed early. The accident rate of autonomous vessels during the voyage cycle has an elevated level of navigational risk and the impact of cyberattacks due to the large number of receivers and transmitters of the maneuvering parameter control system and motion control coordinates along the planned trajectory. To organize accident-free navigation, it is necessary to perform high-precision planning of path coordinates using the method of trajectory points (TP), which takes into account the geometry of the path and the characteristics of the vessel. After this, it is necessary to identify hazardous areas by engineering means, determine the type of navigational risks, and plan ways to manage their level, to prepare shore operators and automatic ship control systems for maneuvering under the conditions of risks that may occur during its use. The solution to this problem should begin with the compilation of a generalized table of navigational risks and their percentage probability, and methods that will help avoid risks. One of the modern methods of determining risks is the engineering method of managing navigational risks, which determines the frequency of occurrence of various kind of risks and allows to provide preventive methods for the safe use of autonomous vessels by managing of their level. The methods of determining main navigational risks were proposed in this research, as well as systems of planning them in order to ensure the proper control. The obtained results can be used to ensure the navigational safety of autonomous vessels and also to improve methods of navigational risks planning and management by their level in the context of autonomous vessels application.

Keywords: navigation risks, engineering method, safety planning of the trajectory points, managing by the safety level of autonomous ships.

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

Аварійність автономних суден під час рейсового циклу має підвищений рівень навігаційного ризику та впливу кібератак за рахунок великої кількості приймачів та передатчиків системи контролю параметрів маневрування та координат управління рухом по плановій траєкторії.

Для організації безаварійного плавання необхідно виконати високоточне планування координат шляху методом траєкторних точок (ТТ), яке враховує геометрію шляху і характеристики судна. Після цього необхідно визначити аварійно небезпечні ділянки інженерним способом, визначити вид навігаційних ризиків і виконати планування способів управління їх рівнем, для підготовки берегових операторів і автоматичних систем управління судном для маневрування в умовах дії ризиків, які можуть статися під час його використання.

Рішення цієї проблеми повинно починатися з складання узагальненої таблиці навігаційних ризиків та їх відсотковою ймовірністю і методами, які допоможуть уникнути ризиків. При виборі безпечного методу враховується найбільш дійовий метод для запобігання ризикам. Тому оцінка ризиків автономного судна є актуальним питанням дослідження проблеми безпеки судноводіння.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато вирішення цієї проблеми та виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

У роботі [1], виконана систематизована класифікація навігаційних ризиків рейсового циклу морських суден.

Розроблено модель класифікації навігаційних ризиків, яка дозволяє систематизувати і характеризувати їх види та групи. Вона побудована на основі універсальної класифікації ризиків підприємства і «Аналізатора навігаційних ризиків», який визначає перелік факторів, існуючих в рейсовому циклі судна. Проведено аналіз причини аварій і навігаційних ризиків в районах Турецької (Босфор і Дарданелли), Сінгапурської, Малаккської та Токійської проток. Встановлено, що фактор навігаційного ризику не залежить від району плавання, але залежить від зовнішнього середовища та навігаційних характеристик району плавання.

Ця класифікація дозволить забезпечити новий тип планування для суден без екіпажу та контроль реалізації для забезпечення безаварійного плавання.

В процесі підготовки до маневрування автономного судна потрібно виконати вибір шляхових точок рейсового циклу, як для звичайного судна інженерним методом. Після цього виконати планування координат ТТ і нанести траєкторію руху на генеральну карту. Визначити аварійно небезпечні райони і скласти узагальнену таблицю навігаційних ризиків, які можуть виникнути під час руху судна. Створена таблиця повинна бути розрахована для маневрених властивостей судна під час рейсового завдання у вигляді, який буде зручно використовувати в електронно-обчислювальних системах. В подальшому необхідно буде враховувати особливості маневрування автономного судна.

У роботі [2] розглянуто необхідність зміни форми представлення даних про маневрені характеристики в сучасних електронних картографічних навігаційних-інформаційних системах управління рухом судна; запропоновано спосіб компактного представлення даних про характеристики гальмування і поворотності судна у вигляді таблиць; показана необхідність планування шляху центра ваги судна траєкторними точками, представленого у вигляді сумарної матриці координат плану руху, з урахуванням навігаційної акваторії, маневрених характеристик та кута перекладки руля, оформленого у вигляді сумарної матриці прямолінійних і криволінійних ділянок шляху.

Для забезпечення безпечного виконання рейсового циклу в автоматичному режимі без вахтового обслуговування на судні необхідно спланувати шлях центру ваги судна ТТ у вигляді координат плану руху з урахуванням навігаційної акваторії, який оформлюється у вигляді суми матриць прямолінійних і криволінійних ділянок шляху. Вони розраховуються за прямолінійними ділянками рекомендованого шляху на карті, обмеженими шляховими точками.

Результати підготовки подаються у вигляді суми лінійних матриць окремих ділянок, включаючи криволінійні. Крім того, окремо визначаються координати точок початку гальмування біля причалу, перекладки керма при виконанні поворотів у точках початку та закінчення поворотів та кутів перекладки руля в кожній із них.

Зроблено висновок, що для контролю процесу руху необхідно використання автоматичних пристроїв попередження посадки на міліну, оцінки ширини смуги маневреного зміщення, автоматичного контролю процесу зближення з іншими суднами та вибору маневру для розбіжності.

У роботі [3] розроблено змістовну модернізовану модель планування шляху при виконанні рейсового циклу морського судна. Вона відрізняється від існуючої зміною способу планування переходу траєкторними точками по координатам шляхових, з урахуванням маневрених характеристик, акваторії для маневрування і введенням етапу «Аналізатор ризиків».

Планування методом удосконаленої змістовної моделі та представлення результатів сумарною матрицею траєкторних точок, після аналізу ризиків, дозволяє розробити заходи для управління рівнем ризиків і підтримання їх на допустимому рівні.

В результаті виконаних досліджень аварійності в районах Бузько-Дніпровського - Лиманського каналу і Херсонського морського каналу та порівняння з районом Турецьких проток встановлено, що причини навігаційного ризику являються однаковими для будь-якого регіону. Тому заходи для планування рейсового циклу і підготовку для управління можна розглядати на прикладі найбільш інформаційно забезпеченого регіону.

Алгоритм планування методом удосконаленої змістовної моделі дозволяє установити причину навігаційного ризику і передбачає використання даних характеристик судна для стану в реальному часі. Для зменшення рівня ризику посадки на міліну необхідно високоточне планування руху траєкторними точками, автоматичний контроль величини бічного зміщення і введення коректного запасу глибини води під кілем. Постійний автоматичний контроль ширини полоси, шляхом розрахунку абсциси полюсу повороту, дозволяє попередити посадку на міліну, навал на стінку каналу, фарватеру чи судно у причалу.

У роботі [4] пропонують підхід до прийняття рішень для автономної навігації морських автономних надводних суден (MASS) на основі розподілу шляху переходу на окремі ділянки і розробку індивідуальних способів управління маневруванням на кожному із них. Метою цього підходу є надання можливості автономним суднам безпечно та ефективно плавати в складних, небезпечних та динамічних середовищах.

Описується реалізація підходу поділу шляху на ділянки, який передбачає використання тренажеру для навчання та оцінки нейронної мережі і використання контролера безпеки, щоб гарантувати, що судно завжди залишається в безпечних робочих параметрах маневрування.

