
Інтелектуальні системи планування шляху та контролю управління рухом автономних суден на обширному мілководді при кібератаках

Анатолій Мальцев

Національний університет «Одеська морська академія», Навчально-науковий інститут навігації, м. Одеса, Україна

ORCID: 0009-0004-5090-219X

Гліб Муравйов

Національний університет «Одеська морська академія», Навчально-науковий інститут навігації, м. Одеса, Україна

ORCID: 0009-0008-1739-4399

Катерина Шумілова

Національний університет «Одеська морська академія», Навчально-науковий інститут інженерії, м. Одеса, Україна

ORCID: 0000-0003-1222-3730

Для цитування цієї статті:

Мальцев Анатолій, Муравйов Гліб, Шумілова Катерина. Інтелектуальні системи планування шляху та контролю управління рухом автономних суден на обширному мілководді при кібератаках. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 4, No.1, 2025, pp. 122-140. doi: 10.46299/j.isjea.20250401.11.

Надійшла до редакції: 05 грудня 2024 р.; **Схвалено:** 07 січня 2025 р.;

Опубліковано: 01 лютого 2025 р.

Анотація: Швидкий розвиток морської автоматизації призвів до розробки інтелектуальних систем, планування їх координат, контролю руху та управління маневруванням автономними суднами. Ця стаття має на меті вивчити ключові компоненти, проблеми та потенційні переваги цих систем, зосереджуючись на тому, як вони можуть підвищити навігаційну безпеку, ефективність маневрування та стійкість до вірогідних навігаційних та кібернетичних ризиків при виконанні морських операцій. У дослідженні використовується комплексний огляд наукової літератури, тематичних досліджень і технологічних розробок інтелектуальних систем управління рухом для автономних суден. Він також включає аналіз алгоритмів, датчиків і комунікаційних технологій, які забезпечують автономну навігацію та інтеграцію цих систем в існуючі способи класичного управління морським рухом. Удосконалено способи автоматичного планування координат при виконанні рейсового циклу, враховано вплив ступеня запасу води під кілем на точність планування координат переходу. Розглянуто способи врахування аварійно-небезпечних ділянок при плануванні координат переходу в рейсовому циклі на обширному мілководді для автономного судна. Інтелектуальні системи для контролю та управління автономними суднами мають вирішальне значення для успішного розгортання цих технологій у морській галузі. Незважаючи на значні переваги, при вирішенні існуючих проблем управління маневруванням, необхідні додаткові дослідження та розробка способів планування координат руху при виконанні рейсового циклу на обширному мілководді та управління маневруванням при цьому. Співпраця між зацікавленими сторонами морської галузі, регуляторами і дослідниками має важливе значення для реалізації повного потенціалу автономних суден та організації навігаційної безпеки маневрування в умовах кібернетичних ризиків.

Ключові слова: автономні судна; інтелектуальні системи; автоматизація планування координат руху; обширне мілководдя; системи управління маневруванням; використання систем підтримки прийняття рішень при маневруванні; кібернетичні ризики.

1. Вступ

Судноплавна галузь проходить трансформаційні зміни пріоритетів, оскільки виконано перехід на електронні карти, а способи автоматизації планування і управління маневруванням в умовах навігаційних і кібернетичних ризиків не розроблено в повній мірі. Серед них інтелектуальні системи планування руху та управління маневруванням автономними суднами в умовах указаних ризиків стають ключовими. Крім того, питання планування координат руху автономних суден в рейсовому циклі, при плаванні на обширному мілководді не розглянуто взагалі. Успішне впровадження автономних суден в практику перевезення морських вантажів залежить, в першу чергу, від розробки та інтеграції складних систем планування координат руху, контролю за управлінням при маневруванні, які можуть ефективно справлятися з динамічними та непередбачуваними зовнішніми впливами, включаючи навігаційні ризики та кібернетичні атаки в морському середовищі.

При організації експлуатації автономних суден ключовим завданням є ефективне використання інтелектуальних систем автоматичного планування і систем підтримки прийняття рішень, для контролю за процесом маневрування та управління автономним рухом суден на обширному мілководді в умовах навігаційних ризиків та кібернетичних атак. Оскільки галузь продовжує розвиватися, ці системи відіграватимуть дедалі важливішу роль у формуванні майбутнього використання автономних суден при організації морських перевезень. Реалізація цього потенціалу вимагатиме подальших досліджень при виборі способів високоточного автоматичного планування точності визначення маневрених характеристик на обширному мілководді, при розрахунку планових координат рейсового циклу. Одним з питань, яке вимагає особливої уваги, є плавання автономних суден в рейсовому циклі в аварійно-небезпечних районах переходу для забезпечення їх навігаційної безпеки в умовах навігаційних ризиків та кібернетичних атак, включаючи вплив запасу води під кілем. Тому тема виконаного дослідження є вельми актуальною.

2. Об'єкт і предмет дослідження

З 1 січня 2021 року морські адміністрації країн, які являються членами комітету з безпеки на морі Міжнародної морської організації (ММО), перевіряють судна для підтвердження виконання рекомендацій ММО з підготовки до плавання в умовах навігаційних ризиків і кібернетичних атак. Автономні судна являються предметом більш ретельного огляду і підготовки для плавання в умовах рейсового циклу перед відходом із порту. Тому для них існують спеціальні правила планування шляху і перевірки суднових систем автоматичного управління та їх датчиків. Крім того, команда на берегових постах управління рухом повинна власноруч виконувати високоточне планування координат переходу та враховувати необхідність використання організації планування і безпечного управління в аварійно-небезпечних ділянках в умовах навігаційних ризиків і кібернетичних атак. Тому об'єктом дослідження є процес планування безпечних координат руху та управління маневруванням автономного судна в рейсовому циклі. Підготовка автономного судна до переходу закладається в організації чергової профілактики суднових механізмів та систем, які забезпечують його рух та систем автоматичного дистанційного управління рухом для підтримання їх в робочому стані. Це забезпечується виконанням всіх необхідних перевірок з визначенням поправок штатних і резервних навігаційних приладів та їх відповідною черговою

профілактикою для підтримання в робочому стані, з виконанням всіх необхідних перевірок і визначенням поправок.

Команда берегового поста повинна виконати планування, включаючи координати переходу, визначити параметри маневрування, включаючи відстань від попередньої шляхової точки до наступної, курс із попередньої точки в наступну, кут повороту при криволінійному русі та кут перекладки руля для його виконання. Тому предметом дослідження являються способи високоточного планування координат шляху переходу автономного судна в рейсовому циклі на обширному мілководді. Це вимагає врахування запасу води під кілем при розрахунках координат рейсового циклу, а також його впливу на характеристики гальмування і поворотності та використання автоматичних систем підтримки прийняття рішень при контролі руху в аварійно-небезпечних ділянках шляху та при русі по криволінійних відрізках.

3. Мета і задачі дослідження

Метою статті являється детальний аналіз та вибір оптимальних способів планування координат рейсового циклу, включаючи криволінійні відрізки та аварійно-небезпечні ділянки, а також організація навігаційної безпеки автономного судна при кібератаках. Для досягнення визначеної мети в роботі необхідно розробити змістовну модель планування оптимальних координат переходу в рейсовому циклі, з урахуванням впливу обширного мілководдя на поворотність судна і використання систем підтримки прийняття рішень для контролю маневрування в аварійно-небезпечних ділянках переходу та в умовах кібератак.

Мета дослідження потребує виконати наступні завдання:

1. Систематизація способів управління і удосконалення маневрування автономного судна в умовах навігаційного і кібернетичного ризику та використання систем підтримки прийняття рішень.
2. Розробка алгоритму і розрахункових схем оптимального планування координат переходу автономного судна траєкторними точками в прибережному плаванні і управління маневруванням по них.
3. Розробка змістовної моделі організації рейсового циклу при аварійному управлінні маневруванням судна способом обсерваційного зчислення на береговому пункті управління при використанні захищених від кібернетичних атак ліній зв'язку.

