
Автоматизація планування координат рейсового циклу автономного судна**Гліб Муравйов**

Національний університет Одеська морська академія, Одеса, Україна

ORCID 0009-0008-1739-4399

Для цитування цієї статті:

Муравйов Гліб. Автоматизація планування координат рейсового циклу автономного судна. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No.5, 2024, pp. 120-139. doi: 10.46299/j.isjea.20240305.12.

Надійшла до редакції: 15 серпня 2024 р.; **Схвалено:** 16 вересня 2024 р.;

Опубліковано: 01 жовтня 2024 р.

Анотація: Метою даної роботи являється розробка алгоритмів і розрахункових схем для автоматизації планування координат шляху автономного судна в рейсовому циклі. Однією з головних цілей є розробка способів підвищення точності планування координат шляху та удосконалення методів ефективного маневрування для організації безпечного плавання по ним. Традиційно координаційне планування виконується вручну, що являється трудомістким процесом і часто призводить до помилок або недоліків. Завдяки автоматизації судноводій приймає більш швидкі та точні рішення, що значно знижує ризик навігаційних та кібернетичних аварій. Автоматизація також може допомогти судну оптимізувати маршрут переходу на основі врахування зовнішніх та внутрішніх факторів, які впливають на його рух. Крім того необхідно враховувати вірогідність появи техногенних ризиків та відповідним чином оперативно коригувати свій маршрут, щоб уникнути небезпечних аварійних ситуацій. Він також може прискорити планування шляху та оптимізувати маршрут для скорочення споживання палива, підготувати вантаж до безпечного перевезення в складних умовах плавання та інших факторів, що призводить до економії коштів і покращення екологічної стійкості рейсового циклу. Ще одна ключова перевага автоматизації в координаційному плануванні полягає в тому, що вона може допомогти судну працювати ефективніше в перевантажених зонах, таких як порти або судноплавні шляхи з інтенсивним рухом. Автономні судна, оснащені вдосконаленими датчиками параметрів маневрування та використовують сучасні технології автоматизації виробничих процесів, які дозволяють оперативно управляти судном в складних зовнішніх умовах більш надійно, ніж ручне управління оператором. Автоматизуючи цей важливий аспект рейсового циклу, судноплавні компанії можуть знизити витрати, підвищити стійкість і забезпечити безпечну та ефективну роботу своїх суден. Штучний інтелект (AI) і машинне навчання (ML) можна використовувати для аналізу даних від датчиків і прийняття рішень від імені судна. Ці алгоритми також можна використовувати для оптимізації маршруту судна на основі різноманітних факторів. Алгоритм швидкого дослідження випадкового дерева (RRT*) контрольних параметрів маневрування використовується для управління рухом по плановому маршруту, без зіткнень для судна. Він створює перелік можливих безпечних шляхів і вибирає найкращий на основі, аналізу параметрів відстані до навігаційних перешкод і безпечного розходження з другими суднами. Автоматизація координатного планування в рейсовому циклі автономного судна є важливою галуззю судноплавних технологій, яка швидко розвивається. Використовуючи вдосконалені датчики, алгоритми AI/ML та інші технології, автономні судна можуть оптимізувати планування маршруту, підвищити навігаційну безпеку, та зменшити експлуатаційні витрати. Використання ефективних алгоритмів, таких як швидке дослідження випадкового дерева параметрів стану системи (RRT*) і визначений простір їх зміни, допомагає організувати

безпечно та ефективно управління роботою судна, а зв'язок з іншими суднами та портами може надати цінні дані в реальному часі для оптимізації рейсу. Оскільки ця технологія продовжує розвиватися, ми можемо очікувати все більшої кількості автономних суден, які вимагають мінімального втручання оператора судна в цикл його експлуатації. Це не тільки підвищить ефективність і безпеку, але й призведе до зниження витрат. Тому автоматизація планування координат у рейсовому циклі автономного судна та організація маневрування по ним, є вирішальним кроком до повністю автономного судноплавства. Він має потенціал революціонізувати судноплавну галузь, дозволяючи суднам працювати ефективніше та безпечніше зменшуючи потребу в людському втручанні.

Ключові слова: автономне судно, планування координат, рейсовий цикл, автоматизація управління маневруванням, безпека та ефективність вантажоперевезень, оптимізація експлуатації.

1. Вступ

Проблема полягає в необхідності ефективної автоматизації координатного планування в рейсовому циклі автономного судна. Ефективна автоматизація є складним завданням, що вимагає інтеграції багатьох систем і технологій. Складність виникає через необхідність організації безпечної та ефективної навігації судна в різних умовах і ситуаціях навколишнього середовища. Автономні судна все частіше використовуються в судноплавстві, але з цим приходять й багато небезпек. Автоматизація координатного планування має вирішальне значення для досягнення цієї мети, оскільки вона дозволяє судну оптимізувати свої операції на основі даних у реальному часі та реагувати на зміну умов навколишнього середовища. Ця проблема має велике наукове та практичне значення, оскільки успішне впровадження автономних суден має потенціал для значного підвищення безпеки, ефективності та стійкості морського транспорту та інших галузей. Тому вдосконалення автоматизації координатного планування в рейсовому циклі автономного судна є актуальним питанням дослідження проблеми безпеки судноводіння.

2. Аналіз літератури

У роботі [1] представляється новий алгоритм планування маршруту судна з використанням алгоритму випадкового дерева швидкого дослідження параметрів маневрування (RRT*) із виділеним простором руху. Стаття спрямована на підвищення ефективності та безпеки судноплавства. Стаття починається з вичерпної інформації про планування маршруту судна та обмеження існуючих методів. Автори обговорюють необхідність більш ефективного та дієвого алгоритму планування для підвищення безпеки та ефективності навігації суден. Вони пояснюють, що традиційні методи, такі як алгоритми A* і Dijkstra, мають обмеження в складних середовищах з багатьма перешкодами та вимагають значних обчислювальних ресурсів. Потім автори представляють алгоритм RRT* як рішення цих обмежень. RRT* — це алгоритм планування, який створює структуру дерева для пошуку можливого шляху в заданому просторі. Алгоритм випадковим чином досліджує простір і створює структуру дерева, щоб досягти мети з мінімізацією витрат. Алгоритм RRT* успішно використовується в різних сферах, включаючи робототехніку та планування руху. Автори пропонують використовувати визначені місця для організації безпечного плавання суден.

Визначений простір (domain) — це попередньо розрахована безпечна зона навколо судна, в межах якої слід уникати попадання будь-яких зовнішніх предметів. Автори пояснюють, як виділений простір можна включити в алгоритм RRT*, щоб переконатися, що запланований маршрут уникає будь-яких перешкод або зіткнень. Потім автори представляють моделювання запропонованого алгоритму у віртуальному середовищі, щоб продемонструвати його

ефективність у плануванні маршруту. Вони порівнюють результати алгоритму з традиційними методами та показують, що алгоритм працює краще з точки зору часу та безпеки. Вони також надають тематичні дослідження алгоритму, застосованого до сценаріїв реального світу, таких як навігація судна в переповненому порту. Нарешті, обговорюються потенційні застосування алгоритму в судновій навігації та при безпечному проходженні в стислих умовах. Наголошується на необхідності подальших досліджень і розробок у цій галузі та на тому, як алгоритм можна використовувати для підвищення безпечної експлуатації суден. Загалом, у статті представлено новий алгоритм планування маршруту судна на основі RRT* з використанням призначеного простору, який має потенціал для підвищення безпеки та ефективності навігації судна.

У роботі [2] представляється новий підхід до алгоритмів планування шляху для автономних транспортних засобів та суден. Запропонований алгоритм використовує представлення квадро дерева та метод на основі графіка видимості для оптимізації планування шляху в складних середовищах. Автори досягли цього, представивши новий алгоритм, який здатний генерувати шлях, який мінімізує кількість перешкод, а також зменшує загальну довжину шляху. Методологія, використана в цьому дослідженні, передбачає розробку алгоритму планування шляху на основі графіка видимості з використанням представлення безпечної зони у вигляді квадрата. Запропонований алгоритм рекурсивно ділить зовнішнє середовище на чотири області, що дозволяє ефективно планувати шлях у великих і складних середовищах. Потім алгоритм створює графік видимості який з'єднує всі видимі вузли один з одним, а потім шукає найкоротший шлях за допомогою модифікованого алгоритму A*.

Результати цього дослідження показують, що запропонований алгоритм перевершує існуючі алгоритми планування шляху як за довжиною шляху, так і за часом обчислення. Автори перевірили алгоритм у кількох сценаріях і продемонстрували, що він здатний знайти шлях, який мінімізує кількість перешкод, а також зменшує загальну довжину шляху. На завершення, запропонований у цій статті алгоритм планування шляху на основі графіка видимості з представленням квадро дерева забезпечує більш ефективне рішення для планування шляху в складних середовищах. Зменшуючи кількість перешкод і мінімізуючи довжину шляху, цей алгоритм має потенціал для підвищення безпеки та ефективності автономних транспортних засобів та суден у різноманітних додатках. Автори припускають, що можна провести подальші дослідження, щоб оптимізувати алгоритм і застосувати його до більш широкого кола середовищ і програм.

