

---

## Планування координат руху і управління маневруванням морського судна при постановці на якір при кібернетичних ризиках

Дмитро Шумілов

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

ORCID: 0009-0009-6242-8620

### Для цитування цієї статті:

Шумілов Дмитро. Планування координат руху і управління маневруванням морського судна при постановці на якір при кібернетичних ризиках. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 4, No.1, 2025, pp. 141-156. doi: 10.46299/j.isjea.20250401.12.

**Надійшла до редакції:** 24 грудня 2024 р.; **Схвалено:** 26 січня 2025 р.;

**Опубліковано:** 01 лютого 2025 р.

---

**Анотація:** При виконанні рейсових циклів морського судна однією із найбільш поширених операцій маневрування являється постановка на якір. Особливістю цієї операції є вимога щодо її виконання в суворо визначеному портом заходу місці, як правило, на зовнішньому рейді, відкритому для дії вітру, в якому не завжди відомий напрямок течії. Крім того, додатково до таких навігаційних ризиків з'явилися й кібернетичні ризики. Будучи різними за природою своєї появи відносно навігаційних, вони мають кінцеву мету – викликати навігаційну аварію, нанести значні пошкодження судну, призвести до втрати вантажу або фінансових збитків його судновласника. В основу формування змістовних і математичних моделей маневрування при постановці на якір покладено графічний метод зображення координат руху інверсним способом, метод підготовки таблиці шляхових точок і розрахунок параметрів маневрування. При підготовці до рейсового циклу судна, використовуючи таблицю та дані про маневрені характеристики, в сертифікованій комп'ютерній програмі «Path Planning IS» автоматично розраховують матриці координат траєкторних точок і зберігають їх в захищеному від кібернетичних атак навігаційному кластері. Ці дані використовуються тільки після приходу на якірну стоянку, під час впливу кібернетичних атак або для постановки на якір в звичайних умовах. Установлено, що такий спосіб планування координат шляху при маневруванні для постановки на якір та зберіганні даних в захищеному від кібернетичних атак навігаційному кластері протягом рейсу, дозволяє організувати навігаційну кібернетичну безпеку. Теоретичний аспект виконаного дослідження дозволяє стверджувати, що визначальну роль формування компетенції практикуючих судноводіїв закладено в методиці використання цифрових автоматизованих комплексів та навчальних посібників, яка забезпечує підготовку екіпажу судна для роботи в умовах кібернетичних ризиків та організацію навігаційної безпеки маневрування при постановці на якір.

**Ключові слова:** якірна стоянка; кібернетичні ризики; інверсний спосіб графічного зображення координат руху; таблиця шляхових точок; високоточний спосіб планування координат руху; навігаційний кластер; безпека маневрування; навігаційна кібербезпека; постановка на якір.

---

## 1. Вступ

Використання сучасних способів обробки інформації в навігаційних системах ходового містка при плануванні шляху судна для постановки на якір і виконання маневрування викликало появу нових видів ризиків – кібернетичних. Причиною їх появи стала передача незахищеної інформації з використанням каналів радіозв'язку між судовими приладами і зовні між суднами. Це призвело до можливості несанкціонованого підключення кіберзлочинцями до судових систем операційних та інформаційних технологій.

Сучасні кібернетичні злочини здійснюються шляхом впливу на програмне забезпечення навігаційних електронних приладів з метою виводу їх із ладу.

*Першим кроком* для зменшення впливу кібератак буде необхідність обмеження кількості бездротових каналів між судовими приладами, із заміною на дротові, екрановані та захищені лінії зв'язку. Хоча повністю це не дозволяє вирішити проблему зовнішнього впливу, але може суттєво зменшити кіберризиками.

*Другим кроком* являється встановлення сучасного комп'ютерного програмного забезпечення (ПЗ), яке захищене від кібератак або оновлення застарілого ПЗ для навігаційних приладів ходового містка.

*Третім кроком* є підготовка резервних навігаційних приладів для використання під час впливу кібернетичних атак, з відповідною підготовкою судоводіїв для переходу в режим ручного виконання штурманської роботи за класичними способами, включаючи перехід на обсерваційне зчислення.