4. Аналіз літературних джерел

Навігаційний пристрій планування координат заданого рейсового циклу судна, у вигляді матриць траєкторних точок, розрахованих за таблицею шляхових точок, які представлено у вигляді суми матриць прямолінійних та криволінійних відрізків переходу, розглянуто в роботі [1]. Оперативний контроль параметрів маневрування характерних точок судна виконують за допомогою автоматичної системи підтримки прийняття рішень (СППР). Актуальною проблемою є розробка нових методів планування шляху та контролю руху з урахуванням акваторії для маневрування, маневрених властивостей судна та зовнішніх впливів. Такі методи дозволять своєчасно виявити відхилення поточних координат від планових і прийняти рішення щодо його коригування.

Розрахунок планових координат проводиться для центру ваги судна за його абсцисою. При цьому за таблицею ШТ розраховуються параметри маневрування, такі як початок повороту, його закінчення, початок гальмування, відстань від попередньої точки до наступної та координати траєкторних точок прямолінійних відрізків шляху через 0,2 кбт та криволінійних ділянок через 1, 5 або 10 градусів, залежно від масштабу карти та кута повороту. Координати заданого шляху оформлюються у вигляді суми лінійних матриць прямолінійних та криволінійних ділянок шляху.

Відмічається, що основною перевагою методу планування шляху судна за таблицею ШТ для суден з безвахтовим обслуговуванням являється компактне представлення планових координат у вигляді матриць суми лінійних та криволінійних ділянок та можливість автоматичного оперативного контролю параметрів руху СППР.

Вдосконалену систему управління процесом маневрування автономних морських суден представлено в роботі [2] у вигляді багаторівневої системи, яка структурована в кілька рівнів, які відповідають за різні аспекти контролю судна. Кожен із них використовує складні алгоритми та штучний інтелект для визначення оптимальної структури управління за різних умов. Штучний інтелект значною мірою покладається на дані в реальному часі від датчиків і параметрів зовнішніх вхідних даних, які отримуються за допомогою GPS. У статті підкреслюється важливість цієї можливості, оскільки вона дозволяє системі оперативно реагувати на раптові зміни в навколишньому середовищі. Також в роботі обговорюються методи, які використовуються для забезпечення надійності системи, включаючи резервування в критичних компонентах. Ці заходи покликані запобігти збоям і забезпечити автономну роботу судна протягом тривалого часу без втручання людини. Вирішуються такі ключові проблеми, як обробка даних у реальному часі, адаптивність до навколишнього середовища та надійність експлуатації автономних суден.

Розробка та налаштування систем управління маневруванням для морських автономних надводних суден (MASS – marine autonomous surface ships) розглянуто у роботі [3]. Дослідження зосереджено на розробці та інтеграції різних підсистем управління, таких як маневрування при русі, розходження та маневрування під час кібератак, які здатні автономно працювати в складних умовах переходу. Інтеграція різних підсистем у єдину систему управління дозволяє зосередитись на тому, щоб усі компоненти працювали злагоджено. Результати дослідження сприяють постійному розвитку автономних морських технологій, але в статті не розглянуто питання управління маневруванням при навігаційних та кібернетичних ризиках.

В роботі [4] досліджується система планування координат переходу в рейсовому циклі шляхом використання географічної інформаційної системи (ГІС) для автономних суден. Ця система розроблена для покращення безпечної експлуатації автономного морського транспорту, що підвищує його ефективність та безпеку управління маневруванням. Вона забезпечує просторову структуру, яка дозволяє системі враховувати різноманітні географічні та екологічні зовнішні навігаційні фактори, такі як особливості берегової лінії, глибина води та потенційні перешкоди. Такі алгоритми дозволяють оптимізувати витрату палива для створення ефективних маршрутів переходу. Дослідження робить внесок у поширення сфери використання автономного морського транспорту для перевезення вантажів, пропонуючи інформацію про проблеми планування маршруту на основі ГІС.

Результати розробки надійних систем прийняття рішень в реальному часі при маневруванні автономних надводних суден приведено у роботі [5]. Враховуючи динамічний і непередбачуваний характер впливу зовнішніх факторів морського середовища, яке характеризується різними погодними умовами, щільністю трафіку та станом моря, стає очевидною потреба в ефективних алгоритмах, які здатні приймати оптимальні рішення в реальному часі. Автори зосереджуються на алгоритмі, який навчає функцію прийняття рішень комп'ютерним агентом для виконання складних завдань (PPO – Proximal Policy Optimization), з підкріпленням (RL – Reinforcement Learning), який відомий своєю ефективністю в системах управління маневруванням безперервної дії. Використаний алгоритм демонструє кращу точність маневрування, оптимізацію процесу розходження та можливість використання систем підтримки прийняття рішень. Це дозволило удосконалити розвиток і впровадження практики перевезення вантажів автономними морськими суднами, але в роботі не розглянуто вплив навігаційних і кібернетичних ризиків на процес руху в рейсовому циклі.

Фундаментальний аспект роботи автономного морського судна при плануванні координат руху в рейсовому циклі розглянуто у роботі [6]. Описано нормативні рекомендації системи

планування координат переходу в рейсовому циклі для автономних надводних суден. Планування рейсу має вирішальне значення для них, оскільки воно передбачає створення навігаційної стратегії, яка забезпечує ефективне та безпечне виконання процесу руху і маневрування судном при виконанні морських операцій. Запропонована авторами система планування рейсового циклу включає основні ключові етапи:

1. Планування шляху, яке включає вибір шляхових точок і розрахунок параметрів руху судна в рейсовому циклі;
2. Оптимізацію вибраного шляху за його довжиною та витратою палива.
3. Вибір аварійно-небезпечних ділянок шляху і зон навігаційних та кібернетичних ризиків.

Крім того, детально розглянуто обмеження системи, включаючи навігаційні небезпечні ділянки шляху, вірогідні райони кібернетичних атак та приведено готовність судна та команди ходового містка до роботи в складних умовах плавання.

Планування координат руху на переході для автономних надводних суден детально розглянуто у роботі [7]. Описано вибір маневру розходження шляхом вибору оптимальної швидкості. Використано метод динамічного позиціонування при управлінні рухом центру ваги судна за плановою траєкторією. У статті викладено методологію розробки та впровадження системи планування руху методом динамічного програмування, яка включає:

1. Формулювання проблеми.
2. Визначення простору станів, яке враховує перелік всіх можливих операцій та їх виконання, включаючи використання систем підтримки прийняття рішень.
3. Реалізація алгоритму, яка передбачає дискретизацію простору станів і дій, щоб зробити проблему вирішуваною. Алгоритм DP (Dynamic Programming – динамічне програмування) повторює можливі стани та дії, щоб знайти оптимальний шлях, який мінімізує функцію витрат.
4. Тестування: система планування руху виконується за допомогою моделювання для оцінки її продуктивності. Моделювання включає різні сценарії руху і умови навколишнього середовища для оцінки надійності та ефективності системи.

Дослідження висвітлює різні сторони планування руху автономних морських суден методом динамічного програмування складних проблем для планування їх руху та контролю параметрів.

Концепція управління рухом автономних суден із застосуванням математичних моделей для контролю параметрів управління їх значеннями приведено в роботі [8]. Описано дві концепції, якими пояснюються принципи їх експлуатації та технологічні вимоги до процесу управління їх маневруванням. Приведено технології, які підтримують автономну навігаційну роботу, такі як GPS (Global Positioning System – система глобального позиціонування), радар, лідар (система виявлення та визначення дальності за допомогою світла – технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти) і системи зв'язку для управління рухом. Автори описують математичні моделі, які визначають динаміку процесу управління судном. Такі стратегії спрямовані на високоточне управління маневруванням, зокрема:

1. *Пропорційне інтегрально-диференційне (ПІД) регулювання*: є найбільш поширеним методом дистанційного управління маневруванням автономного судна.
2. *Оптимальний контроль*: методи, які оптимізують вхідні дані параметрів управління для досягнення мінімального відхилення від планових точок.
3. *Тестовий контроль*: функціонал програми для перевірки ефективності математичних моделей і стратегій роботи. Він дозволяє перевірити коректність параметрів управління за різних умов і сценаріїв, включаючи навігаційні та кібернетичні ризики.