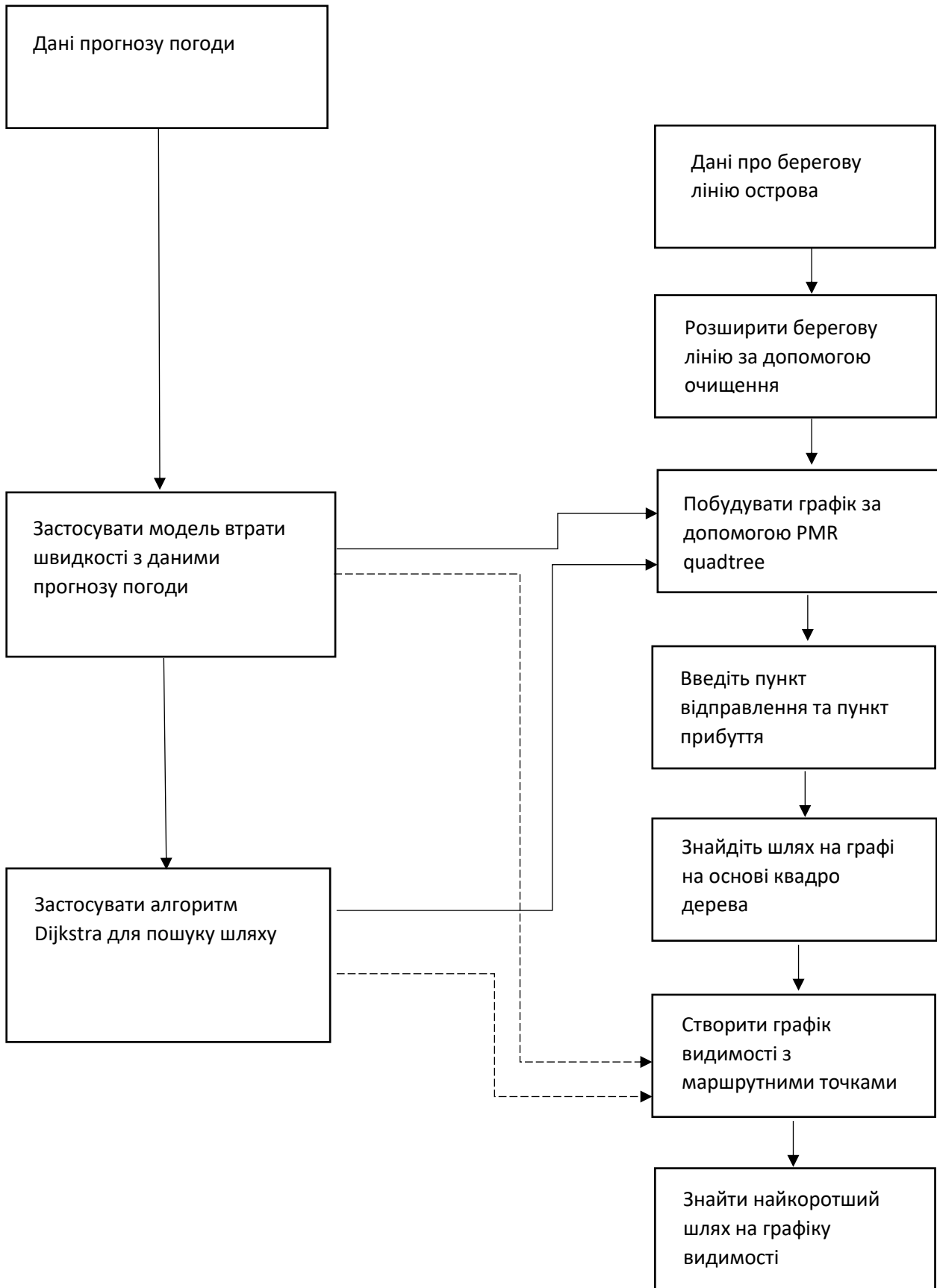


Рис.1. Хід процесу запропонованого алгоритму планування шляху.

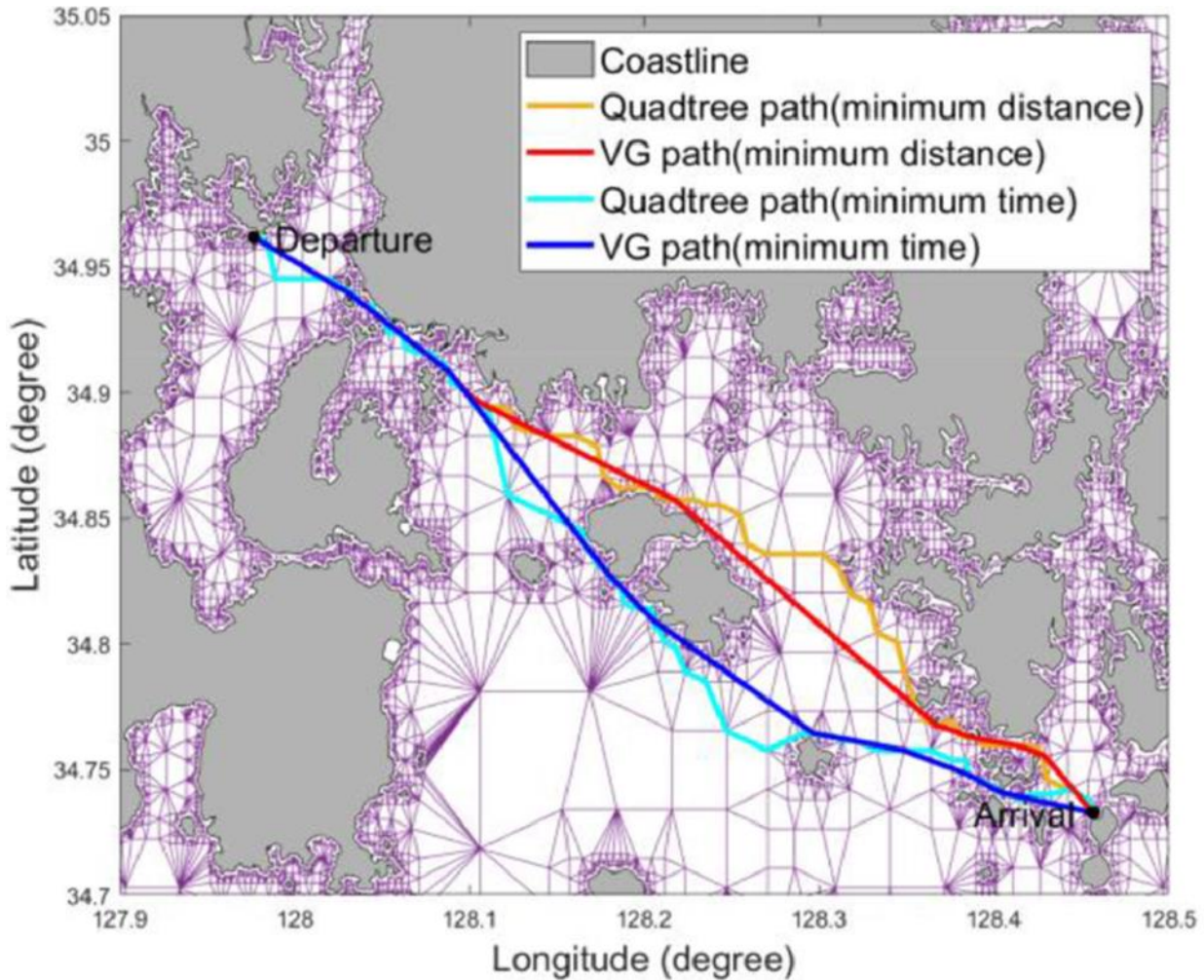


Рис.2. Використання шляхів кватро дерева та графіка видимості для Південної Кореї.

У роботі [3] досліджується співпрацю між операторами та високо автоматизованими морськими навігаційними системами. Це важливий напрямок досліджень, оскільки розвиток автономних суден у морській галузі зростає. Ефективна співпраця між людьми та автоматизованими системами має вирішальне значення для організації безпеки та ефективності цих суден. Методологія, використана в цьому дослідженні, включала огляд літератури та аналіз прикладів. Огляд літератури проінформував про існуючі дослідження щодо співпраці між оператором управління і системами в морській галузі та визначив ключові проблеми і можливості для співпраці з високоавтоматизованими навігаційними системами. Аналіз тематичних досліджень включав інтерв'ю з операторами та розробниками високо автоматизованих навігаційних систем, щоб визначити конкретні проблеми та можливості для співпраці. Результати цього дослідження показують, що ефективна співпраця між людьми та високо автоматизованими навігаційними системами має важливе значення для організації безпечної та ефективної роботи автономних суден. Автори визначають декілька ключових викликів і можливостей для співпраці. Однією з проблем є необхідність чіткого спілкування та спільного усвідомлення ситуації між людьми та засобами автоматизації. Це включає здатність людей розуміти результат і можливості автоматизації, а також здатність автоматизації ефективно спілкуватися з людьми. Ще одна проблема – важливість довіри та покладення на автоматизацію. Дослідження показало, що люди повинні довіряти автоматизації та покладатися на неї для виконання певних завдань, але також повинні мати можливість втрутитися в процес роботи при необхідності. Автори припускають, що цей баланс між довірою та втручанням є ключовим напрямком для майбутніх досліджень.