Однак, як і з будь-якою новою технологією, можуть виникнути практичні проблеми з впровадженням цього підходу в реальному переході, тому для визначення його ефективності в різних сценаріях будуть потрібні подальші дослідження та тестування.

У роботі [5] ризику зіткнення для автономних суден (MASS) і виконано порівняльний аналіз різних методів оцінки ризику зіткнення. Автори використовують новий підхід, заснований на ймовірності зіткнення, для оцінки ризику зіткнення та порівняння його з іншими методами за допомогою моделювання, проведеного як у статичному, так і в динамічному середовищах.

Дослідження підкреслює потенційні переваги використання автономних навігаційних систем для підвищення безпеки та ефективності навігації. Автори припускають, що використання таких систем може знизити ризик зіткнення.

Загалом це дослідження дає цінну інформацію про ризики зіткнень для подальшого вдосконалення методів управління автономними суднами і підкреслює потенційні переваги використання автономних навігаційних систем для підвищення безпеки та ефективності навігації.

У роботі [6] представлено новий підхід до виявлення та управління операційними ризиками, пов'язаними з морськими надводними автономними суднами (MASS), з використанням мережевого аналізу.

Для ефективного управління ризиками в статті пропонується підхід мережевого аналізу, який дозволяє ідентифікувати фактори ризику на основі їх взаємозалежності та потенційного впливу на систему в цілому.

У статті також обговорюються обмеження підходу мережевого аналізу, зазначається, що він спирається на набір заздалегідь визначених факторів ризику та може не охопити всі відповідні ризики або їх взаємозалежності. У статті стверджується, що цей підхід можна вдосконалити, включивши експертні знання та внесок зацікавлених сторін для уточнення факторів ризику та їхніх взаємозв'язків.

У роботі [7] аналізуються статистичні дані судноплавної галузі для оцінки потенційного впливу автономних суден на безпеку на морі. Автори користуються статистичним підходом для порівняння показників безпеки звичайних та автономних суден.

У статті наведено детальний опис статистичного аналізу, використаного в дослідженні. Автори використовують дані з бази даних Fairplay Lloyd's Register, щоб порівняти показники

безпеки пілотованих суден із показниками безпеки автономних. Дані охоплюють період з 2005 по 2016 рік і включають інформацію про аварії, інциденти та випадки аварії. Автори використовують ряд статистичних методів для аналізу даних, включаючи регресійний аналіз, перевірку гіпотез і моделювання за методом Монте-Карло.

Результати аналізу показують, що автономні судна мають нижчий рівень аварійності, ніж звичайні судна. Показано, що рівень аварій для автономних суден становить 0,061 аварій на судно-рік, у порівнянні з 0,120 аварій на судно-рік для звичайних суден. Автори відзначають, що ця різниця є статистично значущою на 95% рівні довіри. Автори також повідомляють, що серйозність аварій за участю автономних суден нижча, ніж аварій за участю звичайних суден.

У статті також висвітлюються потенційні причини нижчого рівня аварійності автономних суден і визнаються обмеження дослідження. Результати дослідження мають важливе значення для майбутнього галузі та розвитку технології автономних суден.

У роботі [8] досліджуються ризики, пов'язані з експлуатацією автономних надводних суден (MASS), і наведена структура оцінки ризиків, яка допоможе зменшити їх. Автори надають комплексний аналіз ризиків, пов'язаних з автономним судноплавством, і пропонують модель оцінки ризиків для управління цими ризиками. Стаття починається з огляду потенційних переваг автономного судноплавства, включаючи підвищення безпеки, підвищення ефективності та зменшення викидів. Однак автори відзначають, що широке впровадження автономних суден також створює значні проблеми, включаючи збільшення ризиків кібербезпеки, технічні, етичні та правові проблеми та потребу в новій нормативній базі. Потім автори надають детальний аналіз ризиків, пов'язаних з експлуатацією автономних суден, включаючи навігаційні, кіберризики і екологічні ризики.

Автори пропонують структуру оцінки ризиків для експлуатації автономних суден. Структура включає три етапи: ідентифікація ризику, аналіз ризику та управління ризиком. Автори надають детальний опис кожного етапу та методи та інструменти, які можна використовувати для оцінки ризиків, пов'язаних з автономним судноплавством.

Основною метою планування координат шляху для автономних суден є використання високоточних способів їх виконання оператором на березі, який враховує наявність геодезичних ліній на карті, знання маневрених характеристик та використання систем підтримки прийняття рішень. Тому процес планування координат автономного судна повинен базуватися на високоточному визначенні координат траєкторії руху та ретельну підготовку оператора управління маневруванням для проходу судна аварійно небезпечними відрізками шляху і мінімізацію навігаційних ризиків.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Безпека морських перевезень регулюється глобальними та місцевими кодексами, нормами та практикою, а також щільним аналізом минулого досвіду. З часом вони можуть ставати все менш актуальними та застарілими, особливо коли вони мають інноваційні задіяні рішення. Однією з таких інновацій у морському світі є автономне надводне судноплавство. Морські автономні надводні судна (MASS) все більше розробляються та застосовуються в морській галузі. Ці автономні судна пропонують численні переваги, такі як підвищення ефективності, зниження витрат на екіпаж і підвищення безпеки. Однак із розвитком цих суден виникають нові виклики безпеки, які необхідно вирішити.

Іншою проблемою безпеки, з якою вони стикається, є людська помилка. Хоча автономні системи можуть зменшити ризик людської помилки, вони не застраховані від неї. Операторам все ще може знадобитися взаємодія з автономними системами, і їхні дії можуть вплинути на безпеку судна. Наприклад, оператор може неправильно запрограмувати курс судна або не зреагувати належним чином на тривогу чи попередження. Для вирішення цієї проблеми запропоновано різні рішення, такі як забезпечення відповідного навчання операторів, впровадження механізмів безпеки, які можуть взяти на себе роботу, якщо оператор робить помилку, і розробка інтерфейсу

користувача, який є інтуїтивно зрозумілим і простим у використанні. Крім того, ММО розробила інструкції щодо навчання та сертифікації персоналу, який обслуговує MASS.

Останньою проблемою безпеки, з якою стикається MASS, є дотримання нормативних вимог. Оскільки технологія MASS розвивається, правила та стандарти, можливо, потребуватимуть оновлення, щоб забезпечити безаварійну та ефективну роботу цих суден. Однак розробка правил для таких суден може бути складною, оскільки технологія все ще розвивається, і може бути відсутність консенсусу щодо найкращих практик.

Процес планування траєкторії включає кілька етапів, включаючи збір даних, обробку даних і прийняття рішень. Дані збираються з різних джерел, таких як датчики, карти та супутникові зображення, а потім обробляються за допомогою вдосконалених алгоритмів для створення плану траєкторії. Процес прийняття рішення передбачає вибір оптимальних точок траєкторії з урахуванням можливостей судна та факторів навколишнього середовища. План траєкторії повинен постійно оновлюватися в режимі реального часу, щоб адаптуватися до мінливих умов і уникнути потенційних небезпек.

Підсумовуючи, планування точок траєкторії для автономного судна є складним і динамічним процесом, який вимагає ретельного розгляду можливостей і обмежень судна, а також навігаційних ризиків. Особливості планування шляхів координат точок траєкторії для автономних суден вимагають передових технологій, алгоритмів та оновлення в режимі реального часу для організації безпечної та ефективної навігації. Проте потенційні переваги автономної навігації, включаючи підвищення безпеки та ефективності, роблять її перспективним рішенням для майбутнього морського судноплавства. Тому розглянуті в статті питання являються актуальними.