У роботі [9] приведено використання комп'ютерних дистанційних технологій і систем управління курсом для автономних надводних суден. У зв'язку із збільшенням кількості автономних суден для перевезення вантажів зростає потреба в надійних системах, які могли б ефективно та дистанційно управляти ними на відстані. Це передбачає розробку технологій, які

дозволяють автоматично і дистанційно контролювати рух центру ваги за плановими координатами та управляти маневруванням автономних суден, що має вирішальне значення для організації їх безпечної та ефективної експлуатації в режимі реального часу. В дослідженні також розглянуто навігаційні системи зв'язку. Надійні системи зв'язку необхідні для передачі даних між судном і центром дистанційного керування. В роботі обговорюються такі технології, як супутниковий зв'язок, радіочастоти та канали передачі даних, які забезпечують надійну та безпечну передачу даних. Системи контролю курсу, які використовуються в рамках дослідження, спрямовані на ефективне управління маневруванням. Коригування руху в реальному часі дозволяє враховувати зміну зовнішніх умов, таких як погода, стан моря або трафік руху. Визначено обмеження засобів управління поточних систем, які потребують вдосконалення технології управління маневруванням та розробки методики тестування стану параметрів маневрування в реальних умовах. Це дозволяє використовувати автоматизовані комп'ютерні дистанційні технології СППР при маневруванні, що значно підвищує безпеку руху автономних надводних суден. Однак в роботі не розглянуто особливості дистанційного управління маневруванням в умовах навігаційних та кібернетичних ризиків.

Зауважимо, що в роботі [9] приділено увагу автономним морським суднам, а саме: розроблено навігаційний пристрій планування координат заданого рейсового циклу у вигляді матриць траєкторних точок, розрахованих за таблицею шляхових точок; вдосконалено систему управління процесом маневрування; розроблено та налаштовано систему дистанційного управління маневруванням; розглянуто систему планування координат переходу в рейсовому циклі, шляхом використання географічної інформаційної системи; розроблено надійні СППР в реальному часі при маневруванні; розроблено нормативні рекомендації системи планування координат переходу в рейсовому циклі; розроблено спосіб вибору маневру розходження шляхом вибору оптимальної швидкості та метод динамічного позиціонування при управлінні рухом центру ваги за плановою траєкторією; приведено способи управління рухом за способом застосування математичних моделей, для контролю параметрів управління їх значеннями.

Методику проектування та контроль інтелектуальних можливостей системи управління з прийняття рішень, яку засновано на ризиках, розглянуто в дослідженні [10]. Підвищення безпеки експлуатації автономних систем поліпшується на основі використання байєсівської мережі переконань «Bayesian belief networks». Вона є основою для онлайн-моделі ризику та отримана на основі аналізу теоретико-системних процесів «System theoretic process analysis» (STPA). Тому її представлено як операційний ризик для автономного судна. Для отримання точної інформації про довкілля її об'єднано з модулем електронної навігаційної карти «Electronic Navigational Chart», для забезпечення ефективної експлуатації судна.

У запропонованій методиці поведінка системи порівнюється з реальним звичайним () судном на основі експериментальних даних, які взято із двох маршрутів прибережного плавання. В дослідженні показано, що продуктивність контролера наглядних ризиків Short Range Certificate (SRC), який контролює швидкість автономного судна та маневрування, аналогічна роботі реального судна. Проте запропонована методика не враховує безпечне плавання автономних суден із системами управління на обширному мілководді.

Питання безпеки експлуатації судових інтелектуальних систем, яке розглянуто в джерелі [11] враховує застосування 29 методів аналізу небезпек для автономних суден. Оскільки вимоги до критеріїв оцінки безпеки для автономних суден встановлюються на основі системно-інженерного підходу, в роботі детально проаналізовано відомі популярні дослідження за останні 50 років. Наведено результати *кластеризації* методів аналізу небезпек, які стосуються автономних суден. Показано, що теоретико-системний аналіз процесів STPA відповідає всім критеріям оцінки та виявився дуже перспективним методом для аналізу небезпек. Відмічено важливість розгляду комбінації STPA та інших методів аналізу небезпек у майбутніх дослідженнях.

Розширений аналіз контролю ризиків та інтеграцію системного теоретичного аналізу процесів STPA і байєсівські мережі переконань BBN із системами управління автономними судами представлено в дослідженні [12]. Показник ризику, який використовується в контролері наглядних ризиків (SRC), може враховувати фактичний ризик, а також експлуатаційні витрати під час прийняття рішень. Це показує, що автономна система управління, у порівнянні з існуючими системами управління судном, буде приймати більш ефективні та обгрунтовані рішення, вибирати оптимальне обладнання та режим безпечного управління судном, враховуючи зміни умов плавання на маршруті.

Проте всі наведені літературні джерела не розглядають в питаннях аналізу та оцінки ризиків важливість існуючої проблеми безпечного руху автономних суден на обширному мілководді. Не обговорюються способи планування координат переходу на обширному мілководді, необхідність розробки змістовних моделей пошуку аварійно-небезпечних ділянок переходу та особливості управління маневруванням автономним судном під час кібератак.

5. Методи дослідження

При дистанційному управлінні рухом автономного судна в рейсовому циклі на обширному мілководді, крім впливу звичайних навігаційних та кібернетичних ризиків, додається вразливість дистанційного каналу контролю руху за плановою траєкторією та непередбачуваний вплив зовнішнього середовища на маневрові характеристики і процес управління маневруванням. Виникнення навігаційного ризику являється детермінованим процесом, оскільки визначення аварійно-небезпечних ділянок виконується під час планування переходу і судноводій має час підготуватися до нього, а час появи кібернетичного ризику невідомий, хоча очікуваний район його появи, як правило, співпадає з наявністю навігаційних ризиків.

Для визначення кількісних характеристик ймовірності настання несприятливих подій необхідно використати аналіз ризику. Залежно від практичної необхідності можуть бути використані такі методи:

- аналіз статистичних даних за аварійністю в минулому в аварійно-небезпечних ділянках переходу, які приводяться в лоціях, на картах, в оглядах з аварійності страхових компаній та сповіщеннях мореплавцям;
- детальний аналіз структури навігаційних небезпек і навігаційного обладнання вздовж процесу руху і маневрування судна;
- експертний аналіз усіх елементів процесу руху, які так чи інакше впливають на судно, вантаж та роботу команди ходового містка чи машинно-котельного відділення (МКВ);
- використання сертифікованої комп'ютерної програми «Path Planning IS» для покращення існуючого маршруту, з відображенням скоригованого маршруту на карті та всіх маршрутів заданого напрямку.

6. Результати досліджень

Використання автономних суден для морських вантажоперевезень обіцяє значні переваги перед звичайними суднами. Вони включають зменшення людської помилки, підвищення ефективності роботи та потенційно нижчі експлуатаційні витрати. Однак перехід на такі судна створює нові складнощі, зокрема у підтримці безпеки та надійності систем дистанційного контролю параметрів руху і маневрування без прямого контролю з боку людини. Для вирішення такої проблеми, використовується система дистанційного контролю і автоматичного управління рухом, яка інтегрована безпосередньо в операційну структуру автономних суден та налаштована на організацію навігаційної безпеки при русі в аварійно-небезпечних ділянках переходу та під час появи кібератак. Для надійного управління

маневруванням така інтеграція системи забезпечує процес контролю рухом з функцією оцінки навігаційних та кібернетичних ризиків.

На відміну від класичних систем дистанційного управління маневруванням, які зазвичай працюють на основі попередньо розрахованих координат траєкторних точок (ТТ), під час планування шляху, ця система включає функції оцінки навігаційних ризиків за наявністю аварійно-небезпечних ділянок переходу та оцінки кібернетичних ризиків за показниками аналізатора робочого стану навігаційних приладів ходового містка. Така постійна оцінка в реальному часі виду та характеру ризиків дозволяє судноводію адаптувати вибір способу управління при наявності відповідних навігаційних небезпек, або своєчасно перейти на обсерваційне зчислення при кібератаках. На підставі приведених нормативних змістовних моделей планування координат шляху переходу в рейсовому циклі звичайного судна на глибокій воді, включаючи визначення аварійно-небезпечних ділянок, які приведено в роботах [14-17], нами було розроблено функціональну ієрархічну структурну схему для системи дистанційного управління маневруванням автономного судна на мілководді, з урахуванням аварійно-небезпечних ділянок з навігаційними ризиками та в умовах дії кібератак, яку приведено на рис. 1.