Виконаний аналіз показав, що використання автоматичних систем підтримки прийняття рішень (СППР) значно полегшує прийняття рішень оператором системи. Автори установили, що автоматизація може допомогти людям приймати рішення, надаючи дані про параметри управління та аналіз прийнятого рішення у реальному часі, але це також вимагає ефективної співпраці між операторами та приладами, якими вони управляють. Автори описують про проблеми і можливості для співпраці та припускають, що майбутні дослідження можуть прослідити розвиток інструментів навчання та підтримки для покращення співпраці між людьми та високо автоматизованими навігаційними системами.

У роботі [4] представляється фундаментальні принципи планування координат переходу для автономних суден. Це важливий напрямок досліджень, оскільки розвиток автономних суден у морській галузі зростає. Планування переходу є важливою частиною роботи судна, і важливо розуміти, як ефективно їх планувати для автономних суден. Автори проаналізували правила та рекомендації Міжнародної морської організації (ІМО), а також іншу відповідну літературу. Результати цього дослідження показують, що планування переходу для автономних суден має базуватися на підході, заснованому на оцінці ризику. Автори припускають, що процес планування переходу для автономних суден повинен включати такі етапи: вибір шляхових точок і складання їх таблиці для рейсового циклу; планування координат переходу, прокладка на карті та визначення аварійно небезпечних районів; оцінка навігаційних та кібернетичних ризиків, пов'язаних з рейсом; визначення критичних факторів, які можуть вплинути на безпеку судна та його вантажу; постійний моніторинг та оновлення плану, якщо це необхідно. Автори також підкреслюють важливість управління даними при плануванні проходу для автономних суден. Вони припускають, що управління даними повинно базуватися на систематичному підході, і що дані повинні збиратися з різних джерел, включаючи прогнози погоди, морські карти та лоції, дані про продуктивність суден. Іншою важливою характеристикою статті є обговорення проблем, пов'язаних із плануванням проходу для автономних суден. Автори виділяють кілька проблем, включаючи потребу в надійних джерелах даних, здатність точно прогнозувати продуктивність судна та здатність реагувати на непередбачені події. На завершення дослідження представлено фундаментальні принципи планування переходу для автономних суден. Автори надають розуміння ключових етапів процесу планування переходу та підкреслюють важливість підходу до планування переходу, що ґрунтується на оцінці ризику. У статті також підкреслюється важливість управління даними та обговорюються проблеми, пов'язані з плануванням переходу для автономних суден. Ця інформація важлива для безпечної експлуатації автономних суден у морській галузі, а також для організації безпечної та ефективної їх роботи.

У роботі [5] представлено концепцію автономних суден та математичні моделі, що використовуються в процесі управління процесом їхнього маневрування. Автори починають із представлення концепції автономних кораблів і переваг, які вони приносять, наприклад підвищення безпеки та ефективності експлуатації. Потім у статті обговорюються математичні моделі, що використовуються в автономному управлінні процесом руху рульовим приводом, включаючи фільтр Калмана та пропорційно-інтегрально- диференціальний (ПІД) регулятор. У статті наведено детальне пояснення роботи фільтра Калмана, який використовується для оцінки параметрів стану судна та прогнозування майбутніх його положень. Автори пояснюють математичні рівняння, які використовуються у фільтрі Калмана, і те, як він реалізований в системі автономного керування судном. Також детально пояснюється ПІД-регулятор, включаючи його математичні рівняння та контур керування, який він використовує для регулювання рульового управління судном.

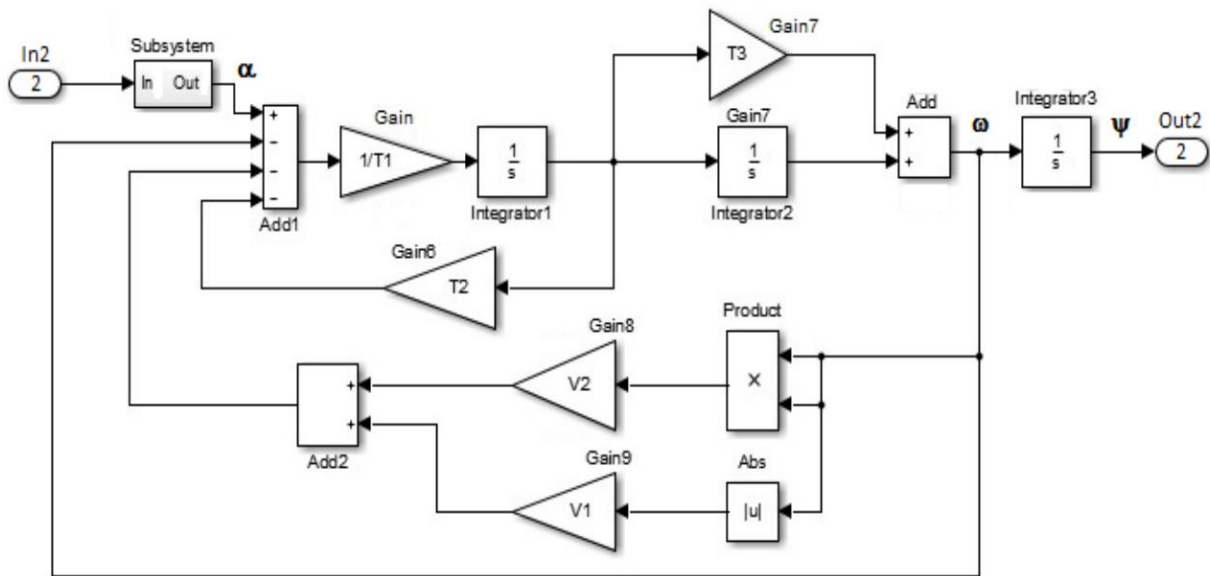


Рис.3. Структурний опис запропонованої моделі.

У статті підкреслюється важливість налаштування ПД-регулятора для конкретних характеристик судна та середовища, в якому він працює. Потім автори описують моделювання та тестування автономної системи рульового керування судна за допомогою математичної моделі. Результати показують, що фільтр Калмана та ПД-регулятор ефективні в управлінні керуванням судна та підтримці його бажаної траєкторії. На завершення в статті представлено вичерпний огляд концепції автономних суден і математичних моделей, які використовуються для керування процесом їхнього маневрування. Результати моделювання та тестування демонструють ефективність запропонованої системи в управлінні автономним рульовим пристроєм судна.

У роботі [6] автори використовують фізикалістський підхід, вказуючи на те, що в існуючих системах забезпечення безпеки керування судном для мінімізації складу елементів та підвищення її швидкодії проводиться вибір алгоритму управління, визначається спосіб управління та коло завдань, розв'язання яких дозволяє забезпечити гарантовану безпеку. Інформація, що надходить каналами зв'язку, представляється в процедурній (алгоритм поведінки оператора) та декларативні форми (відомості про параметри стану системи). Вибір керуючих впливів під час планування маневрів та їх практичному виконанні проводиться з урахуванням резерву на випадок, якщо запланований маневр виявиться невдалим, або виникне непередбачена ситуація і потрібно коригування руху. У аналізованих системах управління рухом судна міститься підсистема розрахунку маневрених властивостей судна, планування маневрів, розрахунку поправок на зовнішні впливи та коригування заданого алгоритму функціонування системи управління рухом у разі появи м'яких обмежень (які виникають і зникають спорадично, вимагають коригування заданого алгоритму). При плаванні у відкритому океані найбільшого поширення набув курсовий спосіб управління та курсовий спосіб управління за відхиленням, коли оцінка розташування виробляється технічними (переважно супутниковими) засобами. При плаванні в обмежених умовах найбільшого поширення набув спосіб регулювання за відхиленням, коли оцінка розташування проводиться оглядово-порівняльними способами, але в той же час через швидкоплинності процесів, що протікають, і запізнення в отриманні інформації щодо місця судна у зв'язку з відхиленням від наміченого шляху застосовується комбінований спосіб керування. Особливістю ІС судна є те, що центром, в якому зосереджені функції, що реалізують процес управління, представляється інформаційно-керуючим пристроєм, до складу якого входить оператор. За конфігурацією вона

є комплексом з динамічною базою знань та інтегрованою системою їх уявлення. Система управління включає такі ієрархічні рівні: розробка заданого алгоритму функціонування; вимірювання параметрів поточного стану елементів; аналіз поточної ситуації та прийняття рішення щодо коригування заданого алгоритму; формування команди на приведення системи в заданий стан; адаптація; виконання команди. За характером впливів та принципів підтримки параметрів траєкторій, а також графоаналітичним методам вирішення завдань їх можна використовувати в "штатних" умовах плавання.