Для зменшення кібернетичних ризиків при постановці на якір було запропоновано організувати навігаційний кластер, захищений від кібернетичних атак. В ньому пропонується завантажувати тільки план маневрування для використання всіх безпечних місць якірної стоянки, розроблений при плануванні координат рейсового циклу судна. Тому, пропонується після закінчення планування переходу визначити місця вірогідних якірних місць та виконати для кожного з них планування координат маневрування наступним чином:

- вибрати координати шляхових точок (ШТ) і скласти їх таблицю;
- розрахувати параметри маневрування, включаючи курс із попередньої точки в наступну, кут повороту, кут перекладки руля;
- розрахувати відстань між точками;
- визначити швидкість руху на заключному етапі руху судна, перед віддачею якоря;
- вибрати гальмівний шлях з таблиці гальмівних характеристик і записати його в таблицю ШТ;
- розрахувати матриці траєкторних точок криволінійних і прямолінійних ділянок для кожного відрізка шляху і визначити матрицю координат постановки на якір;
- нанести на карту графічний план руху при постановці на якір;
- завантажити дані в навігаційний кластер, захищений від кібернетичних атак, для використання в момент приходу в необхідне якірне місце.

## 2. Об'єкт і предмет дослідження

Натепер в судоводінні виникла проблема появи кібернетичних атак при постановці на якір. Причинами виникнення аварійно-небезпечних випадків при постановці на якір являються: близько розташовані навігаційні небезпеки; не завжди відомий напрямок прибережної течії; мала акваторія для маневрування через розташовані на інших якірних стоянках судна та близькість навігаційних перешкод. Також стиснена акваторія для маневрування сприяє появі кібернетичних атак через навігаційні ризики, які призводять до передумов виникнення аварії. Тому об'єктом дослідження являються процеси високоточних способів планування координат руху при постановці на якір і управління маневруванням в умовах кібератак.

Предметом дослідження є принципи, методи і моделі автоматичного планування координат руху при постановці на якір, які необхідно враховувати заздалегідь при плануванні рейсового циклу і зберіганні плану в захищеному навігаційному кластері у разі потреби. При цьому розрахунки координат руху при постановці на якір виконуються високоточним методом траєкторних точок за таблицею шляхових точок. Такий метод враховує геометрію руху, у вигляді таблиці ШТ, характеристики повороткості і гальмування для стану завантаження та дозволяє визначити параметри маневрування при цьому.

### 3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є високоточне планування якірних стоянок інверсним способом в рейсовому циклі при підготовці координат переходу. Після цього всі необхідні дані за якірними стоянками завантажуються в захищений від кібератак навігаційний кластер та використовуються при необхідності постановки на якір у відповідному місці.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- скласти таблиці ШТ для кожної якірної стоянки;
- визначити глибину моря у вигляді її відношення до середньої осадки судна  $H/T$ ;
- розрахувати параметри маневрування за таблицями гальмування і повороткості, для глибокої води і ступені мілководдя, у вигляді гальмівного шляху перед віддачою якоря, а також характеристик повороткості;
- розрахувати координати траєкторних точок (ТТ) руху при постановці на якір і прокласти їх на карті;
- зберегти результати планування в захищеному від кібератак навігаційному кластері і використовувати при необхідності.

Оскільки при кібернетичних атаках навігаційні прилади ходового містка виходять із ладу, контроль маневрування при постановці на якір потрібно виконувати візуально, за береговими орієнтирами.