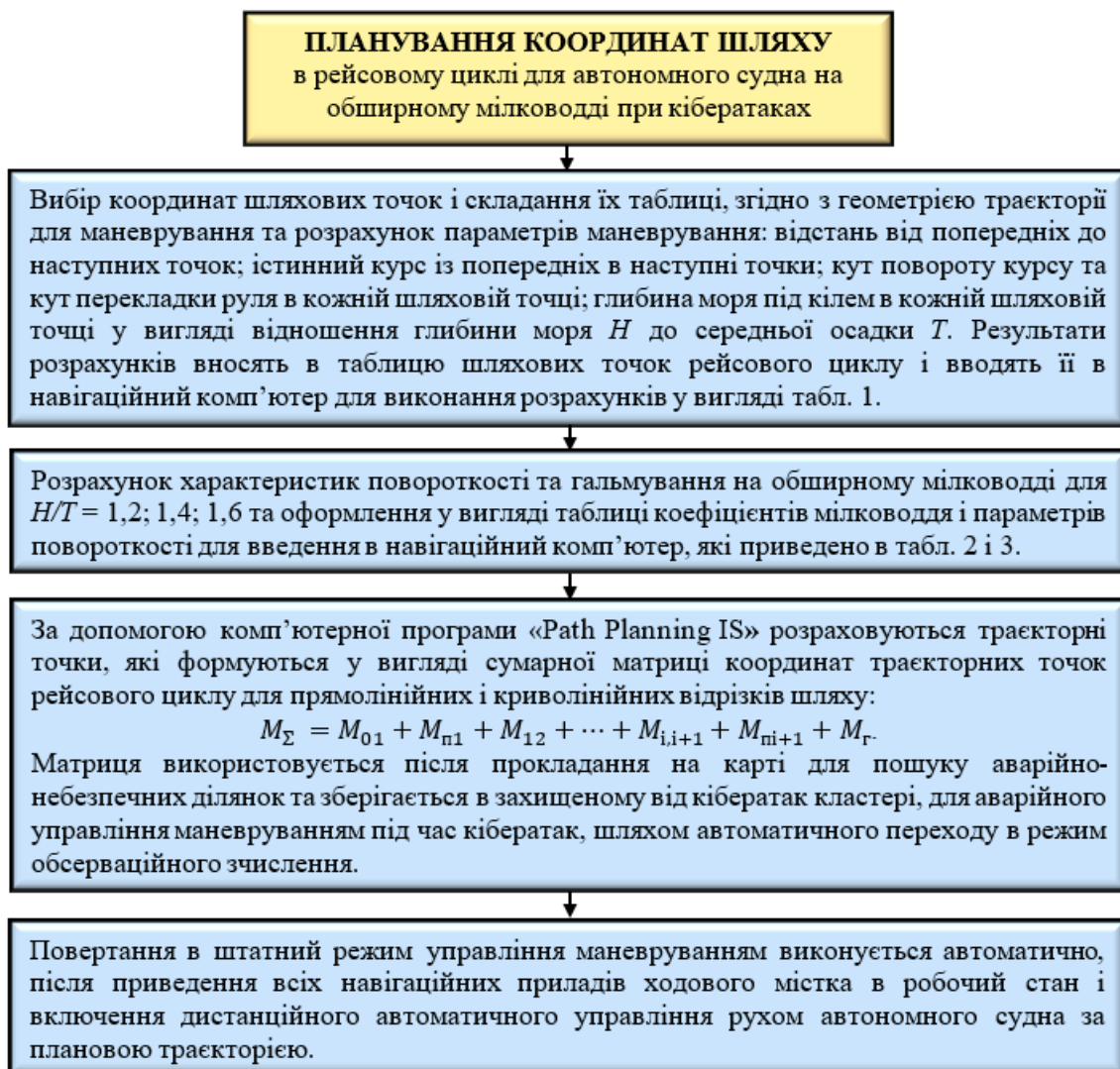


Рис. 1. Функціональна схема формування координат для рейсового циклу судна на мілководді та контроль управління в штатному режимі і при кібератаках.

Планування рейсового циклу морського судна нормується міжнародними нормативними документами, такими як Резолюція ІМО А.893 (21) – 1999 р. (Керівництво з планування рейсу)

і Bridge Procedures Guide, 6th Edition, 2022 (Керівництво з несення вахти на містку). В них детально описується процедура виконання навігаційного планування, управління на переході та контролю переміщення згідно плану. Недоліком існуючих рекомендацій являється відсутність етапу аналізу навігаційних та кібернетичних ризиків при плануванні координат переходу рейсового циклу. Крім того, в них відсутня методика пошуку аварійно-небезпечних ділянок та високоточного планування шляху для стиснених вод фарватерів, каналів, припортових та портових вод. Приклад фрагменту таблиці ШТ з параметрами маневрування автономного судна «Yara Birkeland» наведено в табл. 1 (істинний курс IK^0 ; довгота λ ; широта φ ; відстань S між ШТ; кут повороту $\Delta\theta_i$; кут переключки руля δ).

Таблиця 1. Координати входу до порту Маркус Хук (США) автономного судна «Yara Birkeland»

№ ШТ	IK°	φ	λ	S, милі	$\Delta\theta_i$	δ
0	82	39° 47.65 N	075° 26.36 W	0.00	-	-
1	89	39° 47.81 N	075° 25.89 W	0.76	7°	15°
2	75	39° 48.07 N	075° 25.41 W	0.99	14°	15°
3	86	39° 48.28 N	075° 24.93 W	0.76	11°	15°
4	7	39° 48.51 N	075° 24.87 W	0.00	79°	0°

На підставі табл. 1 сертифікованою комп'ютерною програмою «Path Planning IS» за методом відрізків були розраховані траєкторні точки від місця прийому лоцмана до причалу порту, результати яких наведено в табл. 2 [20].

Таблиця 2. Траєкторні точки для входу до порту Маркус Хук (США) автономного судна «Yara Birkeland»

№ ТТ	φ	λ	S, милі	Курс в наступну точку	Примітка
0	39 47'1"	075° 26'0"	0.1	0	Прийом лоцмана
1	39 47'1"	075 25'53"	0.1	89	-
2	39 47'1"	075 25'45"	0.1	89	-
3	39 47'1"	075 25'37"	0.1	89	-
4	39 47'1"	075 25'29"	0.1	89	-
5	39 47'1"	075 25'18"	0.1	89	-
6	39 47'1"	075 25'10"	0.1	89	-
7	39 47'2"	075 25'7"	0.1	87	-
8	39 47'3"	075 25'5"	0.1	71	-
9	39 47'5"	075 25'2"	0.1	58	-
10	39 47'7"	075 25'1"	0.1	45	-
11	39 47'9"	075 25'0"	0.1	32	-
12	39 47'12"	075 24'59"	0.1	14	-
13	39 47'15"	075 24'59"	0.1	7	-
14	39 47'18"	075 24'59"	0.1	354	-
15	39 47'24"	075 24'59"	0.1	342	-
16	39 47'30"	075 24'59"	0.1	0	-
17	39 47'36"	075 24'59"	0.1	0	-
18	39 47'47"	075 24'59"	0.1	0	-
19	39 47'53"	075 24'59"	0.1	0	-
20	39 47'55"	075 24'58"	0.1	3	-

Продовження таблиці 2

21	39 47'57"	075 24'57"	0.1	20	-
22	39 47'59"	075 24'55"	0.1	33	-
23	39 48'0"	075 24'53"	0.1	45	-
24	39 48'1"	075 24'49"	0.1	58	-
25	39 48'1"	075 24'46"	0.1	71	-
26	39 48'1"	075 24'42"	0.1	83	-
27	39 48'1"	075 24'38"	0.1	96	-
28	39 48'1"	075 24'31"	0.1	108	-
29	39 48'1"	075 24'16"	0.1	90	-
30	39 48'1"	075 24'08"	0.1	90	-
31	39 48'1"	075 24'05"	0.1	87	-
32	39 48'3"	075 24'03"	0.1	71	-
33	39 48'4"	075 24'00"	0.1	58	-
34	39 48'6"	075 24'00"	0.1	45	-
35	39 48'9"	075 24'00"	0.1	33	-
36	39 48'11"	075 24'00"	0.1	20	-
37	39 48'14"	075 24'00"	0.1	7	-
38	39 48'15"	075 24'00"	0.1	355	-
39	39 48'15"	075 24'00"	0.1	191	-
40	39 48'16"	075 24'00"	0.1	191	Причал порту

Функціональна схема системи планування і контролю процесу руху в рейсовому циклі автономного судна, яка представлена на рис. 1 являється багаторівневою, оскільки поєднує інтелектуальні системи навігації, підсистеми машинно-котельного відділення (МКВ) та включає елементи управління навігаційними і кібернетичними ризиками. Таке управління ризиками забезпечується визначенням навігаційних небезпечних ділянок при плануванні переходу та спеціальною підготовкою судна і команди ходового містка, а також машинно-котельного відділення для роботи при навігаційних небезпеках.