У роботі [7] розроблено спосіб визначення положення шляхових точок (ШТ) з урахуванням зон підвищеної аварійності для факторів навігаційних ризиків при плануванні шляху рейсового циклу; визначено особливості управління індивідуальними навігаційними ризиками рейсового циклу в залежності від вибору місця розташування ШТ; розглянуто методики вибору ШТ на морській карті з урахуванням її геодезичної основи, нанесених ліній рекомендованих безпечних зон і курсів, характеристик ґрунту, навігаційних і гідрометеорологічних умов, зон індивідуальних навігаційних ризиків рейсового циклу морського судна за факторами, які їх спричиняють; розглянута методика високоточного планування схеми маневрування траєкторними точками (ТТ) при заході/виході із порту.

У роботі [8], 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 методом ШТ 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 [9] була проведена розробка та подання класифікації кіберрисків, пов'язаних з експлуатацією морських суден на різних етапах їх плавання. Автори прагнуть структурувати існуючі знання про кіберзагрози та запропонувати систематизований підхід до їх ідентифікації та управління. Вони використали якісний аналіз існуючої літератури та даних, а також провели експертні інтерв'ю з професіоналами в галузі морського транспорту та кібербезпеки. На основі зібраної інформації було розроблено класифікацію кіберрисків, що враховує особливості морських операцій. Дослідження наголошує на важливості інтегрованого підходу до кібербезпеки на всіх етапах життєвого циклу морського судна. Розроблена класифікація може бути основою розробки стратегій управління кіберрисками.

У роботі [10] основною метою є надання систематизованих знань та практичних рекомендацій щодо навігаційної підтримки при маневруванні морських суден. Автор прагне покращити процеси управління маневрами судів, забезпечивши їхню безпеку та ефективність. Розглядалися закони динаміки руху суден. Обговорюються фактори, що впливають на маневрені характеристики судна, такі як вітер, течія, стан морської поверхні та завантаження судна.

3. Методи досліджень

Координатне планування судна включає процес визначення траєкторії руху, обчислення оптимальних координат та курсу для досягнення проведення центру ваги по координатах ТТ до пункту призначення. Основною метою координатного планування є організації безпечного та ефективного руху судна, враховуючи різноманітні фактори, такі як географічні обмеження, погодні умови, інтенсивність судноплавства та інші.

Основні кроки у процесі координатного планування судна включають:

1. Визначення мети: Перший крок - це визначення мети руху судна. Це може бути досягнення певного порту, точки на карті або виконання конкретного завдання.

2. Збір та обробка даних: У цьому етапі здійснюється збір різноманітних даних, необхідних для планування руху судна. Це можуть бути географічні дані, включаючи географічні карти, батиметрія, інформація про гідрометеорологічні умови, обмеження морського шляху, інформація про трафік та інше. Дані можуть бути зібрані з різних джерел, таких як супутникові системи навігації, датчики на борту судна, метеорологічні станції та інші джерела. Після збору дані обробляються, аналізуються та готуються для подальшого використання в системі планування.

3. Використання алгоритмів маршрутизації: На цьому етапі використовуються різні алгоритми маршрутизації для визначення оптимального маршруту судна. Ці алгоритми можуть використовувати різні математичні методи та моделі для врахування різних факторів, таких як найкоротший шлях, погодні умови, глибина води, обмеження морського шляху, вимоги безпеки та економічні чинники. Наприклад, можуть застосовуватись алгоритми на основі графової теорії, штучного інтелекту або оптимізаційних методів. В результаті виконання алгоритмів отримується оптимальний маршрут для судна.

4. Прогнозування руху та взаємодія з іншими суднами: На цьому етапі система має прогнозувати рух інших суден та взаємодіяти з ними для забезпечення безпеки та ефективності. Для цього використовуються різні алгоритми та моделі прогнозування руху, які базуються на історичних даних, паттернах руху суден та прогнозних моделях. Система також може використовувати системи виявлення та ідентифікації суден для виявлення потенційних конфліктів та виконання відповідних дій для ухилення від них. Взаємодія з іншими суднами може здійснюватись за допомогою системи комунікації, яка обмінюється даними про рух та наміри суден.

5. Врахування обмежень та правил: Автоматизована система повинна дотримуватись різних обмежень та навігаційних правил. До обмежень можуть відноситись фактори глибини води, висоти мостів, заборонені зони, обмеження швидкості та інші. Система повинна мати можливість автоматично враховувати ці обмеження та генерувати плани, які відповідають встановленим правилам і обмеженням. Для цього можуть використовуватись бази даних з обмеженнями та правилами, а також алгоритми верифікації траєкторій.

6. Система автоматичного контролю параметрів руху. На цьому етапі автоматизована система керує рухом судна відповідно до запланованої траєкторії. Вона відповідає за автоматичне керування курсом, швидкістю та іншими параметрами руху судна. Для цього використовуються автоматичні системи управління параметрами, які можуть включати авторульовий, системи стабілізації, системи управління двигунами та інші. Система також забезпечує моніторинг та контроль руху судна, виявляє відхилення від запланованої траєкторії та при потребі виконує корекцію. Важливо відзначити, що з розвитком автономних суден та використанням автоматизованих систем координатного планування, багато з цих кроків можуть бути виконані автоматично без прямого втручання оператора, з використанням СППР.

Координатне планування судна є складним процесом, який вимагає точності, врахування різноманітних факторів та ефективного використання доступних ресурсів. Використання комп'ютерних алгоритмів, моделей та сучасних технологій у цьому процесі може значно полегшити та покращити координатне планування руху судна.

Головні відмінності між координатним плануванням звичайного та автономного судна полягають у рівні автоматизації та ступені втручання оператора у процес планування та прийняття рішень.

Ключовими відмінностями являються наступні фактори.

1. Рівень автономії. Звичайне судно потребує активного управління та контролю з боку оператора. Планування маршруту та прийняття рішень зазвичай здійснюються капітаном, які враховують різні фактори, такі як погода, трафік та обмеження морського шляху. У випадку автономного судна, планування та прийняття рішень здійснюються автоматично за допомогою спеціалізованих СППР, алгоритмів та систем штучного інтелекту. Оператор може втручатися лише у випадку виникнення непередбачених ситуацій або екстрених обставин.

2. Врахування обмежень та правил. Планування маршруту звичайного судна базується на врахуванні навігаційних правил, обмежень морського шляху, маневрених характеристик судна, трафіку руху та інших факторів. Оператор виробляє рішення з урахуванням цих обмежень та дотримується встановлених норм. У випадку автономного судна, система автоматичного планування повинна враховувати ті ж правила та обмеження, але це робиться за допомогою програмного забезпечення та алгоритмів, які виконують ці обчислення та планують рішення на основі вхідних даних.

3. Адаптація до змін. Звичайне судно може змінити свій маршрут або прийняти інші рішення на підставі нової інформації або при зміні умов плавання. Оператор має можливість оцінити ситуацію та внести корективи у планування. У випадку автономного судна, система планування повинна бути гнучкою та здатною адаптуватися до нової інформації або змінних умов без необхідності безпосереднього втручання оператора. Для цього необхідно розробити автоматичну комп'ютерну програму та вибрати характер та вид параметра СППР, яка б враховувала ці зміни.

4. Взаємодія з іншими суднами. У плануванні маршруту звичайного судна велику роль відіграє врахування руху та позицій інших суден, уникання зіткнень та забезпечення безпеки. У випадку автономного судна, система планування повинна вміти прогнозувати рух інших суден, уникати зіткнень та дотримуватися норм безпеки без втручання оператора. Для цього потрібно використовувати систему підтримки прийняття рішень [6]. При цьому ступінь небезпеки оцінюється з використанням закону маневру останнього моменту, з оцінкою стадії наближення – надмірне, небезпечне чи аварійне. В залежності від взаємного розташування система автоматично визначає вид і час настання маневру останнього моменту.

У процесі зближення суден настає час, коли завдання розходження вирішувати практично неможливо. Таке становище виникає тоді, коли небезпечне судно виявлено візуально або за допомогою РЛС раптово на близькій відстані, через виконання непередбачуваного маневру, внаслідок низької відбивної здатності або відсутності належного спостереження.