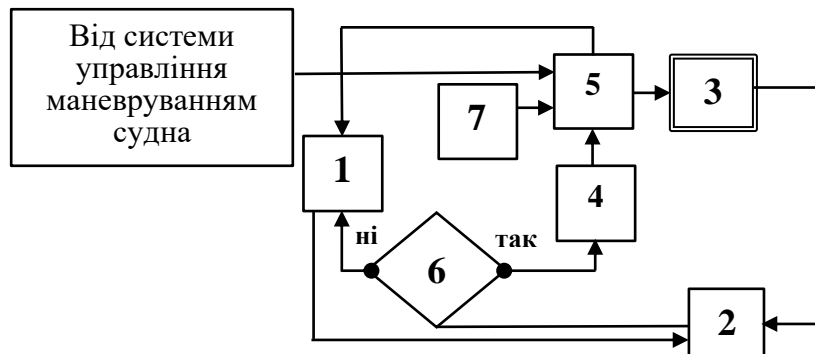
При обмеженій видимості окомірне спостереження використовувати неможливо, тому в такому випадку судноводій вимушений здійснити постановку судна на якір до покращення видимості або до приведення в робочий стан навігаційних приладів. Для визначення напрямку з резервних приладів можна використовувати магнітний компас, але він повинен мати пеленгатор і таблицю девіації. Резервних приладів для визначення дистанції на судні немає. Використання секстанту для розрахунку дистанції можливо тільки при хорошій видимості і потребує наявності додаткових даних про судно або навігаційні орієнтири, дистанцію до яких вимірюють.

### 4. Аналіз літературних джерел

Методика планування траєкторії руху інверсним способом графічно – в масштабі, а також аналітично – при постановці на якір, розглянута в роботі [1]. Виконано рішення кінематичних диференціальних рівнянь у негативному часі, для створення заданого алгоритму функціонування системи управління рухом при маневруванні. Система управління рухом при постановці на якір заснована на досвіді висококваліфікованих експертів, який практично ґрунтується на змістовних словесних моделях. Тобто вона перетворена на систему управління, що базується на формалізованих моделях. Отримані формалізовані моделі дозволяють автоматизувати процес планування маневрування судна під час постановки на якір. Однак в роботі не приведено методику планування і постановки на якір при кібератаках.

В роботі [2] відмічається, що кібератаки пов'язані з широким впровадженням інформаційних технологій та використанням безкабельних ліній зв'язку між приладами на судах і при зовнішньому радіозв'язку. В дослідженні приведено блок-схему автоматичного

перемикання системи управління маневруванням судна із штатного режиму в аварійний і навпаки, яку представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Фрагмент блок схеми алгоритму автоматичного перемикання системи управління маневруванням із штатного режиму в режим обсерваційного зчислення і навпаки – при кібернетичних атаках: 1 – система виконання обсерваційного зчислення і контролю стану навігаційних приладів; 2 – аналізатор відмов приладів навігаційного кластера ходового містка і вибору способу управління маневруванням; 3 – система штатного функціонування приладів ходового містка; 4 – накопичувальний аналізатор кількості навігаційних приладів ходового містка в робочому стані; 5 – перемикач режиму роботи системи в штатний режим або для обсерваційного зчислення; 6 – селектор відбору приладів в робочому стані, який направляє в блок 4 через вихід «так», а в неробочому стані повертає в блок 1 через вихід «ні» – для приведення їх до ладу; 7 – електронна обчислювальна машина.

Вищезазначена система може використовуватися і при плануванні руху на переході та при постановці на якір, але для її використання потрібно розробити додатково аналізатор стану навігаційних приладів ходового містка і рекомендації судноводіям з використання класичних способів штурманської роботи при кібератаках.

Зауважимо, що розроблена сертифікована комп'ютерна програма «Path Planning IS», для автоматичного розрахунку координат траєкторних точок при заході/виході із порту за таблицею шляхових точок, не передбачає врахування ступені мілководдя на якірних стоянках, маневрових характеристик судна та впливу кібератак [3]. За цією причиною для використання планування шляху при постановці на якір вона потребує доопрацювання.

Питання впливу проектування з розташування якірних місць в береговій зоні розглянуто в роботі [4]. Під час постановки і стоянки на якорі виникають наступні фактори: розмив морського дна; відходи технічного обслуговування; експлуатаційні викиди; взаємне переміщення відносно точки віддачі якоря. Більшість указаних впливів на прибережну державу, як правило, враховано в процесі призначення координат якірних місць. Однак їх розташування не завжди враховує навігаційну безпеку стоянки на якорі. Крім того, чинна міжнародна нормативно-правова база не стосується способів виконання постановки на якір і не має механізмів для розгляду відповідальних обов'язків сторін, при аварійних випадках.