Умови руху важливі в каналах, фарватерах, припортових акваторіях та на території порту, де існує інтенсивне судноплавство, тому в таких умовах плавання виникають судові аварії такі як зіткнення, посадка на міліну та інші. Умови руху судна пов'язані з фізичним станом судна, таким як стійкість судна, міцність, осадка в портах та на мілководдях. Також до цих умов можна включити ризик посадки на міліну, характеристики маневрування судна, інші фактори, які впливають на кожне судно не індивідуально.

Інші умови впливають на навігацію суден та ризик забруднення навколишнього середовища: льодові умови, безпека судна, яке пришвартоване протягом штормових умов та інші специфічні умови, які можуть виникати.

Прийнятні ризики визначаються за допомогою різних аспектів, таких як економічні, технічні та соціальні та являють собою компроміс між рівнем безпеки та можливостями його досягнення. Сумарний ризик характеризується мінімумом безпеки, коли створені необхідні зв'язки між інвестиціями в технічну, соціальну та економічну сферу та зовнішнього впливу. Гранично допустимий ризик це максимальний ризик, який дозволяє судну закінчити рейсовий цикл самостійно, забезпечуючи рух судна за рахунок резервних судових механізмів. Ці обставини враховуються при виборі рівнів ризику, з яким судноплавна галузь наразі намагається боротися.

Розглянемо більш детально з якими видами ризиків може зіткнутися автономне судно:

1. Ризики зіткнення: автономні судна покладаються на передові технології для уникнення зіткнень, включаючи радар, лідар і системи автоматичної ідентифікації (AIS). Однак ці системи не є безпомилковими і можуть працювати недбайливо, що призводить до ризику зіткнення. Навігаційна система автономного судна також може не вчасно виявити інші судна або запропонувати неправильний курс для розходження. Крім того, погодні умови та навігаційні помилки можуть збільшити ризик зіткнень.

2. Ризики посадки на міліну: автономні судна можуть зіткнутися з неочікуваними змінами на морському дні або глибині води, що може призвести до сідання на міліну. Несправність обладнання або відсутність обізнаності про ситуацію також може збільшити ризик посадки на міліну. Автономним суднам потрібна точна та актуальна навігаційна інформація, щоб уникнути ризику посадки на міліну, яка поступає від автоматичних систем підтримки прийняття рішень.

3. Екологічні ризики: автономні судна можуть зіткнутися з проблемами навігації в небезпечних зонах або зіткнутися з морським сміттям, несприятливими погодними умовами та

іншими екологічними небезпеками. Ці ризики можуть призвести до пошкодження судна або вантажу, який воно перевозить, і становити загрозу для навколишнього середовища та морського життя. Автономні судна повинні бути оснащені необхідною технологією та інформацією для навігації через небезпечні зони та уникнення екологічних ризиків.

4. Ризики кібербезпеки: автономні судна покладаються на складні навігаційні та комунікаційні системи, які вразливі до кібератак і зловмисного програмного забезпечення. Ризики кібербезпеки можуть призвести до несправності обладнання або збою в навігаційній системі автономного судна, що призведе до навігаційних небезпек. Ризик загроз кібербезпеці можна зменшити за допомогою надійних стратегій і протоколів кібербезпеки.

5. Комунікаційні ризики: автономні судна можуть зіткнутися з проблемами під час спілкування з іншими суднами, береговими операторами та органами влади. Відсутність прямого зв'язку між автономними суднами та іншими суднами або операторами може збільшити ризик навігаційних небезпек. Несправність обладнання також може порушити зв'язок, що призведе до відсутності обізнаності про ситуацію.

6. Ризики відповідності: автономні судна повинні відповідати міжнародним правилам, пов'язаним з безпекою, навігацією та захистом морського середовища. Ризики відповідності можуть виникнути, якщо автономні судна не відповідають цим правилам або якщо в нормативно-правовій базі, що регулює автономні судна, бракує ясності. Повинні бути стратегії управління ризиками, щоб забезпечити існуючим нормам.

7. Людський фактор. Роль людей-операторів у нагляді за автономними суднами, прийнятті рішень і обізнаності про ситуацію становить значний навігаційний ризик. Автономні судна вимагають людей-операторів для моніторингу та управління маневруванням, прийняття обґрунтованих рішень та реагування на надзвичайні ситуації. Відсутність прямого зв'язку між людьми-операторами та системами судна може призвести до зниження обізнаності про ситуацію та труднощів у врегулюванні надзвичайних ситуацій.

Складемо узагальнену таблицю навігаційних ризиків та приведемо коротку характеристику кожного із них, як наведено в табл.1.

Таблиця 1. Узагальнена таблиця навігаційних ризиків та їх характеристика

Категорія ризику	Характеристика
Ризики зіткнення	Нездатність виявити та уникнути інших суден, несправність обладнання, погодні умови та навігаційні помилки
Ризики посадки на мілину	Помилки в навігації, несправність обладнання, відсутність обізнаності про ситуацію та несподівані зміни на морському дні або глибині води
Екологічні ризики	Навігація через небезпечні зони, зустріч з морським сміттям і несприятливі погодні умови
Ризики кібербезпеки	Вразливість до кібератак і зловмисного програмного забезпечення, яке може скомпрометувати навігаційні системи
Комунікаційні ризики	Відсутність зв'язку між автономними суднами та іншими суднами або береговими операторами, а також збій обладнання, який може порушити зв'язок
Ризики відповідності	Відповідність міжнародним нормам, зокрема тим, що стосуються безпеки, навігації та захисту морського середовища
Людський фактор	Роль людей-операторів у нагляді за автономними суднами при прийнятті рішень і детальне спостереження параметрами маневрування згідно з плановими траєкторіями.

Тому ми змушені були визначати дані поворотності та маневрені характеристики автономного судна, яке наразі використовується у судноплавній галузі.

Для розрахунку інерційно-гальмівних характеристик було використане диференційне рівняння, яке при прямолінійному русі записується так:

$$(m + \lambda_{11}) \cdot \frac{dV}{dt} \cos \alpha_n + C_x \rho V^2 \cdot S/2 \pm P_e = 0, \quad (1)$$

де P_e - сила упору гвинта; m - маса судна; λ_{11} , - приєднані маси корпусу судна по осі x ; V - швидкість судна відносно води; α_n - кут дрейфу при повороті; C_x безрозмірний коефіцієнт по осі X ; ρ - масова щільність води; S - площа проекції корпусу судна на мідель - шпангоут.

При рішенні рівняння (1) були введені ряд припущень які зазвичай приймають при цьому, тому що вони спрощують розрахунок шляху і часу гальмування із забезпеченням точності, необхідної нормативними документами України та ММО. Основні з припущень, які будемо використовувати далі, наступні:

1. Приєднана маса води по осі X наближено дорівнює 10% від маси судна ($m_x = 1,1 D$) і залишається незмінною при маневруванні.

2. Залежність опору води і повітря від швидкості має квадратичний характер. При розрахунковому та експериментальному визначенні сили опору води другий член рівняння (1) представляють у вигляді $K \cdot V^2$. Тоді рівняння (1) прийме вигляд:

$$m_x \cdot \frac{dV}{dt} + K \cdot V^2 \pm P_e = 0. \quad (2)$$

3. Коефіцієнти опору води і повітря K_n під час маневрування постійні.