Проводити будь-які розрахунки в такій ситуації неможливо, а зволікання з маневром загрожують важкими наслідками. Такий маневр, екстрене виконання якого необхідне для запобігання зіткнення у теорії та практиці управління судном отримав назву "маневр останнього моменту" [6, 7]. Відмінною його особливістю є необхідність застосування сильних, максимально можливих керуючих впливів. Крім того, згідно з Правилем 2 МППСС-72, відпадає необхідність дотримуватись будь-яких правил, які діють у звичайних умовах, крім одного: вибрати такий маневр, який дозволив би уникнути зіткнення, а якщо це неможливо, то звести до мінімуму можливі пошкодження.

Різноманітність ситуацій та велика кількість альтернатив на перший погляд не дають змоги вирішити завдання однозначно. Для вирішення завдання необхідно запровадити дві аксіоми, які є очевидними і не потребують доказів.

Аксіома 1. Якщо існує ймовірність зіткнення, то ці цілі небезпечні і виконується умова $(d\Pi/dt)=0, (dD/dt)<0$.

Аксиома 2. Оптимальним курсом відвороту для запобігання зіткненню є паралельний або контр курс небезпечного судна. Якщо наше судно відверне на такий курс, то одразу зменшується залежність небезпечного зближення від можливого маневру зустрічного судна.

Збільшення або зменшення швидкості та відворот його від нашого судна покращують ситуацію зближення, а відворот у наш бік малоімовірний, але його можна передбачити та врахувати запровадженням навігаційного запасу.

Введенням аксиоми 2 вноситься визначеність у розв'язання задачі і можна заздалегідь розрахувати для небезпечного судна маневр останнього моменту. Розрахунок часу настання маневру зручно зробити за параметрами, що спостерігаються - відстані між суднами і курсовому куту q .

Для отримання аналітичних залежностей розглянемо трикутник АМВ, наведений на рис.1, з якого отримаємо співвідношення з урахуванням

того, що пеленг судна-цілі не змінюється:

$$\sin q = \frac{k \cdot \sin P}{\sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}} \text{ и } D_H = V_A \cdot t_{\text{пер}} \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (1)$$

де P - відносний курс, що змінюється від 0 до 180 °; $t_{\text{пер}}$ - час від початку спостережень до приходу до точки перетину курсів M ; k - відношення швидкостей V_A/V_B ; D_H -початкова відстань між судами; q -курсний кут.

Наведені залежності (1) показують, що ситуація небезпечного зближення визначається ставленням швидкостей руху нашого судна та цілей, значенням відносного курсу та, що особливо важливо, швидкістю нашого.

Для отримання аналітичних залежностей та обліку характеристик судна для виконання маневру при надмірному зближенні необхідно визначити,

на якій відстані між судами необхідно починати маневрування і настає час, коли можна попередити зіткнення.

З урахуванням залежностей (1), і рис. 1 отримаємо:

$$D_{\text{ПМТ}} = H_T M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (2)$$

$$D_{\text{ПМП}} = H_{\text{П}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (3)$$

$$D_{\text{ПМЛ}} = H_{\text{Л}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (4)$$

де $H_T M$ – відстань, яка пройде власне судно з моменту подачі команди на задній хід до повної зупинки;

$H_{\text{П}} M$ – відстань, що пройде власне судно, від моменту подання команди «право на борт» до моменту розбіжності;

$H_{\text{Л}} M$ – відстань, яка пройде власне судно від моменту подачі команди «ліво на борт» до моменту розбіжності.

Позначимо вираз під коренем символом $R = \sqrt{1 - 2k \cos P + k^2}$.

З урахуванням похибки вимірювань, геометричних розмірів суден та ймовірного несприятливого маневру в наш бік зустрічного судна необхідно ввести навігаційний запас $S_{\text{нз}} = f(L, m_D, B_{\text{ц}}, \ell_{2y})$. З урахуванням залежностей (1) формули (2)-(4) мають вигляд (рис.4) :

$$D_{\text{ПМТ}} = (S_{\text{ТРМ}} + MM') \cdot R; \quad (5)$$

$$D_{ПМЛ} = \left[\left(a_{Л} + b_{Л} \operatorname{tg} \frac{\Delta k_{Л}}{2} \right) + MM' \right] \cdot R; \quad (6)$$

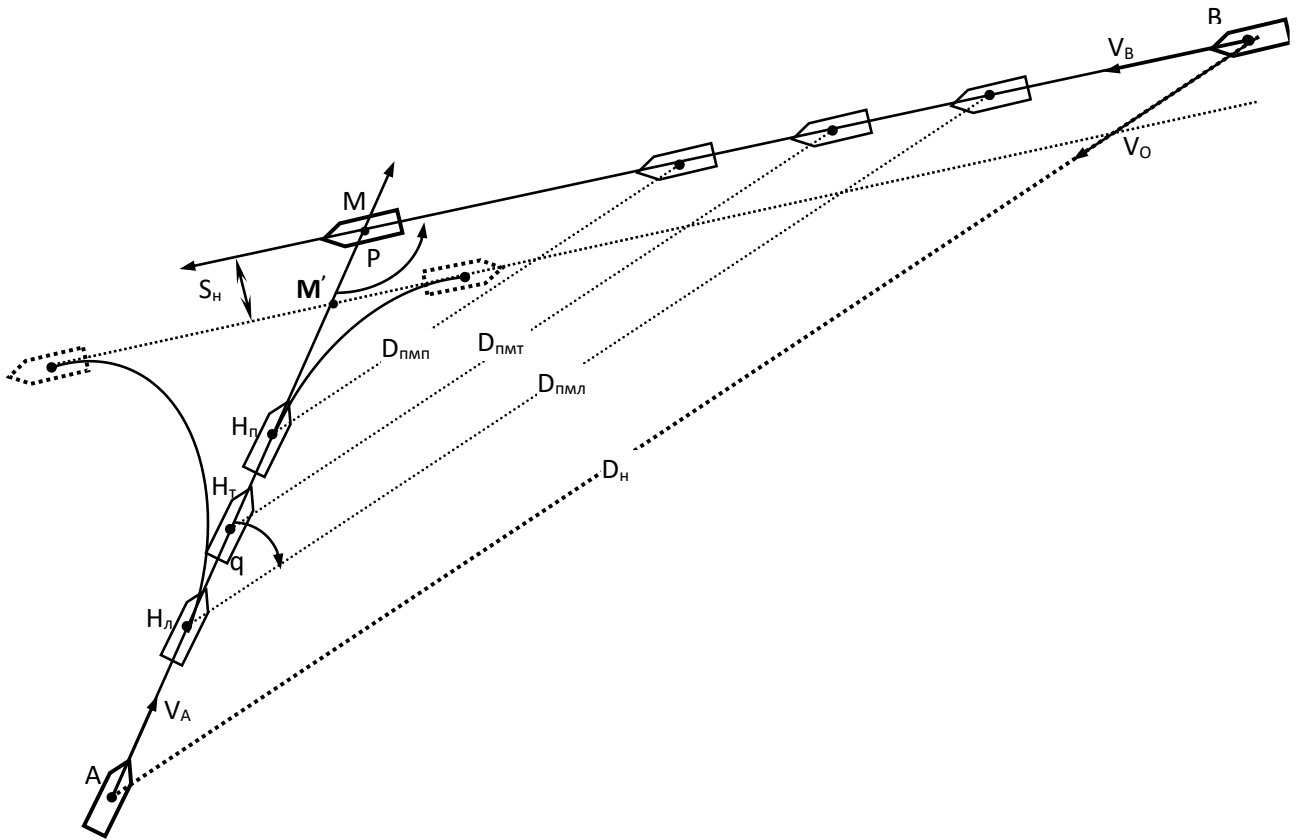


Рис 4. Надмірне зближення суден, що мають навігаційний запас.

$$D_{ПМП} = \left[\left(a_{П} + b_{П} \operatorname{tg} \frac{\Delta k_{П}}{2} \right) + MM' \right] \cdot R; \quad (7)$$

П

де $S_{Трм}$ – гальмівний шлях для режиму роботи ЗП; - Коефіцієнти $a_{п}$, $b_{п}$ поворотності при відвороті вправо; - Коефіцієнти $a_{л}$, $b_{л}$ поворотності при відвороті вліво; Δk - кут відвороту, що визначається за формулами:

$$\Delta k_{л} = P \quad \text{при } q_{пб}; \quad \Delta k_{п} = 180 - P \quad \text{при } q_{пб}. \quad (8)$$

$$\Delta k_{л} = 180 - P \quad \text{при } q_{лб}; \quad \Delta k_{п} = P \quad \text{при } q_{лб}. \quad (9)$$

MM' - відстань від точки перетину курсів до лінії безпечного руху, який можна визначити з виразу:

$$MM' = \frac{S_{нз} \cdot R}{k \cdot \sin P}, \quad (10)$$

де $S_{нз}$ - навігаційний запас.