Методику планування та верифікацію якірної стоянки для малих суден наведено в джерелі [5]. Для цього враховано економічні, екологічні, соціальні проблеми та проблеми цивільного будівництва, пов'язані з використанням прибережних вод. На основі багатокритеріальних методів розроблено концепцію підтримки прийняття рішень щодо моделювання процесів вибору місць для будівництва якірної стоянки. Верифікацію і практичну реалізацію було проведено на острові Шолта (Хорватія). Це підтвердило ефективність та дієвість використаної методології планування місць якірної стоянки, але планування координат руху та навігаційну безпеку при постановці на якір в роботі не розглянуто.

Інтерес до організації навігаційної безпеки в прибережних районах поблизу портів, які є відносно невеликими відмічено в статті [6]. Для підвищення навігаційної безпеки при

маневруванні для постановки на якір пропонується обмежити швидкість до втрати управляємості. Крім того, рекомендується більш ретельно виконувати прогнозування погоди, оскільки помилки в таких прогнозах можуть безпосередньо вплинути не лише на економічні збитки, а й на забруднення навколишнього середовища. Проте питання планування шляху для постановки на якір і безпечне маневрування по ньому при кібератаках не було розглянуто.

Останнім часом кількість суден, які очікують заходу в порт збільшилась через ізоляцію портів і підвищення обсягів вантажів для морських перевезень. Більш того, в умовах сильного хвилювання, судна залишаються за межами території портів. Для оцінки ризику дрейфу судна на якорі від сильного вітрового та хвильового впливу в роботі [7] було виконане чисельне моделювання руху. На підставі моделювання був розроблений метод оцінки ризику посадки на мілину, навалу на портові спорудження та інші судна. Також запропоновано методологію оцінки безпечної якірної стоянки при сильному вітро-хвильовому впливі в умовах стоянки на зовнішньому рейді, для більш ретельного спостереження за прогнозом погоди, включаючи своєчасне зняття з якоря і вихід у відкрите море для штормування. Однак рекомендації судноводіям не розроблено.

У зв'язку із збільшенням обсягу великовантажних суден, кількість якірних місць стала фактором, який обмежує навігаційну безпеку маневрування при постановці на якір та безпеку якірної стоянки, про що відмічено в роботі [8]. Крім того, це впливає на розвиток портів і зменшує його фінансові доходи. Для підвищення пропускну здібності порту було виконано оптимізацію розташування суден на якірній стоянці. Для вирішення цієї задачі було використано модель динамічної багатоцільової оптимізації, засновану на генетичному алгоритмі. Виконана експериментальна верифікація такої моделі показала покращання коефіцієнту використання якірної стоянки. Це дозволило розташувати більшу кількість суден на якірній стоянці, забезпечуючи при цьому навігаційну безпеку. Однак технологічну схему маневрування для постановки на якір не розглянуто.

Питання використання процесу віддачі якоря при виконанні маневрування розглянуто в дослідженні [9]. Відмічено, що віддавати якір судноводії змушені під час швартування при відсутності на судні носового підрулюючого пристрою, для допомоги буксиру. Це вимагає від судноводія теоретичних знань використання якоря та його механізмів. Різні способи використання якорів потребують планування процедур використання механізмів якірного пристрою, а також наявності рекомендацій для судноводіїв у графічній формі. Приведено інтерв'ю капітанів, які мають досвід використання якірного пристрою при швартуванні, з рекомендаціями щодо навігаційної безпеки.