4. Упор гвинта в процесі активного гальмування змінюється по залежності, отриманої професором Дьомінім С. І.:

$$P_e = P_{max} \cdot \left(1 - \frac{V_x^2}{V_H^2}\right), \quad (3)$$

де P_{max} - значення сили упору гвинта в момент зупинки судна;

V_x - поточна швидкість;

V_H - швидкість в момент початку обертання гвинта на задній хід.

5. При маневруванні нове призначене число оборотів сягає свого значення в момент подачі команди.

До характеристик керованості відносяться два види - стійкості і поворотності. Стійкість на курсі характеризують постійна часу затримки повороту $T(\delta)$; стійкість на курсі, критерій Q ; зона нестійкості $\pm \omega_0$, $\pm \delta_{op}$; параметри отримання повороту, час $t_o(\delta)$ і кут $\Theta_o(\delta)$.

До характеристик поворотності відносять геометричні параметри кривої циркуляції - видвиг $\ell_1(\delta)$; пряме зміщення, $\ell_2(\delta)$; тактичний діаметр $D_T(\delta)$; діаметр сталої циркуляції $D_y(\delta)$; період циркуляції $T(V, \delta)$.

Особливістю великотоннажних суден являється доповнення до викладеного вище, необхідністю розглядати додатково ще один параметр - зворотне зміщення $\ell_3(\delta)$. Для звичайних суден його, як правило, навіть не розглядають. Причиною тому є його невелика величина, яка порівнянна з точністю траєкторних вимірювань. З цих причин виявити його при здавальних випробуваннях практично не можливо.

Для великотоннажних суден його величина більше ніж ширина судна і радіальна середньоквадратична похибка траєкторних вимірювань.

Кількість характеристик гальмування і форма їх представлення, які повинні бути на судні, визначаються рекомендаціями ММО та вимогами національних нормативних

документів України (РШСУ - 98). При призначенні режиму руху судна використовують умовний поділ всієї потужності на частини, рівні 0.7, 0.5, 0.3 від потужності повного переднього ходу.

Для позначення режимів руху будемо використовувати умовні позначення, які рекомендовані РШСУ -98: ПП - передній повний хід; ППм - передній повний маневрений хід; ПС - передній середній хід; ПМ - передній малий хід; ПСМ - передній самий малий хід; ЗП - повний задній хід; ЗС - задній середній хід; ЗМ - малий задній хід; ЗСМ - задній самий малий хід.

Сьогодні на судах широко впроваджена рекомендація ММО про складання, до виходу з порту, судового плану переходу з деталізацією всіх етапів руху судна від причалу до причалу. Для автономного судна зазначений план обов'язковий, однак побудувати його при відсутності відповідних даних про маневрені властивості неможливо.

У той же час вимоги, які містяться в Резолюції ММО А. 751 (18), прийнятої 4 листопада 1993 року, а також 2003 року не визначають обсяг і кількість даних, які повинні бути на судні. Вони містять вимоги, які скоріше можна віднести до тих, при яких повинні проектуватися судна, іншими словами нормують їх значення. Судноводій зазвичай працює на судні, яке вже побудовано, і він повинен визначати значення параметрів і враховувати ті характеристики, якими воно володіє.

У зв'язку з необхідністю обробки великої кількості інформації була проведена систематизація способів подання даних про параметри судна і його пристроїв, які забезпечують маневрені властивості судна. і виконано аналіз способів представлення даних про характеристики та прийняли форму представлення даних у вигляді таблиць, запропоновану проф. Мальцевим А.С., яка зручна для обробки кібернетичними пристроями. Поряд з зручністю роботи комп'ютера було запропоновано способи представлення даних з таким розрахунком, щоб судоводій міг використовувати необхідну інформацію при управлінні судном на містку.

За способом визначення коефіцієнтів диференціального рівняння, яке описує рух судна, розрізняють: експериментальний; розрахунковий; експериментально-розрахунковий.

Лінійні графіки ММО мають ту ж інформативність, що і $V(t)$ і $S(t)$. Однак вони незручні в роботі через труднощі інтерполяції при вибірці t і V на нелінійної шкалою і вони громіздкі, потрібно 5 листів по 20 характеристик на кожному. Незважаючи на те, що вони рекомендовані ІМО і потрібно їх наявність на судні, трудомісткість процесу вибірки великої кількості відомостей, відсутність даних для використовуваних режимів, мабуть, роблять недоцільним, а іноді і неможливим, їх використання на містку. Нерівномірна шкала швидкості і часу не дозволяє зробити якісно необхідну інтерполяцію.

Рекомендується для використання в комп'ютері при проведенні наукових досліджень, при виконанні дипломних і курсових робіт в морському навчальному закладі.

Таблиці характеристик гальмування кінцевих значень часу і шляху для стану в вантажі і баласті для всіх режимів поміщаються на одній сторінці, а вибірка даних займає мало часу. Рекомендується для використання на містку і в комп'ютері при плануванні маневрів судна. Вибірка даних займає мінімальний час, а при необхідності інтерполяція може бути виконана без застосування обчислювальної техніки.

Для оцінки маневрених характеристик автономних суден даних була використана комп'ютерна програма Деніс- 2, яка розроблена на кафедрі Управління судном Національного університету «Одеська морська академія», необхідні вхідні дані для якої зведено до табл. 2.

Програма розроблена для одно гвинтового судна, та виконує побудову графіків, для всіх видів гальмування. Зараз вона знаходиться на етапі удосконалення, для представлення результатів розрахунку у вигляді двох таблиць – гальмівних характеристик і поворотності для автономних суден.

Таблиця 2. Дані для розрахунку маневрених характеристик програмою «Деніс-2»

№ пп	Параметр та одиниця виміру	Умовне позначення		
1	Довжина між перпендикулярами, м	L_{LL}		
2	Ширина найбільша, м	B		
3	Число гвинтів/кормів	i / j		
4	Тип енергетичної установки	ДВС		
5	Швидкість впевненого реверсування, зв'язок	$V_{рев}$		
6	Гвинт: Число лопатей	Z		
7	Діаметр, м	D_B		
8	Крокове відношення	H/D_B		
9	Дискове відношення	Θ		
10	Характеристики керма: Площа пера керма, м ²	S_p		
11	Висота керма по балеру, м	h_p		
12	Площа підрізу корми, м ²	f_k		
13	Експеримент пас. гальмування: початкова швидкість, уз	V_o		
14	кінцева швидкість, уз	V_k		
15	час пас. торм., з	t^{11}		
16	Експеримент акт. гальмування: початкова швидкість, уз	V_H		
17	кількість оборотів ЗП, об/хв	$n_{зхэ}$		
18	Час акт. торм., з	t^{111}		
19	Експеримент циркуляції: Початкова швидкість, зв'язок	$V_{ниц}$		
20	Кінцева швидкість, зв'язок	$V_{кц}$		
21	Кут перекидки керма, градусів	$\delta^0_{э}$		
22	Висув, корпусів	ℓ_1		
23	Пряме зміщення корпусів	ℓ_2		
24	Тактичний діаметр корпусів	D_T		
25	Сталий діаметр корпусів	D_y		
Дані по стану судна		У вантажі	У баласті	Експерим.
26	Водотоннажність, т	$D_{гр}$	$D_{бал}$	$D_{э}$
27	Осідання носом, м	$T_{нгр}$	$T_{нбал}$	$T_{нэ}$
28	Осідання кормою, м	$T_{кгр}$	$T_{кбал}$	$T_{кэ}$
29	Коефіцієнт повноти мідель шпангоуту, β_{Θ}			
Швидкісні характеристики судна (швидкість, зв/обороти, обор./хв.)				
Режим переднього ходу		У вантажі	У баласті	$n_{зх}$, об/хв
30	Передній повний (ПП)			ЗП
31	Передній повний маневрений (ППм)			ЗС
32	Передній середній (ПС)			ЗМ
33	Передній малий (ПМ)			ЗСМ
34	Передній найменший (ПСМ)			
35	Площа проекції надв. частини корп. на ДП, м ²	$T_{ср}$	S_H	
36	Площа проекції підв. частини корп. на ДП, м ²	$T_{ср}$	$S_{п}$	
37	Швидкість втрати керованості, вузл.	$V_{упр}$		