Управління кібернетичними ризиками закладається в ретельній підготовці резервних приладів ходового містка і МКВ до роботи в разі необхідності. Крім того, необхідно підготувати суднову команду до відновлення навичок виконання роботи з виконання своїх обов'язків за класичними способами.

Автономне судно вимагає взаємодії людини-оператора з повністю автоматизованими процесами, крім того обширне мілководдя викликає додатковий вплив на процес руху, який може підвищити рівень навігаційних ризиків при виконанні морських операцій.

При цьому на процес взаємодії впливають дві команди судна – ходового містка і МКВ. Людина-оператор в кожній команді відіграє роль резервного контролера, який отримує в реальному часі дані про курс, швидкість, положення судна, стан технічних приладів, які автоматично забезпечують роботу технічних систем МКВ, а також параметри їх штатної роботи. Це дозволяє операторам контролювати їх планові параметри в реальному часі і своєчасно коригувати недопустимі відхилення від їх робочих значень у випадку надзвичайних ситуацій. У разі виникнення складних аварійних умов людина може прийняти рішення про втручання в дистанційне управління системами маневруванням. Взаємодія людини з автономною інтелектуальною системою гарантує додатковий рівень безпеки, що важливо при роботі в умовах непередбачуваного ризику.

Система нагляду за ризиками виконує функцію центрального процесора для управління та моніторингу всієї інформації, яка надходить від системи управління рухом при вході судна в аварійно-небезпечну ділянку, яка визначена судноводієм при плануванні рейсового циклу.

Також джерелом інформації про ризики являється сповіщення про кібернетичну атаку, яке поступає від перемикача роботи системи в режим обсерваційного зчислення.

Автономна система управління роботою МКВ виконує або перетворення команд від навігаційної системи про використання резервних технічних приладів, або включає кластер МКВ в режим аналізу стану технічних приладів, які вийшли із ладу через кібератаку. Така система надає рекомендації щодо їх заміни резервними приладами або переходу на ручне управління відповідними параметрами. Це дозволяє забезпечувати роботу систем управління технічними механічними компонентами руху, такими як двигуни, гвинто-рульовий комплекс, системи рульового управління та виконання команд, що стосуються курсу, швидкості та маневрування судна.

Однак розглянута система забезпечує безаварійне управління маневруванням саме в рейсовому циклі автономного судна, тому потребується удосконалення способів планування координат шляху на обширному мілководді, для пошуку аварійно-небезпечних ділянок переходу, способів навігаційної безпеки плавання під час кібернетичних атак і підготовки судна та екіпажу для безпечного переходу в них.

Крім того необхідно враховувати, що існуючі нормативні документи з виконання морських операцій засновано на припущенні що судна, яких стосуються указані рекомендації, управляються людиною-оператором. Тому адаптація цих правил для виконання морських операцій автономними суднами, потребує додаткового обговорення і розробки. Для того, щоб автономні судна були безпечно адаптовані до існуючих норм і могли співіснувати з традиційними суднами на спільних водних шляхах, необхідна розробка міжнародних стандартів експлуатації автономних суден, яка не являється предметом дослідження в даній роботі.

Система контролю на основі оцінки ризиків (RBCS-Risk-Based Control System) розроблена для управління та зменшення ризиків під час автономних операцій судна, зокрема шляхом включення даних про стан навігаційних приладів ходового містка та технічних приладів МКВ у режимі реального часу та динамічних моделей оцінки їх стану для прийняття рішень щодо навігації, управління механізмами та безпеки судна. Використання такої системи взято нами з роботи [10], з включенням навігаційних та технічних кластерів, які запропоновано авторами [18]. Ця система заснована на принципі, згідно з яким кожне операційне рішення, таке як зміна швидкості, коригування курсу або вибір режимів роботи механізмів МКВ, має враховувати поточний рівень ризику та оптимізувати продуктивність судна, забезпечуючи його безпеку.

Однією з основних особливостей RBCS є її здатність безперервно оцінювати ризики за допомогою ймовірнісних методів, таких як мережі байєсівських переконань (BBN-bayesian belief network) і системний теоретичний аналіз процесів (STPA-Systems Theoretic Process Analysis). Ці моделі ризику оцінюють потенційні небезпеки на основі даних таких датчиків, таких як навігаційний кластер ходового містка, технічний кластер МКВ та умов навколишнього середовища. Кількісна оцінка ризиків у реальному часі системою RBCS дозволяє автономним суднам приймати обґрунтоване рішення з маневрування, за шляхом на карті, який нанесено високоточними плановими траєкторними точками. Наприклад, якщо судно проходить мілководдям із сильним бічним вітром, система може зменшити швидкість і скорегувати курс, щоб мінімізувати ризик негативного впливу на рух судна та управління маневруванням при розходженні. Система також адаптується до нових умов плавання, якщо технічний кластер МКВ сигналізує про неполадки приладів управління роботою засобів забезпечення руху судна. Тоді RBCS виконує функції підтримки прийняття рішення і рекомендує включити резервні технічні прилади або переходити на ручне управління при їх відсутності.

Віддалені оператори можуть контролювати стан і рух судна та втручатися у разі збоїв системи або непередбачених ризиків. Система RBCS надає цим операторам детальну оцінку ризиків і оперативні звіти, що дозволяє їм приймати обґрунтовані рішення без необхідності вручну управляти судном. В екстремальних випадках RBCS призначена для передачі

управління назад операторам, які можуть виключити систему та вжити прямих дій. Цей гібридний підхід гарантує, що навіть у складних сценаріях, коли алгоритмам машинного навчання та моделям ризиків може бути важко адаптуватися, людський досвід все одно може бути використаний.

Розрахунок шляху високоточними плановими траєкторними точками на обширному мільководді базується на врахуванні ступені впливу мільководдя на маневрові характеристики судна, яке виражається у відношенні глибини моря H до середньої осадки судна T . Для прикладу цей розрахунок взято нами із роботи [19].

Порівняльні характеристики для математичної моделі т/х «Микола Бажан», приведено в таблицях 3-6. Дані порівняння характеристик повороткості на глибокій воді і на мільководді, дані приведено для $H/T = 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0$ та ∞ в табл. 2 (ℓ_1 – зсув; ℓ_2 – пряме зміщення; D_T – тактичний діаметр; D_C – сталий діаметр).

Таблиця 3. Порівняння характеристик повороткості т/х «Микола Бажан» в вантажі, для кута перекладки руля $\delta = 35^\circ$ при початковій швидкості $V_n = 12,4$ вузла

H/T	ℓ_1 , кбт	ℓ_2 , кбт	D_T , кбт	D_C , кбт
1,2	4,58	2,56	5,83	5,73
1,4	4,17	2,04	4,62	4,37
1,6	4,00	1,84	3,98	3,62
1,8	3,89	1,75	3,68	3,07
2,0	3,84	1,67	3,54	2,75
∞	3,48	1,36	3,23	2,67

Для виконання практичних розрахунків на мільководді використано коефіцієнти мільководдя для кожного елемента:

$$\ell_1^{H/T} = \ell_1^{sp} \cdot k_{\ell_1}; \ell_2^{H/T} = \ell_2^{sp} \cdot k_{\ell_2}; D_T^{H/T} = D_T^{sp} \cdot k_{D_T}; D_y^{H/T} = D_y^{sp} \cdot k_{D_y}, \quad (1)$$

де $k_{\ell_1}, k_{\ell_2}, k_{D_T}, k_{D_y}$ – коефіцієнти мільководдя для кожного параметра повороткості.

Коефіцієнти мільководдя представлено у вигляді лінійної регресії:

$$K = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2, \quad (2)$$

де $X_1 = (T/H)$, а $X_2 = (T/H)^2$.