З урахуванням залежностей (2)-(10) момент часу, коли необхідно виконувати маневр останнього моменту гальмуванням, визначиться формулою:

$$T_{ПМТ} = (D_{н} - D_{ПМТ}) / V_{0} \cdot R. \quad (11)$$

Час настання маневру останнього моменту відворотом ліворуч

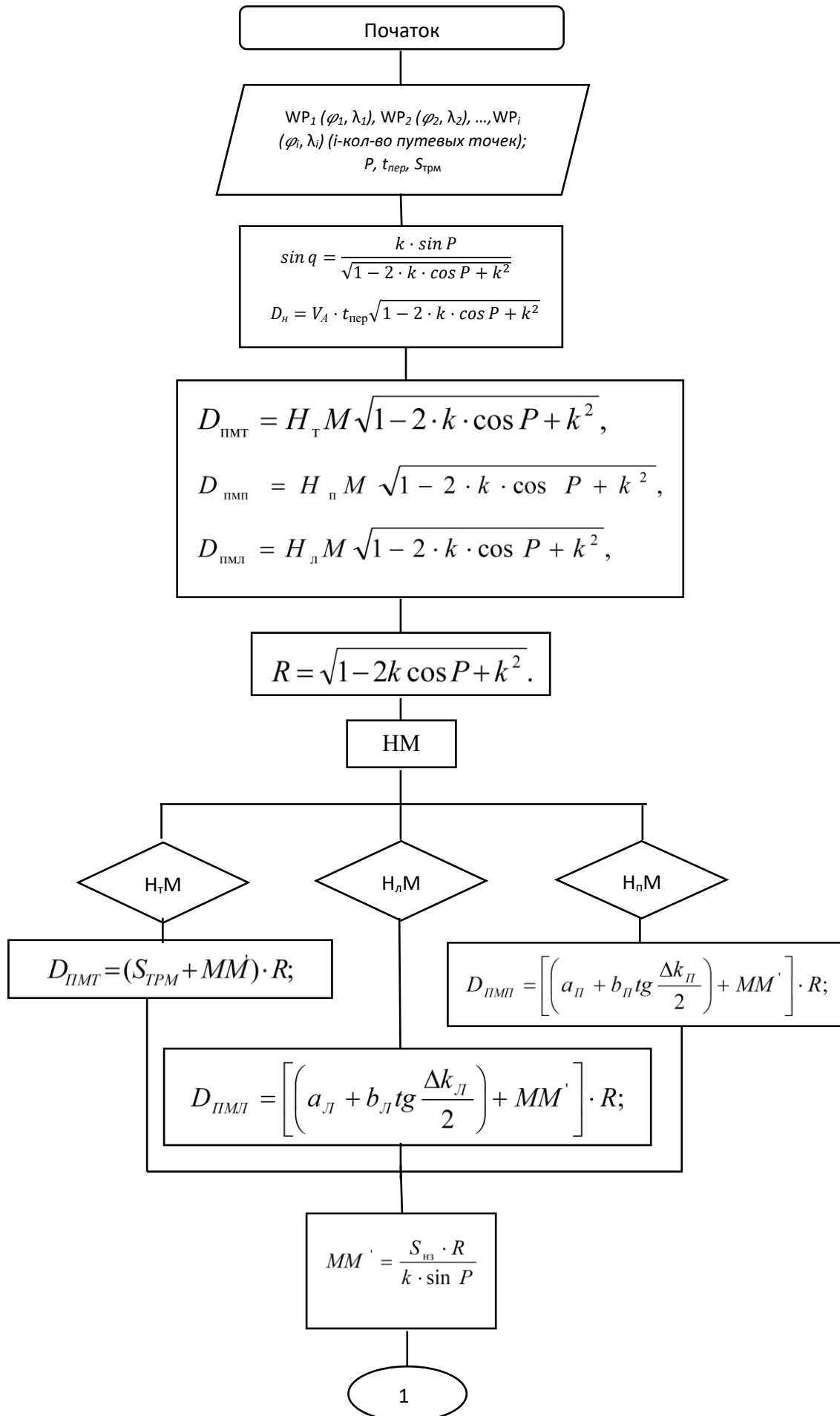
$$T_{\text{ПМЛ}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{ПМЛ}})/V_0 \cdot R. \quad (12)$$

Час настання маневру останнього моменту відворотом праворуч

$$T_{\text{ПМП}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{ПМП}})/V_0 \cdot R. \quad (13)$$

Отримані залежності дають змогу виробити необхідні рекомендації щодо виконання маневру останнього моменту, а також автоматизувати процес вибору його виду.

Блок схема алгоритму та розрахункова схема наведена на рис.5.



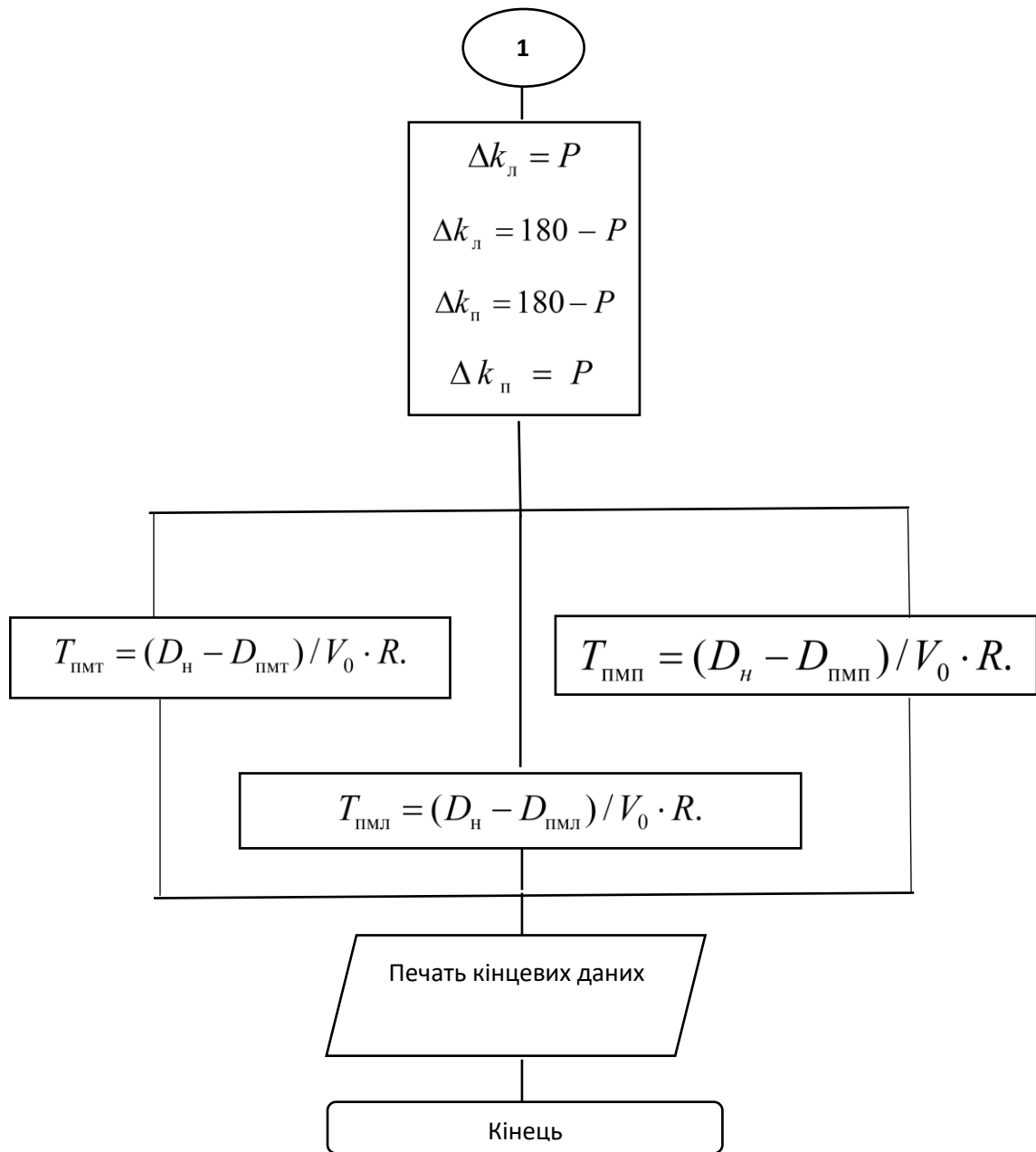


Рис.5. Блок схема алгоритму розрахунку виконання маневру надмірного зближення.

Таким чином, у розпорядженні судноводія є три види маневрів: гальмування заднім повним ходом; перекладку керма вліво на борт; перекладку право на борт. При цьому вважатимемо "маневром останнього моменту" той, який настане останнім.

Основні відмінності полягають у рівні автоматизації, залученні оператором судна та можливостями системами планування адаптуватися до змін і взаємодіяти з іншими суднами. Автономні судна мають потенціал забезпечити більш точне, ефективне та безпечне координатне планування за умови належної розробки та впровадження відповідних технологій та систем.