Таблиця 3 - Інерційно-гальмівні характеристики т / х «Урага Вікеланд» в табличній формі

У баласті D _{бал} = 2000 тонн T _{ср} = 6 м																					
В вантажі D _{ванг} = 3200 тонн, T _{ср} = 5.9 м																					
ПСМ	ПМ		ПС		ППМ		ПП		Машин		ПП										
	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	Машин	ПП											
5 узлов	6 узлов		8 узлов		10 узлов		12,0 узлов				12,4 узлов	11,0 узлов		10,4 узлов		6,7 узлов		ПСМ			
t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	Машин	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	t _{мін}	S _{кбт}	5,6 узлов		
3.68	3.54	3.44	3.48	3.34	3.44	3.27	3.41	3.16	3.36	Машин	3.59	3.81	3.72	3.86	3.91	3.94	3.91	3.94	4.14	4.16	
3.26	3.02	3.18	2.95	3.08	2.91	3.01	2.88	2.9	2.84	ЗП	3.3	3.21	3.42	3.26	3.62	3.34	3.62	3.34	3.84	3.66	
3.01	2.56	2.79	2.32	2.7	2.28	2.62	2.25	2.51	2.2	ЗС	2.85	2.49	2.98	2.55	3.06	2.58	3.17	2.63	3.4	3.43	
2.45	1.69	2.14	1.52	2.05	1.48	1.98	1.45	1.86	1.41	ЗМ	2.11	1.59	2.24	1.64	2.32	1.68	2.43	1.72	2.8	1.95	
1.84	1.16	1.63	1.02	1.53	0.98	1.46	0.95	1.35	0.91	ЗСМ	1.52	1.02	1.64	1.07	1.73	1.11	1.84	1.15	2.12	1.42	
існуючий режим												НОВИЙ РЕЖИМ РУХУ СУДНА									
НОВИЙ РЕЖИМ РУХУ СУДНА												НОВИЙ РЕЖИМ РУХУ СУДНА									
ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗГОНУ																					
341	3.0	284	3.0	213	3.0	171	3.0	142	3.0	Стоп	391	3.4	326	3.4	244	3.4	196	3.4	163	3.4	
—	—	98	1.5	128	2.4	119	2.6	108	2.8	ПСМ	—	—	113	1.7	147	2.7	137	3.0	123	3.2	
—	—	—	—	100	1.9	106	2.4	100	2.6	ПМ	—	—	—	—	115	2.2	122	2.8	114	3.0	
—	—	—	—	—	—	68	1.7	80	2.2	ПС	—	—	—	—	—	—	78	1.9	91	2.6	
—	—	—	—	—	—	—	—	49	1.5	ППМ	—	—	—	—	—	—	—	—	56	1.7	
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИГАЛЬМОВУВАННЯ																					
263	5,0	203	4,4	122	3,2	61	1,9	—	—	ПП	—	—	70	2,2	140	3,7	233	5,0	302	5,7	
243	4,4	181	3,7	88	2,2	—	—	—	—	ППМ	—	—	—	—	101	2,5	207	4,2	279	5,0	
209	3,5	137	2,6	—	—	—	—	—	—	ПС	—	—	—	—	—	—	157	3,0	240	4,0	
122	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—	ПМ	—	—	—	—	—	—	—	—	140	2,2	

Таблиця 4. Параметри циркуляції т/х «Yara birkeland»

Кут перекладки руля	Параметр	Умовні позначення	У вантажі		У баласті	
			Експериментально розрахункове, корпусів	Експериментально розрахункове, кабельтов	Експериментально розрахункове, корпусів	Експериментально розрахункове, кабельтов
5 ⁰	Зсув	ℓ_1	9.62	3.89	9.58	3.88
	Пряме зміщення	ℓ_2	7.49	3.03	7.43	3.01
	Тактичний діаметр	D_T	15.49	6.27	15.37	6.22
	Сталий діаметр	D_y	14.74	5.97	14.73	5.96
10 ⁰	Зсув	ℓ_1	6.68	2.71	6.50	2.63
	Пряме зміщення	ℓ_2	4.82	1.95	4.62	1.87
	Тактичний діаметр	D_T	10.11	4.09	9.72	3.94
	Сталий діаметр	D_y	9.43	3.82	9.15	3.71
15 ⁰	Зсув	ℓ_1	5.39	2.18	5.14	2.08
	Пряме зміщення	ℓ_2	3.64	1.47	3.38	1.37
	Тактичний діаметр	D_T	7.73	3.13	7.22	2.93
	Сталий діаметр	D_y	7.08	2.87	6.68	2.71
20 ⁰	Зсув	ℓ_1	4.61	1.87	4.33	1.75
	Пряме зміщення	ℓ_2	2.93	1.19	2.64	1.07
	Тактичний діаметр	D_T	6.31	2.55	5.73	2.32
	Сталий діаметр	D_y	5.67	2.30	5.21	2.11
25 ⁰	Зсув	ℓ_1	4.08	1.65	3.77	1.53
	Пряме зміщення	ℓ_2	2.45	0.99	2.13	0.86
	Тактичний діаметр	D_T	5.34	2.16	4.72	1.91
	Сталий діаметр	D_y	4.72	1.91	4.20	1.70
30 ⁰	Зсув	ℓ_1	3.69	1.50	3.36	1.36
	Пряме зміщення	ℓ_2	2.09	0.85	1.76	0.71

Продовження табл.4

30°	Тактичний діаметр	D_T	4.62	1.87	3.97	1.61
	Сталий діаметр	D_y	4.01	1.62	3.46	1.40
35°	Зсув	l_1	3.39	1.37	3.04	1.23
	Пряме зміщення	l_2	1.82	0.74	1.47	0.60
	Тактичний діаметр	D_T	4.07	1.65	3.38	1.37
	Сталий діаметр	D_y	3.46	1.40	2.89	1.1
Кут швидкості мимовільної циркуляції $\pm \varpi_0 = 0,12$						
Кут зворотної перекладки руля $\pm \delta_{po} = 3^0$						

Зазначені розрахунки застосовуються для планування координат руху траєкторними точками.

Визначимо блок-схему управління рухом автономного судна та дамо ознаку кожній секції[13].