Нормативно-правова база постановки на якір не враховує кумулятивну дію способу віддачі якоря на ґрунт, про що відмічається в роботі [10]. Судна при стоянці на якорі впливають на навколишнє середовище. Щоб зрозуміти екологічні наслідки забруднення, коли великі морські судна стоять на якорі в прибережних водах, потрібні додаткові дослідження. Незважаючи на відсутність досліджень, присвячених всьому спектру впливу на довкілля суден, що стоять на якорі, починаючи від розмиву морського дна, експлуатаційних викидів та скидів, а також відходів технічного обслуговування, яке проводиться під час стоянки на якорі, добре відомо, що така проблема існує. Тому потрібне детальне дослідження для суттєвого картування правових структур та опитування зацікавлених сторін, що забезпечує основу для вивчення потенційної договірної практики та покращання проектування якірних стоянок, для організації навігаційної безпеки, включаючи випадки появи кібератак.

Способи оцінки стану системи планування і управління маневруванням при постановці на якір методом динамічного позиціонування описано в роботі [11]. Для його реалізації, крім керування рулем, додатково використовують підрулюючий пристрій. Такий спосіб достатньо швидкодіючий, а його виконання потребує тільки затрат часу на визначення місця судна і не потребує значної попередньої підготовки для його використання. Розглянуто новий алгоритм, який використовує дані датчиків вимірювання параметрів погоди та когнітивні знання про властивості якірної системи, для вибору оптимального способу віддачі якоря. Однак способи

планування координат траєкторії руху при маневруванні для постановки на якір та управління рухом при кібератаках не розглянуто.

Питання підготовки судноводіїв для формування навичок при постановці на якір на судових тренажерах, які використовуються в режимі реального часу досліджено в роботі [12]. Такі тренажери здатні співпрацювати з авіаційними тренажерами на літаках, які мають спільні корисні концепції та методології, які забезпечують формування навичок з управління маневруванням як суден, так і літаків. При використанні моделювання руху суден передбачається використання систем підтримки прийняття рішень з виконання морських операцій. Вони включають: ситуацію проходження під мостами; використання нейронних мереж; використання руля та гвинта; просідання на мілководді; швартування в порту; постановка на якір та деякі інші. Але моделювання впливу кібератак на процес руху судна при виконанні морських операцій в роботі не розглянуто.

В дослідженні [13] приведено опис алгоритму виконання процесу маневрування при постановці на якір та характерних помилок судноводіїв при цьому. Розглянуто типові морські аварії великовантажних суден-перевізників сирої нафти (VLCC – Very Large Crude Carrier), які пов'язані з порушенням рекомендацій щодо способів планування координат шляху руху при маневруванні для постановки на якір і управління судном. Наслідки аварій змінюються від незначних до серйозних структурних пошкоджень судна та якірно-швартовного обладнання, результати усунення яких потребують ремонту корпусу судна, через втрату судноплавності, шляхом постановки в док. Однак питання особливостей планування траєкторії руху та управління VLCC при постановці на якір, а також організація навігаційної безпеки якірної стоянки при кібератаках не розглянуті.

Таким чином, аналіз приведених літературних джерел показав, що теоретичні основи планування якірних місць на стоянці для організації навігаційної безпеки розроблені достатньо повно. Приведений інверсний спосіб планування координат руху при маневруванні для постановки на якір враховує маневрені характеристики судна. Але в роботах відсутні рекомендації щодо способів планування постановки на якір при малому запасі води під кілем, а також при кібератаках, для вибору оптимального алгоритму віддачі якоря.

## 5. Методи дослідження

Порядок рішення задачі планування координат руху для постановки на якір, при маневруванні в звичайному режимі, виконується інверсним способом після закінчення планування координат руху в рейсовому циклі і визначаються місця рекомендованих якірних стоянок. При цьому використовується метод таблиці шляхових точок, для кожного якірного місця, який розглянуто в роботі [1]. Він дозволяє розрахувати параметри маневрування: курс із попередньої точки в наступну; відстань між точками; кут перекладки руля; кут повороту; гальмівний шлях від точки постановки на якір до моменту останньої шляхової точки криволінійного руху. Після цього вибирається із таблиці маневрених характеристик гальмівний шлях для режиму 6 вузлів переднього ходу і середнього заднього та записується в таблицю ШТ.