Автоматизація координатного планування є критичним аспектом рейсового циклу автономного судна. Автономне судно - це судно, яке може рухатися і працювати без втручання оператора судна. Для прийняття рішень він покладається на різні датчики та технології, зокрема GPS, радар, сонар і камери візуалізації. Однією з ключових проблем при експлуатації автономного судна є координація його рейсового циклу, включаючи планування маршруту,

коригування його відповідно до мінливих умов і забезпечення безпечної та ефективної навігації. Цикл плавання автономного судна зазвичай включає кілька ключових етапів, включаючи виконання планування та моніторинг. На етапі планування маршрут судна визначається на основі низки факторів, включаючи погодні умови, стан моря, вимоги до вантажу та інші експлуатаційні фактори. Бортові системи судна можуть генерувати кілька маршрутів, які оцінюються на основі різноманітних критеріїв, таких як економія палива, безпека та швидкість. Вибраний маршрут потім повідомляється системі автопілота судна, яка направлятиме судно по визначеному шляху. Етап виконання передбачає власне плавання судна за запланованим маршрутом. Система автопілота судна використовує комбінацію датчиків і алгоритмів, щоб направляти судно по визначеному шляху, коригуючи його курс і швидкість, якщо це необхідно для забезпечення безпечної та ефективної навігації. Під час цього етапу системи судна безперервно контролюють продуктивність судна та умови навколишнього середовища, вносячи коригування, необхідні для підтримки безпечної та ефективної роботи. Етап моніторингу передбачає постійну оцінку продуктивності судна та умов навколишнього середовища. Це включає моніторинг положення, швидкості та курсу судна, а також стан його обладнання та систем. Крім того, бортові системи судна постійно відстежують умови навколишнього середовища, такі як погода, стан моря та режим руху, надаючи операторам судна інформацію в реальному часі для прийняття обґрунтованих рішень щодо роботи судна. Автоматизація координатного планування має вирішальне значення для успішної роботи автономного судна. Це передбачає інтеграцію кількох систем, включаючи систему автопілота судна, бортові датчики та системи зв'язку, для забезпечення безпечної та ефективної навігації. Щоб досягти цього, системи судна повинні мати можливість адаптуватися до мінливих умов у режимі реального часу, вносячи коригування курсу судна, швидкості та інших параметрів, необхідних для підтримки безпечної та ефективної роботи. Однією з ключових переваг автономних суден є їх здатність оптимізувати свою роботу на основі даних у реальному часі. Це включає коригування їхніх маршрутів, щоб уникнути несприятливих погодних умов, оптимізацію їхньої швидкості для мінімізації споживання палива та координацію їхніх операцій з іншими суднами для зменшення заторів і підвищення безпеки. Автоматизація планування координат є критично важливим компонентом цього процесу оптимізації, що дозволяє автономним суднам працювати безпечно та ефективно в морському середовищі, яке швидко змінюється. Підсумовуючи, автоматизація координатного планування є критичним аспектом рейсового циклу автономного судна[11]. Це передбачає інтеграцію кількох систем, включаючи систему автопілота судна, бортові датчики та системи зв'язку, для забезпечення безпечної та ефективної навігації. Завдяки автоматизації циклу плавання автономні судна можуть оптимізувати свою роботу на основі даних у реальному часі, підвищуючи безпеку та ефективність, одночасно зменшуючи витрати та вплив на навколишнє середовище.

Реактивне коригування є одним з методів оперативного планування координат автономного судна, який використовується для реагування на непередбачені обставини або зміни умов плавання в реальному часі. Цей підхід базується на здатності судна до спостереження навколишнього середовища за допомогою різноманітних сенсорів і вжиття відповідних заходів для забезпечення безпеки та виконання поставлених завдань. На основі аналізу даних і враховуючи встановлені правила безпеки та пріоритети, алгоритми планування генерують корекційні дії. Це може включати зміну маршруту, швидкості, курсу або взаємодію з іншими суднами для уникнення зіткнень. Після планування корекційних дій автономне судно виконує необхідні кроки для реалізації цих дій. Воно може змінювати курс або швидкість руху, вживати заходів для уникнення перешкод або спілкуватись з іншими суднами для координації руху. Процес реактивного коригування є постійним, оскільки ситуації та умови можуть змінюватися протягом рейсового циклу судна[12,13]. Сенсори продовжують спостерігати, дані обробляються, алгоритми планування аналізують нову інформацію та генерують відповідні корекції для організації безпечного та ефективного маневрування.

Для виконання корекційних дій при плануванні координат рейсового циклу автономного судна можуть використовуватись різні алгоритми. Розглянемо деякі найбільш ефективні алгоритми:

1. Алгоритми пошуку оптимального шляху:

а. Алгоритм A*: Це один з найпоширеніших алгоритмів пошуку шляху, який використовує принцип оптимального пошуку. Він враховує вагу ребер графа та виконує пошук, орієнтуючись на найменшу довжину пройденого шляху та евристику, що оцінює довжину шляху-для досягнення цільової точки.

б. Алгоритм Dijkstra: Цей алгоритм пошуку шляху також використовує довжину ребер графа, але він розглядає всі можливі варіанти шляху від початкової точки до всіх інших точок. Він знаходить найкоротший шлях до кожної точки та будує дерево найкоротших шляхів.

2. Алгоритми прогнозування:

а. Метеорологічні моделі: Ці алгоритми використовуються для прогнозування погодних умов, таких як вітер, хвилі, туман тощо. Вони базуються на статистичних даних для побудови математичних моделей та використанні сучасних погодних датчиків для прогнозування умов на маршруті судна.

б. Алгоритми прогнозування трафіку: Ці алгоритми використовуються для прогнозування руху інших суден та визначення потенційних зон конфлікту. Вони аналізують історичні дані про рух суден, враховують регуляторні обмеження та використовують прогностичні моделі для передбачення руху інших суден на маршруті.

3. Алгоритми уникнення перешкод:

а. Датчикові алгоритми: Ці алгоритми використовують дані з датчиків, таких як радар, лазери, камери, щоб виявляти перешкоди на шляху руху судна. Вони враховують розташування, розмір та рух перешкод та використовують ці дані для обчислення шляху обходу.

б. Моделювання взаємодії: Ці алгоритми моделюють взаємодію з іншими об'єктами, такими як інші судна, пристані, буї тощо, для виявлення потенційних зон конфлікту. Вони враховують правила руху, безпечну відстань та можливі маневри для уникнення перешкод.

с. Алгоритми колективного розуму: Ці алгоритми використовують концепцію колективного розуму для спільного вирішення задач уникнення перешкод. Вони можуть використовувати комунікацію між суднами, обмін інформацією та координацію маневрів для забезпечення безпеки та ефективності руху.

4. Алгоритми зграї частинок (Particle Swarm Optimization): Ці алгоритми моделюють поведінку зграї частинок, які співпрацюють для пошуку оптимального рішення. Вони можуть бути використані для оптимізації маршруту судна, враховуючи обмеження та цілі.

5. Алгоритми навчання з підсиленням (Reinforcement Learning): Ці алгоритми використовуються для навчання системи приймати рішення на основі взаємодії з оточенням. Вони можуть бути використані для розв'язання задачі планування маршруту судна, де система навчається вибирати дії, які максимізують певну нагороду або мінімізують певні витрати.

б. Алгоритми кластеризації: Ці алгоритми використовуються для групування точок або ділянок простору на основі схожості або взаємного розташування. Вони можуть бути використані для розбиття водного простору на регіони або сектори, що сприяє ефективному плануванню маршруту та уникненню перешкод.

Завдяки автоматизації планування координат рейсового циклу автономного судна можна досягти покращення ефективності та безпеки морської навігації[14,15]. Цей напрямок розвитку використовує різноманітні алгоритми для визначення оптимального маршруту та забезпечення безпеки плавання. Крім того, реактивне коригування планування координат дозволяє адаптувати маршрут до змінних умов та непередбачених ситуацій. Подальше вдосконалення алгоритмів планування координат може сприяти поліпшенню автономної навігаційної системи та забезпеченню безпечного та ефективного руху автономних суден у морських водах.