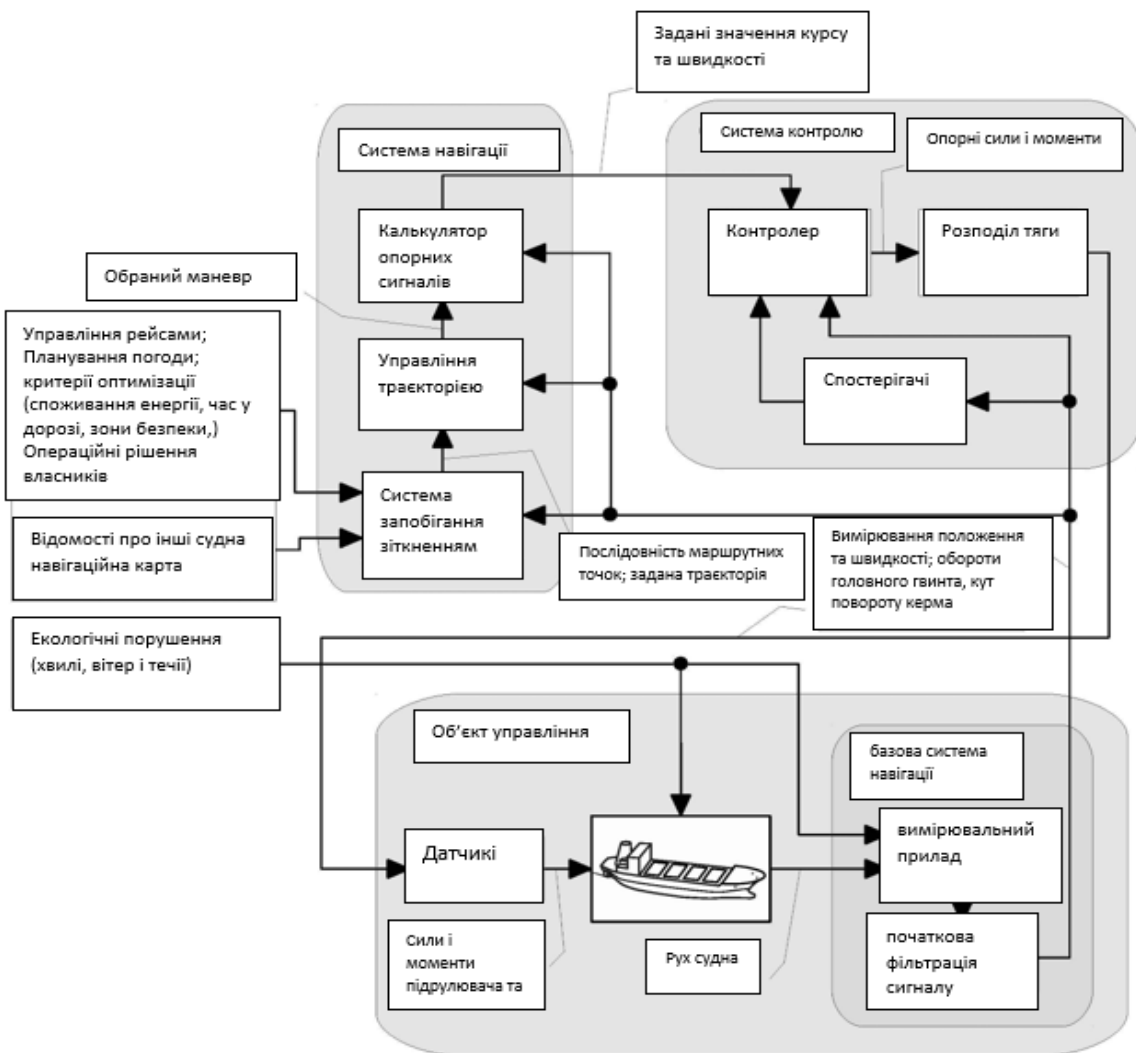


Рис.1. Блок-схема управління рухом автономного судна

1. Датчики: датчики на автономному судні включають різноманітні інструменти, які надають інформацію про оточення судна, такі як GPS-датчики для позиції та швидкості, гідролокаційні датчики для виявлення та уникнення перешкод, а також камери для візуальної інформації.

2. Об'єднання датчиків: блок об'єднання датчиків обробляє інформацію від датчиків і об'єднує їх у повну картину оточення судна.

3. Планування маршруту: цей блок відповідає за визначення цілей судна та планування безпечного та ефективного маршруту.

4. Контроль навігації: Блок керування навігацією відповідає за контроль положення та курсу судна. Він отримує вхідні дані від блоку з'єднання датчиків і генерує команди для силової та рульової систем.

5. Уникнення зіткнень: блок запобігання зіткненням відповідає за виявлення та уникнення перешкод на шляху судна. Він отримує вхідні дані від блоку з'єднання датчиків і генерує команди для силової установки та систем рульового управління для маневрування навколо перешкод.

6. Динамічне позиціонування: блок динамічного позиціонування відповідає за підтримку положення та курсу судна у фіксованому місці, незалежно від вітру, хвиль або течій. Він отримує вхідні дані від блоку навігаційного керування та генерує команди для силової та підрулюючої систем.

7. Контроль і моніторинг: цей блок постійно відстежує продуктивність судна під час маневру, порівнюючи її з планом і вносячи коригування за потреби. Цей блок також забезпечує зворотний зв'язок з іншими блоками, дозволяючи їм приймати точніші рішення в майбутньому.

8. Керуючий комп'ютер: керуючий комп'ютер обробляє дані від датчиків і використовує їх для визначення бажаного руху судна. Він також спілкується з іншими підсистемами та компонентами для виконання планових маневрів.

9. Приводи: Приводи використовуються для керування рухом судна. До них належать пропульсивна система (така як двигуни та гвинти), система рульового управління (така як рульові або підрулюючі) та інші механізми, які можна використовувати для зміни положення, швидкості та курсу судна.

10. Система зв'язку: система зв'язку використовується для передачі даних і команд між керуючим комп'ютером та іншими підсистемами. Ця система може включати дротові або бездротові з'єднання, і вона має бути надійною та безпечною.

11. виправлення помилок: будь-які помилки або невідповідності в даних потім виправляються за допомогою різних методів виправлення помилок. Це важливо для того, щоб дані були точними та надійними.

12. Відстеження траєкторії — у якому він співпрацює з підсистемою формування безпечної траєкторії. Після визначення безпечної та досяжної траєкторії опорні точки маршруту перетворюються на опорні контрольні сигнали — базовий курс і контрольні точки головного двигуна.

13. Режим маневрування в зоні обмеженого доступу, де рух судна визначається набором шляхових точок і бажаним курсом судна. Так рухається судно, наприклад, підходячи до причалу. Коливання руху та поворот керуються. Робота в цьому режимі вимагає не тільки використання азиподів; носові та азимутальні підрулюючі пристрої також активуються для виконання необхідних рухів.

14. Маневр в останню хвилину (LMM) для уникнення зіткнень, де підсистема формує безпечну траєкторію та визначає задані значення двигунів, що дозволяє уникнути зіткнення або мінімізувати його наслідки

15. Інерційний вимірювальний пристрій (IMU): IMU — це пристрій, який вимірює прискорення судна, кутову швидкість і орієнтацію. Він надає важливі дані для розрахунку положення, швидкості та напрямку руху судна, які використовуються для керування рухом судна та виконання поворотів.

16. Глобальна навігаційна супутникова система (GNSS): GNSS – це супутникова навігаційна система, яка надає високоточну інформацію про позиціонування та час для автономних суден. Він важливий для розрахунку місця розташування судна та маршруту, а також для внесення корекції курсу під час поворотів.

17. Алгоритми управління: Алгоритми управління: — це комп'ютерні програми, які використовують дані з IMU та GNSS для управління рухом судна. Вони можуть використовуватися для виконання різноманітних функцій, таких як утримання сталого курсу, уникнення перешкод або виконання поворотів.