Результати виконаного регресійного аналізу (табл. 4) приведено в табл. 3 (b_0, b_1, b_2 – коефіцієнти лінійної регресії; $r_{yx_1}, r_{yx_2}, r_{x_1x_2}$ – коефіцієнти парної регресії; R – вірогідність; K_{det} – коефіцієнт детермінації).

Таблиця 4. Результати регресійного аналізу

Елементи циркуляції	b_0	b_1	b_2	r_{yx_1}	r_{yx_2}	$r_{x_1x_2}$	R	K_{det}
ℓ_{1H}	1,55	-1,81	1,84	0,960	0,979	0,996	0,996	0,996
ℓ_{2H}	2,35	-4,63	4,84	0,964	0,982	0,996	0,996	0,995
D_{TH}	1,60	-2,77	3,51	0,975	0,987	0,996	0,996	0,986
D_{yH}	0,27	0,42	2,09	0,995	0,997	0,996	0,996	0,993

$$K_{\ell_1} = 1,55 - 1,81 \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + 1,84 \cdot \left(\frac{T}{H}\right)^2. \quad (3)$$

$$K_{\ell 2} = 2,35 - 4,63 \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + 4,84 \cdot \left(\frac{T}{H}\right)^2. \quad (4)$$

$$K_{D_T} = 1,60 - 2,77 \cdot (T/H) + 3,51 \cdot (T/H)^2. \quad (5)$$

$$K_{D_Y} = 0,27 - 0,42 \cdot (T/H) + 2,09 \cdot (T/H)^2. \quad (6)$$

Результати визначення елементів і параметрів циркуляції при $V_n = 12,4$ вузла, в залежності від співвідношення H/T для т/х «Микола Бажан» в вантажі, при куті перекладки руля $\delta = 35^\circ$ приведено в табл. 5 (ω – кутова швидкість при повороті; α_n° – кут дрейфу при повороті; V_c – швидкість судна).

Таблиця 5. Залежність елементів і параметрів циркуляції т/х «Микола Бажан» в вантажі на ходу, для кута перекладки руля $\delta = 35^\circ$

H/T	V_c , вуз	ω , %	α_n°	ℓ_1 , кбт	ℓ_2 , кбт	D_m , кбт	D_y , кбт
1,1	8,34	0,42	8,31	4,99	2,91	6,30	6,31
1,2	8,11	0,43	9,13	4,58	2,56	5,83	5,73
1,3	7,38	0,49	10,76	4,31	2,19	4,80	4,79
1,4	7,14	0,52	11,62	4,17	2,04	4,62	4,37
1,5	6,74	0,53	12,59	4,06	1,95	4,22	4,04
1,6	6,37	0,56	13,64	4,00	1,84	3,98	3,62
1,7	6,02	0,58	14,69	3,92	1,78	3,81	3,3
1,8	5,69	0,59	15,90	3,89	1,75	3,68	3,07
1,9	5,47	0,61	16,98	3,85	1,71	3,62	2,85
2,0	5,27	0,61	17,64	3,84	1,67	3,54	2,75
∞	4,38	0,52	23,44	3,48	1,36	3,23	2,67

Аналіз приведених результатів показав, що підтверджується факт падіння швидкості на половину від початкової при повороті на 180° , а сталий діаметр збільшується майже в два рази. Це вимагає враховувати параметри поворотності при розрахунках криволінійних відрізків шляху та розрахунку координат ТТ методом відрізків або перпендикулярів.

При неоднакових глибинах на обширному мілководді виникає необхідність враховувати його ступінь для кожної шляхової точки при розрахунку координат циркуляції. Аналогічно необхідно враховувати ступінь мілководдя H/T при плануванні заходу/виходу із порту, постановці на якор, плануванні руху по каналах, фарватерах, в припортових водах і на акваторії порту.

Проведені порівняльні випробування гальмування т/х «Микола Бажан» у вантажі на глибокій воді та на обширному мілководді $H/T = 1,2$, які наведено в табл. 6 показують, що мілководдя незначно збільшує гальмівний шлях і досягає близько 20% та при більшій початковій швидкості проявляється менше (ЗСМ – задній самий малий; ЗМ – задній малий; ЗС – задній середній; ЗП – задній повний; ПСМ – передній самий малий).

Приведений аналіз гальмування показує, що гальмівний шлях збільшується на мілководді при понижених швидкостях руху до 6 вузлів приблизно на 20 %.

Таблиця 6. Результати гальмування «задній повний» на обширному мілководді

Глибина	Гальмівний шлях	ЗСМ			ЗМ			ЗС			ЗП		
		Початкова швидкість, вуз											
		2, вуз	4, вуз	6, вуз	2, вуз	4, вуз	6, вуз	2, вуз	4, вуз	6, вуз	2, вуз	4, вуз	6, вуз
$H/T = \infty$	$S, \text{кбТ}$	2,90	6,83	11,1	1,73	4,43	7,70	1,06	2,82	4,91	0,72	1,99	3,48
$H/T = 1,2$	$S, \text{кбТ}$	3,43	8,05	12,5	2,10	5,25	8,36	1,30	3,41	5,65	0,91	2,45	4,15

Для оцінки впливу мілководдя на динамічні властивості судна було проведено порівняльні випробування характеристик отримання повороту т/х «Микола Бажан» у вантажі при швидкості 6,4 вузла. Результати проведених випробувань наведено у табл. 7.

Таблиця 7. Характеристики отримання повороту т/х «Микола Бажан» в вантажі при «передній самий малий», $V = 6,4$ вуз

$\delta_{вих}$ $\delta_{вх}$	На глибокій воді					На мілководді					
	Кут перекидання руля для отримання повороту										
	5°	10°	15°	25°	35°	5°	10°	15°	25°	35°	
праворуч	5°	13,4	7,3	5,9	5,4	5,3	32,2	12,2	8,9	7,3	7,1
	10°	23,6	14,6	9,4	8,3	7,5	41,7	18,1	12,7	10,6	9,5
	15°	33,3	23,4	19	16,2	13,8	44,2	18,6	14,3	12,2	11,4
	25°	49,5	38,4	31,3	28,5	27,6	50,4	30	23	19,1	18,3
	35°	55,3	48,5	43,3	34,9	33,6	60,5	36,7	26,6	25	24,2
ліворуч	5°	20,3	8,7	5,9	4,4	5,3	37	12,4	9	7,4	7,3
	10°	21,5	13,6	10	8,7	8,2	40,6	16,8	11,8	10,3	9,9
	15°	39,5	25,6	17,8	15,6	14,7	51,2	19,9	14,3	11,7	10,5
	25°	48,4	37,7	30,7	28	26,6	53,5	27,8	22,1	18,6	18,1
	35°	54,2	43,8	34,3	31,1	30,5	59,6	37,9	28,2	24,4	23

Необхідно особливо підкреслити потребу оцінки впливу мілководдя на параметри отримання повороту, оскільки автономне судно при дистанційному управлінні рухом повинно автоматично перекидати руль та своєчасно виконувати зворотню перекидку руля для отримання повороту.

Аналіз, приведений в роботі [19] показує, що при малих кутах перекидання руля (до 10° включно) при вході в поворот кут отримання θ_0 на мілководді збільшується при всіх значеннях кутів перекидання. При отриманні малими кутами перекидання руля до 10°, значення θ_0 збільшується лише на 50%. Це пояснюється, мабуть тим, що при великих кутах перекидання руля відбувається зрив потоку, що його обтікає.

При $\delta_{вих} \geq 15^\circ$ картина змінюється і значення θ_0 на мілководді менше, ніж на глибокій воді. Це означає, що для отримання доцільно використовувати кути $\delta_{вих}$ не більше 15°.

Враховуючи результати моделювання та експериментальні перевірки, виконані нами при маневруванні, можна визнати доцільним створення спеціальної додаткової інформації для автономного судна, для урахування впливу мілководдя на маневрені характеристики.

Наявність навігаційних і кібернетичних ризиків призводить до необхідності використання резервних навігаційних приладів та використання класичних елементів штурманської навігаційної роботи та ручного забезпечення управління головного двигуна. Тому після прокладки координат шляху на карті необхідно виконати детальний аналіз наявності аварійно-небезпечних ділянок шляху. Такий аналіз можна виконати двома способами [21]: 1) шляхом врахування інформації про морські аварії та інциденти, які сталися з іншими суднами в

минулому; 2) методом скріншоту – для виконання детального аналізу навігаційних небезпек на переході морем в рейсовому циклі.