4. Висновки

Підсумовуючи результати досліджень можна стверджувати, що автоматизація планування координат у рейсовому циклі автономного судна пропонує численні переваги з точки зору ефективності, безпеки та економічної ефективності. У цій статті детально розглянуто тему підготовки вихідних даних, алгоритмів і розрахункових схем для координатного планування рейсового циклу, висвітлюючи мету, методи, результати та висновки такої автоматизації. Метою цієї статті було заглиблення в концепцію та впровадження автоматизації в координатне планування рейсового циклу автономних суден. Завдяки розгляду і аналізу обширних досліджень продемонстровано потенціал автоматизації планування координат шляху для оптимізації планування маршруту, розрахунку траєкторії, уникнення зіткнень та інших важливих завдань, пов'язаних із циклом рейсу. Методи, використані в цьому дослідженні, передбачали поєднання огляду літератури, аналізу даних і методів моделювання. Вивчаючи існуючу практику, правила та технологічні досягнення в галузі автономних суден, синтезовано цінні ідеї та запропоновано стратегії для ефективної автоматизації координатного планування. Результати цього дослідження свідчать про те, що автоматизація координатного планування рейсового циклу та використання швидко діючих алгоритмів системи підтримки прийняття рішень для оперативного контролю планових параметрів маневрування значно підвищить ефективність і безпеку експлуатації автономних суден. Використання оперативних алгоритмів управління маневруванням, автоматизованої СППР, машинного навчання та обробки даних у реальному часі дозволяє автономним суднам оптимізувати свої маршрути, адаптуватися до мінливих умов плавання і приймати обґрунтовані рішення. Крім того показана можливість урахування поправок на різноманітні фактори впливу, такі як погодні умови, наявність руху других суден, екологічні обмеження та врахування маневрених характеристик власного судна в процесі автоматизації розрахунку параметрів управління. Інтегруючи ці фактори в алгоритми прийняття рішень, автономні судна можуть досягти оптимальної продуктивності та забезпечити дотримання існуючих правил хорошої морської практики. З точки зору перспектив подальшої роботи, існує декілька напрямків для майбутніх досліджень і розробок у галузі автоматизації координатного планування для автономних суден. До них належать:

1. Удосконалення та оптимізація існуючих алгоритмів: Подальше вдосконалення алгоритмів, що використовуються в координатному плануванні, може підвищити їх точність, ефективність і адаптивність. Це передбачає включення більш комплексних і актуальних джерел даних, удосконалення прогнозних моделей і тонке налаштування процесів прийняття рішень.

2. Інтеграція з передовими технологіями: вивчення інтеграції нових технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання та комп'ютерний зір, може розширити можливості автономних суден. Ці технології можуть покращити ситуаційну обізнаність, оцінку ризиків і прийняття рішень у процесі координатного планування.

3. Перевірка та верифікація: проведення масштабних симуляцій, випробувань і тестування в реальному світі має важливе значення для перевірки та перевірки продуктивності та надійності автоматизованих систем координатного планування. Це включає оцінку реакції системи на різні сценарії, виявлення потенційних обмежень або вразливостей і забезпечення дотримання правил безпеки.

4. Співпраця оператора і машини. Вирішальне значення має пошук оптимального балансу між автоматизацією та втручанням оператора судна. Майбутні дослідження можуть зосередитися на розробці інтерфейсів і систем підтримки прийняття рішень, які сприятимуть ефективній співпраці між автономними суднами та операторами управління чи наглядачами.

5. Нормативно-правова база: оскільки сфера автономних суден розвивається, необхідно встановити всеосяжну нормативну базу, яка стосується безпеки, відповідальності та етичних міркувань. Подальші дослідження можуть сприяти розробці таких структур, забезпечуючи відповідальне та безпечне розгортання автономних суден.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що автоматизація координаційного планування в рейсовому циклі автономних суден має великий потенціал для революції в морській галузі. Ця стаття показує шлях подальшого дослідження, для розробки вихідних даних та комп'ютерних програм для реалізації головної мети і методів для координаційного планування рейсового циклу. Підкреслюючи важливість подальших досліджень і розробок, ми стверджуємо, що появилась можливість реалізувати всі переваги автоматизації та забезпечити її безпечно та ефективно впровадження в реальних сценаріях, включаючи автоматичні системи підтримки прийняття рішень.

Список літератури:

- 1) Jang, D., Kim, J. (2022) Development of Ship Route-Planning Algorithm Based on Rapidly-Exploring Random Tree (RRT*) Using Designated Space *J. Mar. Sci. Eng.*, 10(12), 1800; <https://doi.org/10.3390/jmse10121800>
- 2) Lee, W.H.; Choi, G.H.; Kim, T.W. Visibility graph-based path-planning algorithm with quadtree representation. *Appl. Ocean Res.* **2021**, 117, 102887.
- 3) Veitch, E., Dybvik, H., Steinert, M. *et al.* Collaborative Work with Highly Automated Marine Navigation Systems. *Comput Supported Coop Work* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10606-022-09450-7>
- 4) Fundamental principles of passage planning for autonomous vessels Piotr Wolejsza, Eric Kulbiej Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin 2017, 52 (124), 90–94 DOI: 10.17402/249
- 5) Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control O. Melnyk, O. Onishchenko, S. Onyshchenko, A. Voloshyn, Y. Kalinichenko, O. Rossomakha, G. Naleva & O. Rossomakha the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Volume 16 Number 3 September 2022 DOI: 10.12716/1001.16.03.18.
- 6) Мальцев А.С. Методологические основы маневрирования судов при сближении. / А.С. Мальцев, В.В. Голиков, И.В. Сафин, В.В. Мамонтов.// Одесса.: ОНМА, 2013. – 218 с.
- 7) Мальцев А. С., Сурінов І. Л., Шумілова К. В. Вибір шляхових точок при плануванні рейсового циклу судна. International scientific innovations in human life. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Manchester, United Kingdom. 2022. Pp. 230-242. URL: <https://sci-conf.com.ua/xi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-international-scientific-innovations-in-human-life-11-13-maya-2022-goda-manchester-velikobritaniya-arhiv/>.
- 8) Шумілова, К. В. 2022. Систематизований підхід до класифікації навігаційних ризиків рейсового циклу морського судна. Scientific Collection «Interconf» № 121, p.337-358.
- 9) Shumilova, K., Shumilov, D. and Maltsev, A. (2024) “Classification of Cyber Risks for Sea Vessel’s Voyage Cycle”, Transactions on Maritime Science. Split, Croatia, 13(1). doi: 10.7225/toms.v13.n01.w20.
- 10) Maltsev A.S. Navigation support for the process of managing the maneuvering of a sea vessel. (Maneuvering booklet)/ - Eliva Press, 2023, - 218 p.
- 11) Valdez Banda, O.A., Goerlandt, F., A STAMP-Based Approach For Designing Maritime Safety Management Systems. *Saf. Sci.* 109:109-129, 2018
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.

Automation of coordinate planning voyage cycle of an autonomous vessel

Glib Muravyov

National University Odessa Maritime Academy of Ukraine, Ukraine

Abstract: The purpose of this work is the development of algorithms and calculation schemes for automating the planning of the coordinates of the path of an autonomous vessel in the voyage cycle. One of the main goals is development of methods of increasing the accuracy of planning the coordinates of the path and improving the methods of effective maneuvering for the organization of safe navigation along them. Traditionally, coordinate planning has been performed manually, which is a time-consuming process and often leads to errors or shortcomings. With automation, the OOW makes faster and more accurate decisions, which significantly reduce the risk of navigation and cyber accidents. Automation can also help the vessel optimize its route taking into account external and internal factors that affect its movement. In addition, it is necessary to take into account the probability of the appearance of man-made risks and accordingly promptly adjust your route in order to avoid dangerous emergency situations. It can also speed up route planning and optimize the route to reduce fuel consumption, prepare cargo for safe transportation in difficult sailing conditions and other factors, resulting in cost savings and improved environmental sustainability of the voyage cycle. Another key benefit of automation in coordination planning is that it can help a vessel operate more efficiently in congested areas such as ports or high-traffic shipping lanes. Autonomous vessels, equipped with advanced sensors of maneuvering parameters and using modern technologies of automation of production processes, which allow to control the vessel quickly in difficult external conditions more reliably than manual control by an operator. By automating this critical aspect of the voyage cycle, shipping companies can reduce costs, improve sustainability, and ensure the safe and efficient operation of their vessels. Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) can be used to analyze data from sensors and make decisions on behalf of the vessel. These algorithms can also be used to optimize a vessel's route based on a variety of factors. The Rapid Random Tree Search (RRT*) control parameters of maneuvering is used to control traffic along the planned route, without collisions for the ship. It creates a list of possible safe paths and chooses the best one based on the analysis of parameters of distance to navigational obstacles and safe separation from other vessels. In conclusion, automation of coordinate planning in the voyage cycle of an autonomous vessel is an important and rapidly developing area of shipping technology. By incorporating advanced sensors, AI/ML algorithms, and other technologies, autonomous vessels can optimize their route planning, improve navigation safety and reduce costs. The use of efficient algorithms, such as rapid exploration of the System State Parameter Random Tree (RRT*) and defined space of their change, helps to organize safe and efficient management of the ship's operation, and communication with other ships and ports can provide valuable real-time data for optimization voyage. As this technology continues to develop, we can expect to see increasingly autonomous vessels that require minimal human intervention in the voyage cycle. This will not only improve efficiency and safety, but also lead to lower costs. Therefore, the automation of coordinate planning in the voyage cycle of an autonomous vessel and the organization of maneuvering along them is a decisive step towards fully autonomous shipping. It has the potential to revolutionize the shipping industry, allowing ships to operate more efficiently and safely while reducing the need for human intervention.

Keywords: autonomous ship, coordinate planning, voyage cycle, automation of maneuvering control, safety and efficiency of cargo transportation, optimization of operation.