18. Система рульового управління: система рульового управління відповідає за контроль напрямку судна. Він може бути механічним або електронним і зазвичай керується системою бортового комп'ютера судна.

Повністю автономна модель роботи - при цьому судно управляється повністю самостійно, без втручання людини. Воно оснащено датчиками та іншими технологіями, які дозволяють йому самостійно орієнтуватися та приймати рішення. У моделі повністю автономної роботи судно оснащено передовими системами запобігання зіткнення, які використовують дані від датчиків для виявлення потенційних небезпек і уникнення аварій. Системи також можуть вживати заходів ухилення, таких як зміна курсу або уповільнення, щоб уникнути зіткнень. Судно оснащено системами зв'язку, які дозволяють йому передавати дані береговим операторам і отримувати інструкції, якщо це необхідно. Це дозволяє судну реагувати на зміну умов і відповідним чином адаптувати свою поведінку. Судно використовує систему автоматичного контролю швидкості та напрямку руху на основі даних з датчиків та інших джерел інформації про параметри стану та руху. Система автоматичного управління запрограмована на попередньо визначені маршрутні точки (WP), розміщення яких визначається наявністю геодезичних ліній та вибором рівновіддалених від навігаційних обмежень району плавання для коригування курсу судна. Судно використовує розширені алгоритми прийняття рішень для аналізу даних з датчиків та інших джерел і прийняття рішень щодо навігації, швидкості та інших параметрів руху. Ці алгоритми повинні адаптуватися до мінливих навігаційних умов і враховуватися при оптимізації руху судна [16,18].

У моделі роботи з дистанційним управлінням судном люди-оператори, які знаходяться на березі або на іншому судні, виконують тільки нагляд за проходженням центра ваги (ЦВ) по оптимально спланованим безпечним координатам ТТ, положення яких ніколи не міняється. Оператори використовують різні системи дистанційного управління, такі як камери, датчики та комунікаційні технології, щоб стежити за переміщенням ЦВ судна по плановим ТТ. У моделі роботи з дистанційним управлінням судном використовуються тільки цільові системи зв'язку, які дозволяють йому передавати дані береговим операторам і отримувати інструкції в режимі реального часу. Це дозволяє операторам контролювати поведінку судна та приймати рішення щодо його руху. Однак існують також деякі проблеми, пов'язані з моделями роботи дистанційного управління. Однією з найбільших проблем є надійність систем зв'язку. Системи дистанційного управління покладаються на передові комунікаційні технології, які можуть бути схильні до збоїв і впливу кібератак. Якщо система зв'язку виходить з ладу, це може призвести до втрати контролю над судном, що може бути небезпечним. Датчики навігаційних приладів включають РЛС, лідар, GPS і навігаційні камери, які забезпечують візуальний зворотний зв'язок щодо руху судна по заданій плановій траєкторії та його розташування відносно зовнішніх навігаційних перешкод.

Оператори використовують різні системи дистанційного управління, такі як джойстики, панелі або навіть інтерфейси віртуальної реальності, щоб контролювати рух судна. У моделі роботи дистанційного управління маневруванням та ризиками контроль за параметрами руху є ключовим фактором. Оператори повинні вміти визначати потенційні небезпеки та швидко реагувати, щоб уникнути нещасних випадків, включаючи використання автоматичних систем підтримки прийняття рішень. Інтерфейс людина-машина є важливим аспектом моделі роботи дистанційного управління. Інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим і простим у використанні, щоб оператори могли швидко і легко контролювати рух судна. Для цього

необхідно використовувати контроль інформації про параметри руху які передаються по каналам прямого, зворотного та локального зв'язку, а також звукового та тактильного зворотного зв'язку, щоб надати операторам повну картину поведінки судна.

Висновки та перспектива подальшої роботи за цим напрямком

Планування шляхів координат точок траєкторії автономного судна вимагає ретельного врахування навігаційних ризиків для організації безпечної та ефективної навігації. Основні особливості такого планування включають: розробку алгоритмів та використання розрахункових схем високоточного планування ТТ, включаючи вибір детального алгоритму виконання і отримання повороту і планування координат криволінійної траєкторії; необхідність розрахунку характеристик поворотності для стану під час рейсового циклу; розрахунок абсциси полюсу повороту та ширини маневреного зміщення; розрахунок абсциси центру ваги і його врахування при перерахунку координат супутникової антени на центр ваги; використання систем підтримки прийняття рішень для попередження посадки судна на мілину та вибору виду маневру останнього моменту.

Однією з ключових проблем у плануванні ТТ для автономного судна є визначення та пом'якшення навігаційних ризиків. Це вимагає комплексної оцінки ризику, яка враховує ряд факторів, включаючи погодні умови, стан моря, видимість і наявність інших суден або перешкод. Використання передових сенсорних технологій, таких як радар і лідар, може допомогти покращити оцінку виду ризиків і покращити ситуаційну обізнаність.

Іншим важливим моментом при плануванні ТТ для автономного судна є використання безпечних робочих параметрів маневрування судна. Це може передбачати встановлення обмежень на такі фактори, як швидкість, радіус повороту та глибина, і включення цих обмежень у процес планування траєкторії. Крім того, використання інструментів прогнозного моделювання та використання тренажерів може допомогти визначити потенційні експлуатаційні проблеми та відповідно оптимізувати планування траєкторії.

Щоб забезпечити ефективне планування траєкторії для автономних суден, також важливо встановити чіткі канали зв'язку між судном і його операторами. Це може передбачати використання комбінації технологій віддаленого моніторингу та систем передачі даних у реальному часі, щоб надати операторам актуальну інформацію про місцезнаходження, статус і положення судна відносно планового шляху. Крім того, використання стандартизованих протоколів і процедур може допомогти забезпечити чітке розуміння операторами своїх ролей і обов'язків у процесі планування траєкторії і при забезпеченні руху по ній. Загалом, успішне планування точок траєкторії для автономних суден потребує багато дисциплінарного підходу, який включає в себе знання з низки галузей, включаючи навігацію, інженерію та управління ризиками. Це також вимагає постійної співпраці та спілкування між операторами судна та його зацікавленими сторонами, включаючи регуляторні органи та інших учасників морської галузі.

Однією з ключових переваг використання автономних суден для транспортування вантажів та інших видів робіт є потенціал для підвищення безпеки та ефективності, одночасно зменшуючи вплив морських операцій на навколишнє середовище. Однак для повної реалізації цих переваг важливо переконатися, що планування траєкторії здійснюється таким чином, щоб максимізувати безпеку та мінімізувати ризик. Це вимагає розробки та впровадження ефективних стратегій управління ризиками, а також постійного моніторингу умов експлуатації судна.

Дотримуючись передових практик і використовуючи новітні технології навігаційної роботи та стратегії, автономні судна допоможуть трансформувати морську транспортну галузь в безпечний і ефективний спосіб перевезення вантажів.