Зазвичай інформацію про аварійні випадки поміщають на навігаційних картах, в лоціях, звітах з аварійності, які виконують страхові компанії та в сповіщеннях мореплавцям.

Метод скріншоту закладається в детальному аналізі підозрілих ділянок, шляхом виділення скріншоту навігаційних небезпек. Координати виявлених аварійно-небезпечних ділянок включаються в таблицю їх переліку та приводиться характеристика аварійних ділянок в рейсовому циклі. Це дозволяє визначити вірогідність появи навігаційних ризиків чи кібернетичних атак, очікувану причину, вид та наслідки можливої навігаційної аварії і підготувати судно та команду ходового містка, а також МКВ до переходу в умовах навігаційних ризиків чи кібернетичних атак. Така підготовка закладається в розробці рекомендацій щодо способів збереження навігаційної безпеки та організації надійної роботи головного двигуна, для підтримання руху при існуючих ризиках.

Сам факт і час появи навігаційних ризиків нам відомий, оскільки вид та його характер нами було визначено при плануванні координат шляху рейсового циклу. Проте такої визначеності для кібератак немає. Тому нами було створено *аварійний кластер* для автоматичного перемикання системи управління маневруванням із штатного режиму в режим обсерваційного зчислення, що дозволило зберегти навігаційну безпеку руху судна. Функціональну схему автоматичного переключення системи в режим обсерваційного зчислення приведено на рис. 2 [22].

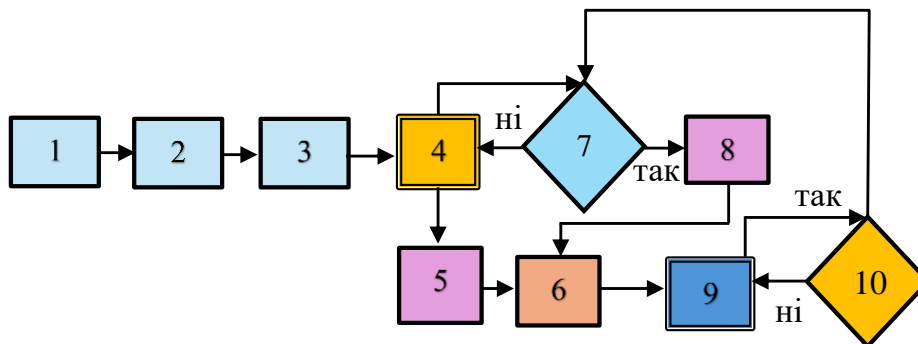


Рис. 2. Функціональна схема системи автоматичного дистанційного управління та перемикання роботи в режим обсерваційного зчислення або штатний – при кібератаках.

Блок 1. **Формування таблиці** траєкторних точок рейсового циклу автономного судна на обширному мілководді і розрахунок параметрів маневрування для кожної із них.

Блок 2. **Розрахунок** комп'ютерною програмою «Path Planning IS» траєкторних точок прямолінійних і криволінійних відрізків шляху і представлення їх матрицями координат ТТ та сумарною матрицею переходу.

Блок 3. **Прокладка переходу** на генеральній електронній карті траєкторними точками.

Блок 4. **Система дистанційного управління рухом** автономного судна в штатному режимі на обширному мілководді.

Блок 5. **Блок завантаження електронної карти**, за допомогою захищеної від кібератак кабельної лінії, (з плановими координатами ТТ після закінчення планування і нанесення на карту) в захищений від кібератак *навігаційний кластер* блоку 6, для зберігання протягом всього рейсу в незмінному вигляді і використання тільки для аварійного дистанційного управління маневруванням під час кібератак.

Блок 7. **Аналізатор стану навігаційних приладів** ходового містка судна та дистанційної системи управління рухом автономного судна на обширному мілководді. При положенні «ні» система продовжує працювати в штатному режимі.

Блок 8. *Автоматичний перемикач* роботи дистанційної системи управління рухом при появі неробочого стану навігаційних приладів судна і дистанційної системи управління або автономного судна, через вихід «так», який автоматично переключує систему управління з виходу блоку 6 в режим аварійного управління системою, шляхом переходу до обсерваційного зчислення, з періодичним визначенням місця судна в блоці 9 і ручним управлінням рухом судна за даними навігаційного кластера 6.

Блок 10. *Аналізатор робочого стану приладів*. Після приведення в робочий стан всіх навігаційних приладів ходового містка автономного судна і дистанційного управління, система автоматично з виходу «так» переходить для подальшої роботи в штатному режимі в блок 4, з відключенням аварійної системи обсерваційного зчислення. Якщо не всі прилади приведені в робочий стан, то система через вихід «ні» повертається для продовження роботи в режимі обсерваційного зчислення.

Таким чином сукупність високоточного планування координат руху автономного судна і способів дистанційного управління при взаємодії оператора з автономною інтелектуальною системою гарантує додатковий рівень безпеки. Визначення аварійно-небезпечних ділянок на стадії планування дозволяє підготувати судно і команду дистанційного управління рухом для зменшення навігаційних та кібернетичних ризиків до допустимого рівня [23-24].

Додаткове визначення впливу обширного мілководдя на характеристики повороткості і гальмування дозволяє значно підвищити точність планування координат [25], включаючи криволінійні ділянки, що зменшує вірогідність виникнення аварійних випадків і забезпечує навігаційну безпеку руху при навігаційних ризиках і кібератаках.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

В перспективі, для зменшення рівня навігаційних і кібернетичних ризиків, необхідно виконати практичну верифікацію розглянутих методів планування ТТ, з урахуванням запасу води під кілем та його впливу на процес планування для можливості використання в практичній роботі автономних суден, включаючи їх роботу на мілководді з урахуванням навігаційних та кібернетичних ризиків. Крім того, можуть бути використані методи імітаційного моделювання, які базуються на основі побудови моделей впливу аварійно-небезпечних ділянок на процес планування і руху автономних суден, з використанням сучасних приладів і комп'ютерних систем та врахуванням всіх зовнішніх і внутрішніх факторів, що зустрічаються на шляху рейсового циклу судна під час його переходу.

Подальші наукові роботи в цьому напрямку повинні бути направлені на удосконалення систем підтримки прийняття рішень у режимі реального часу, включаючи навігаційні ризики та кібернетичні атаки. Вимагає подальшого дослідження впровадження машинного навчання та використання спільного дистанційного управління людини-оператора та автоматичних систем, для підвищення їх надійності та підготовки для роботи в аварійно-небезпечних ділянках шляху та при кібератаках.

8. Висновки

Системи автоматичного інтелектуального дистанційного управління судном на обширному мілководді в умовах навігаційних ризиків і при кібератаках, які розглянуто у статті, базуються на наступних процесах:

1. Використання датчиків судна, системи дистанційного управління для обробки даних у реальному часі та розширених алгоритмів управління параметрами маневрування і врахування зміни параметрів впливу навколишнього середовища на рух судна.
2. Використання таких методів, як складання таблиці шляхових точок при врахуванні геометрії навігаційної акваторії для маневрування, визначення характеристик повороткості і гальмування на обширному мілководді, високоточного планування координат матриць

траекторними точками прямолінійних і криволінійних відрізків шляху та врахування аварійно-небезпечних ділянок переходу, яке дозволяє запропонувати рекомендації судноводіям з підготовки судна та екіпажу для роботи на обширному мілководді, при проходженні аварійно-небезпечних ділянок та при навігаційних і кібернетичних ризиках, управляючи ними на допустимому рівні.

3. Розроблення алгоритмів і систем управління, яке дозволяє використовувати системи підтримки прийняття рішень при маневруванні, які виконують автоматичний контроль планових параметрів руху, що значно полегшує контроль процесу дистанційного управління автономним судном і дозволяє своєчасно виявити недопустимі відхилення та прийняти заходи щодо їх коригування.