Перспективи подальшої роботи в цьому напрямку включає розробку передових навігаційних і комунікаційних систем управління, які дозволять автономним суднам плавати в більш складних умовах, таких як полярні регіони або райони з високою інтенсивністю судноплавства. Крім того, існує потенціал для використання штучного інтелекту та

машинного навчання для підвищення точності та надійності навігаційних систем і оптимізації стратегій планування і управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шумілова, К. В. Систематизований підхід до класифікації навігаційних ризиків рейсового циклу морського судна. Scientific Collection «Interconf» № 121, p.337-358, 2022.
2. Мальцев, А. С. Побудова криволінійних траєкторій маневрування методом відрізків. In The 9 th International scientific and practical conference “Science, innovations and education: problems and prospects” (April 6-8, 2022) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan. 2022. 580 p. (p. 152).
3. Шумілова, К. В., Мальцев, А. С. «Управління індивідуальними навігаційними ризиками рейсового циклу морського судна» *Науково-технічний збірник «Судноводіння»* – Одеса: НУ «ОМА», 2022, Випуск 33. DOI: 10.31653/2306-5761.33.2022.128-142.
4. Xinyu Z., Chengbo W., Yuanchang L., Xiang C., Decision-Making for the Autonomous Navigation of Maritime Autonomous Surface Ships Based on Scene Division and Deep Reinforcement Learning. *Sensors* 2019, 19(18), 4055, doi: 10.3390/s19184055
5. Zhang, Y., Shao, S., & Zheng, S. 2018. Navigation risk assessment and control for unmanned surface vehicle. *Journal of Navigation*, 71(3), 568-585.
6. Xue Li, Poong Oh, Yusheng Zhou, Kum Fai Yuen. 2022. Operational risk identification of maritime surface autonomous ship: A network analysis approach *Transport Policy* Volume 130, January 2023, P. 1-14
7. J. de Vos, R.G. Hekkenberg, O.A.V. Banda. The Impact of Autonomous Ships on Safety at Sea – A Statistical Analysis. *Reliability Engineering & System Safety* Volume 210, 2021.
8. Chang, C-H, Kontovas, CA, Yu, Q and Yang, Z Risk assessment of the operations of maritime autonomous surface ships. *Reliability Engineering and System Safety*, 207. ISSN 0951-8320,2020
9. Valdez Banda, O.A., Goerlandt, F., A STAMP-Based Approach For Designing Maritime Safety Management Systems. *Saf. Sci.* 109:109-129, 2018
10. IMO. “Generic Guidelines For Developing IMO Goal-Based Standards. MSC.1/Circ.1394.” London, 2011.
11. IMO. “Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process. MSC-MEPC.2/Circ.12.” London, 2013.
12. Tang, W., Chen, H., Yu, F., & Liu, H. Research on a security risk assessment model for unmanned surface vessels. *Journal of Navigation*, 72(5), 935-949, 2019.
13. Miller, A., Rybczak, M., Rak, A. Towards the Autonomy: Control Systems for the Ship in Confined and Open Waters *Sensors* 2021, 21(7), 2286, 2021.
14. MUNIN. Research in maritime autonomous systems project results and technology potentials. 2016.
15. Kongsberg. Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland. [Online]. URL: <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/4B8113B707A50A4FC125811D00407045?OpenDocument> (accessed December 7, 2018).
16. Jalonen R., Tuominen R., Wahlstrom M. Safe shipping with autonomous and remote controlled ships. 2017.
17. EMSA (European Maritime Safety Agency). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents*; EMSA: Lisbon, Portugal, 2018.

18. Perera, L.P.; Ferrari, V.; Santos, F.P.; Hinostroza, M.A.; Soares, C.G. Experimental evaluations on ship autonomous navigation and collision avoidance by intelligent guidance. *IEEE J. Ocean. Eng.* 2014, *40*, 374–387.
19. Chae, C.J.; Kim, M.; Kim, H.J. A Study on Identification of Development Status of MASS Technologies and Directions of Improvement. *Appl. Sci.* 2020, *10*, 4564.
20. Ramos, M.A.; Utne, I.B.; Mosleh, A. Collision avoidance on maritime autonomous surface ships: Operators' tasks and human failure events. *Saf. Sci.* 2019, *116*, 33–44.

REFERENCES

1. Shumilova, K. V. 2022. Systematyzovanyi pidkhid do klasyfikatsii navihatsiinykh ryzykiv reisovoho tsykladu morskoho sudna. Scientific Collection «Interconf» № 121, p.337-358.
2. Maltsev, A. S. Pobudova kryvoliniinykh traiektorii manevruvannia metodom vidrizkiv. In The 9 th International scientific and practical conference “Science, innovations and education: problems and prospects” (April 6-8, 2022) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan. 2022. 580 p. (p. 152).
3. Shumilova, K. V., Maltsev, A. S., “The management of individual navigational risks of the ship voyage cycle,” *Shipping & Navigation vol. 33*, 2022. DOI: 10.31653/2306-5761.33.2022.128-142.
4. Xinyu Z., Chengbo W., Yuanchang L., Xiang C., Decision-Making for the Autonomous Navigation of Maritime Autonomous Surface Ships Based on Scene Division and Deep Reinforcement Learning. *Sensors* 2019, *19*(18), 4055, doi: 10.3390/s19184055
5. Zhang, Y., Shao, S., & Zheng, S. 2018. Navigation risk assessment and control for unmanned surface vehicle. *Journal of Navigation*, *71*(3), 568-585.
6. Xue Li, Poong Oh, Yusheng Zhou, Kum Fai Yuen. 2022. Operational risk identification of maritime surface autonomous ship: A network analysis approach *Transport Policy* Volume 130, January 2023, P. 1-14
7. J. de Vos, R.G. Hekkenberg, O.A.V. Banda. The Impact of Autonomous Ships on Safety at Sea – A Statistical Analysis. *Reliability Engineering & System Safety* Volume 210, 2021.
8. Chang, C-H, Kontovas, CA, Yu, Q and Yang, Z Risk assessment of the operations of maritime autonomous surface ships. *Reliability Engineering and System Safety*, 207. ISSN 0951-8320,2020
9. Valdez Banda, O.A., Goerlandt, F., A STAMP-Based Approach For Designing Maritime Safety Management Systems. *Saf. Sci.* 109:109-129, 2018
10. IMO. “Generic Guidelines For Developing IMO Goal-Based Standards. MSC.1/Circ.1394.” London, 2011.
11. IMO. “Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process. MSC-MEPC.2/Circ.12.” London, 2013.
12. Tang, W., Chen, H., Yu, F., & Liu, H. Research on a security risk assessment model for unmanned surface vessels. *Journal of Navigation*, *72*(5), 935-949, 2019.
13. Miller, A., Rybczak, M., Rak, A. Towards the Autonomy: Control Systems for the Ship in Confined and Open Waters *Sensors* 2021, *21*(7), 2286, 2021.
14. MUNIN. Research in maritime autonomous systems project results and technology potentials. 2016.

15. Kongsberg. Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland. [Online]. URL: <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/4B8113B707A50A4FC125811D00407045?OpenDocument> (accessed December 7, 2018).
16. Jalonen R., Tuominen R., Wahlstrom M. Safe shipping with autonomous and remote controlled ships. 2017.
17. EMSA (European Maritime Safety Agency). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents*; EMSA: Lisbon, Portugal, 2018.
18. Perera, L.P.; Ferrari, V.; Santos, F.P.; Hinostroza, M.A.; Soares, C.G. Experimental evaluations on ship autonomous navigation and collision avoidance by intelligent guidance. *IEEE J. Ocean. Eng.* 2014, *40*, 374–387.
19. Chae, C.J.; Kim, M.; Kim, H.J. A Study on Identification of Development Status of MASS Technologies and Directions of Improvement. *Appl. Sci.* 2020, *10*, 4564.
20. Ramos, M.A.; Utne, I.B.; Mosleh, A. Collision avoidance on maritime autonomous surface ships: Operators' tasks and human failure events. *Saf. Sci.* 2019, *116*, 33–44.