Оскільки системи інтелектуального дистанційного контролю і управління суднами продовжують розвиватися, вони мають потенціал трансформувати морську галузь, зробивши її ефективнішою, безпечнішою та стійкішою. Завдяки прогресу в таких сферах, як квантові обчислення і сенсорні технології, наступне покоління автономних суден, ймовірно, відіграватиме центральну роль у майбутньому для глобального судноплавства, а також при дослідженні океанів та для розвитку оборонних операцій.

Список літератури:

- 1) Мальцев А. С. Навігаційна система гарантованого безпечного управління маневруванням суден без екіпажу. // Науковий вісник ХДМА. – Херсон: ХДМА, 2021, №1 (24). – С. 38-56.
- 2) Koznowski, W., Kula, K., Lazarowska, A., Lisowski, J., Miller, A., Rak, A., ... & Tomera, M. (2023). Research on synthesis of multi-layer intelligent system for optimal and safe control of marine autonomous object. *Electronics*, 12(15), 3299.
- 3) Zubowicz, T., Armiński, K., Witkowska, A., & Śmierzchalski, R. (2019). Marine autonomous surface ship-control system configuration. *IFAC-PapersOnLine*, 52(8), 409-415.
- 4) Hu, X., Hu, K., Tao, D., Zhong, Y., & Han, Y. (2023). GIS-data-driven efficient and safe path planning for autonomous ships in maritime transportation. *Electronics*, 12(10), 2206.
- 5) Guan, W., Cui, Z., & Zhang, X. (2022). Intelligent smart marine autonomous surface ship decision system based on improved PPO algorithm. *Sensors*, 22(15), 5732.
- 6) Hinostroza, M. A., & Lekkas, A. M. (2022). A rudimentary mission planning system for marine autonomous surface ships. *IFAC-PapersOnLine*, 55(31), 196-203.
- 7) Geng, X., Wang, Y., Wang, P., & Zhang, B. (2019). Motion plan of maritime autonomous surface ships by dynamic programming for collision avoidance and speed optimization. *Sensors*, 19(2), 434.
- 8) Melnyk O., Onishchenko O., Onyshchenko S., Voloshyn A., Kalinichenko Y., Rossomakha O., Naleva G., Rossomakha O.: *Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control*. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 16, No. 3, doi:10.12716/1001.16.03.18, pp. 553-551, 2022.
- 9) Melnyk, O., Volianska, Y., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Kononova, O., & Vasalatii, N. (2022). Development of computer-based remote technologies and course control systems for autonomous surface ships. *Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur*, 22(09), 183-188.
- 10) Johansen, T., & Utne, I. B. (2022). Supervisory risk control of autonomous surface ships. *Ocean Engineering*, 251, 111045. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111045>.
- 11) Zhou, X. Y., Liu, Z. J., Wang, F. W., Wu, Z. L., & Cui, R. D. (2020). Towards applicability evaluation of hazard analysis methods for autonomous ships. *Ocean Engineering*, 214, 107773.
- 12) Johansen, T., Blindheim, S., Torben, T. R., Utne, I. B., Johansen, T. A., & Sørensen, A. J. (2023). Development and testing of a risk-based control system for autonomous ships. *Reliability engineering & system safety*, 234, 109195, <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109195>.
- 13) Шумілова К. В., Мальцев А. С. Управління індивідуальними навігаційними ризиками рейсового циклу морського судна | The management of individual navigational risks of the ship

voyage cycle / Shumilova K.V., Maltsev A. S. // Науково-технічний збірник «Судноводіння» / «Shipping & Navigation». – Одеса: НУ «ОМА», 2022, Випуск 33, С. 128-142. ISSN 2306-5761 | 2618-0073. doi: 10.31653/2306-5761.33.2022.128-142.

14) Шумілова К., Шумілов Д. Технологічні ризики при маневруванні морського судна в рейсовому циклі. Monograph. – Primedia eLaunch, Boston, USA, 2024. – 203 p.

15) Shumilova, K., Shumilov, D., & Maltsev, A. (2024). Classification of Cyber Risks for Sea Vessel's Voyage Cycle. *Transactions on Maritime Science*, 13(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v13.n01.w20>.

16) Maltsev, A., & Surinov, I. (2021). Improving the navigational preparation of a bridge crew for entering/leaving a port, including activities in case of emergency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3 (111)), 42–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>.

17) Maltsev A.S. Navigation support for the process of managing the maneuvering of a sea vessel. (Maneuvering booklet)/ – Eliva Press, 2023, – 218 p. URL: <https://www.elivabooks.com/en/book/book-8240761357>.

18) Мальцев А. С., Шумілов Д. І. Система вибору виду маневрів останнього моменту для попередження зіткнення морських суден при надмірному їх зближенні : пат. МПК G08G3/00 G08G3/02 ; № а202204105 ; заявл. 31.10.2022 ; опубл. 06.12.2023, Бюл. 49/2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1713291/>.

19) Мальцев А. С. Методологічні основи маневрування суден при зближенні. // А. С. Мальцев, В. В. Голіков, І. В. Сафін та ін. – Одеса: ОНМА, 2013. – 218 с.

20) Мальцев А. С., Суринов І. Л., Шумілов Д. І., Муравйов Г. М. Комп'ютерна програма «Path Planning IS»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 122773 ; заявл. 10.01.2024 ; опубл. 31.01.2024, Бюл. № 79.

21) Shumilov, D. (2024). Searching for emergency-dangerous sections of the vessel's voyage cycle during route planning with an improved content model. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(6), 130–153. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240306.13>

22) Мальцев А. С., Шумілова К. В., Шумілов Д. І., Муравйов Г. М. Система управління кібербезпекою маневрування морського судна при рейсовому циклі : пат МПК G08G 3/02 (2006.01) ; № а202300014 ; заявл. 03.01.2023 ; опубл. 09.08.2023, Бюл. № 32, стор. 139-140. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1722440/>.

23) Shumilov, D. (2024). Collision avoidance of the sea vessels during cyber attacks in the voyage cycle. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(4), 115–129. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240304.12>.

24) Shumilov, D. (2024). Assessment of the accuracy of determining the vessel's position by observational calculation and maneuvering parameters in case of cyber risks. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(6), 154–172. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240306.14>

25) Muravyov, G. (2024). Automation of coordinate planning voyage cycle of an autonomous vessel. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(5), 120–139. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240305.12>.

Intelligent systems for planning the path and controlling the movement of autonomous vessels in extensive shallow water in case of cyber attacks

Anatoly Maltsev

National University «Odessa Maritime Academy», Educational and Scientific Institute of Navigation, Odessa, Ukraine

ORCID: 0009-0004-5090-219X

Glib Muravyov

National University «Odessa Maritime Academy», Educational and Scientific Institute of Navigation, Odessa, Ukraine

ORCID: 0009-0008-1739-4399

Kateryna Shumilova

National University «Odessa Maritime Academy», Educational and Scientific Institute of Navigation, Odessa, Ukraine
ORCID: 0000-0003-1222-3730

Abstract: The rapid development of marine automation has led to the development of intelligent systems, planning their coordinates, traffic control and maneuvering control of autonomous vessels. This article aims to examine the key components, challenges and potential benefits of these systems, focusing on how they can enhance navigational safety, maneuvering efficiency and resilience to likely navigational and cyber risks in maritime operations. The research uses a comprehensive review of scientific literature, case studies and technological developments of intelligent traffic management systems for autonomous vessels. It also includes an analysis of algorithms, sensors and communication technologies that provide autonomous navigation, as well as the integration of these systems into existing methods of classical maritime traffic management. Improved methods of automatic planning of coordinates when performing a voyage cycle, taking into account the influence of the degree of water supply under the keel on the accuracy of planning transition coordinates and considered methods of taking into account accident-prone areas when planning the transition coordinates in the voyage cycle in extensive shallow water of an autonomous vessel. Conclusions: Intelligent systems for the control and management of autonomous vessels are critical to the successful deployment of these technologies in the maritime industry. Despite the significant advantages, additional research and development of methods for planning movement coordinates when performing a voyage cycle in extensive shallow water and managing maneuvering are needed to solve existing problems. Collaboration between sea industry stakeholders, regulators and researchers is essential to realizing the full potential of autonomous vessels, including emerging cyber risks.

Keywords: autonomous vessels; intelligent systems; automation of motion coordinate planning; extensive shallow water; maneuvering control systems; use of decision support systems during maneuvering; cyber risks.