За таблицею ШТ і характеристиками повороткості та за відомими формулами навігації розраховуються координати траєкторних точок. Дані розрахунків формуються у вигляді матриць координат постановки на якір. Прокладаються траєкторії для кожної якірної стоянки на карті і вносяться в ізольований від кібератак навігаційний кластер, для безпечного використання при необхідності.

## 6. Результати досліджень

Першим кроком підвищення точності планування координат шляху руху при криволінійних відрізках маневрування для постановки на якір являється використання способу траєкторних точок (ТТ) [1]. Він враховує дані про геометрію акваторії маневрування у вигляді таблиці ШТ, параметри характеристик поворотності і гальмування судна, планування координат криволінійних ТТ через 3-10 градусів повороту, а також методику розрахунку координат прямолінійних відрізків маневрування з інтервалом 0,1-0,4 кбт. Результати оформляються у вигляді суми матриць координат прямолінійних і криволінійних відрізків шляху і матриці гальмування.

Реалізацію способу здійснимо для практично виконаної постановки на якір т/х «Frederik» на якірну стоянку «В4» в порту Хайфа за шляховими точками. Лоцманська станція порту Хайфа призначила судну якірне місце «В4» з координатами:  $\varphi_{я} = 32^{\circ} 52,220' N$ ;  $\lambda_{я} = 035^{\circ} 00,376' E$ .

На підставі геометрії руху було складено таблицю ШТ якірної стоянки «В4», яку приведено в табл. 1.

**Таблиця 1.** Шляхові точки постановки на якір у порту Хайфа для т/х «Frederik»

Номер точки	Широта $\varphi$	Довгота $\lambda$	Курс в наступну точку	Відстань $S$ , морські милі	Кут перекладки руля	Кут повороту	Примітка Н/Т
0	32° 51,786' N	034° 59,073' E	066,8°	0,27	-	-	Початок маневру: 2,0
1	32° 51,983' N	034° 59,617' E	110,8°	0,55	10°	44,0°	2,0
2	32° 51,672' N	035° 00,588' E	007,8°	0,87	15°	-103,0°	2,0
3	32° 52,214' N	035° 00,676' E	265,6°	0,50	15°	-102,2°	2,0
4	32° 52,193' N	035° 00,351' E	-	-	-	-	Постановка на якір: 2,0

За даними таблиці були розраховані параметри маневрування і визначена точка початку маневрування. Відповідно до рози вітрів визначено вірогідний напрям вітру, а за даними лоції визначено вектор за напрямком течії і розраховано напрям результуючого вектору зсуву  $R_s$ , за яким із точки віддачі якоря проведено лінію, напрям якої є протилежним  $IK$  (істинному курсу) підходу, як показано на рис. 2.

Із приведеної таблиці 1 ШТ і рис. 2 формують масив гальмування, лінійні матриці і матриці ТТ повороту для відрізків шляху в наступному порядку:

$M_{\Sigma}$  – сумарна матриця координат ТТ руху при маневруванні для постановки на якір;

$M_{01}$  – лінійна матриця при русі із нульової ШТ до початку повороту  $P_{\psi 1}$ ;

$M_{n1}$  – матриця циркуляції в ШТ 1 від  $P_{\psi 1}$  до  $K_{\psi 1}$ ;

$M_{12}$  – лінійна матриця при русі із  $K_{\psi 1}$  до  $P_{\psi 2}$ ;

$M_{n2}$  – матриця циркуляції в ШТ 2 від  $P_{\psi 2}$  до  $K_{\psi 2}$ ;

$M_{23}$  – лінійна матриця при русі із  $K_{\psi 2}$  до  $P_{\psi 3}$ ;

$M_{n3}$  – матриця циркуляції в ШТ 3 від  $P_{\psi 3}$  до  $K_{\psi 3}$ ;

$M_e$  – матриця гальмування від початку гальмування  $L_r$  до зупинки в ШТ4.

Тоді сумарна матриця координат траєкторних точок при постановці на якір на якірному місці «В4» в порту Хайфа буде мати наступний вигляд:

$$M_{\Sigma} = M_{01} + M_{n1} + M_{12} + M_{n2} + M_{23} + M_{n3} + M_r. \quad (1)$$

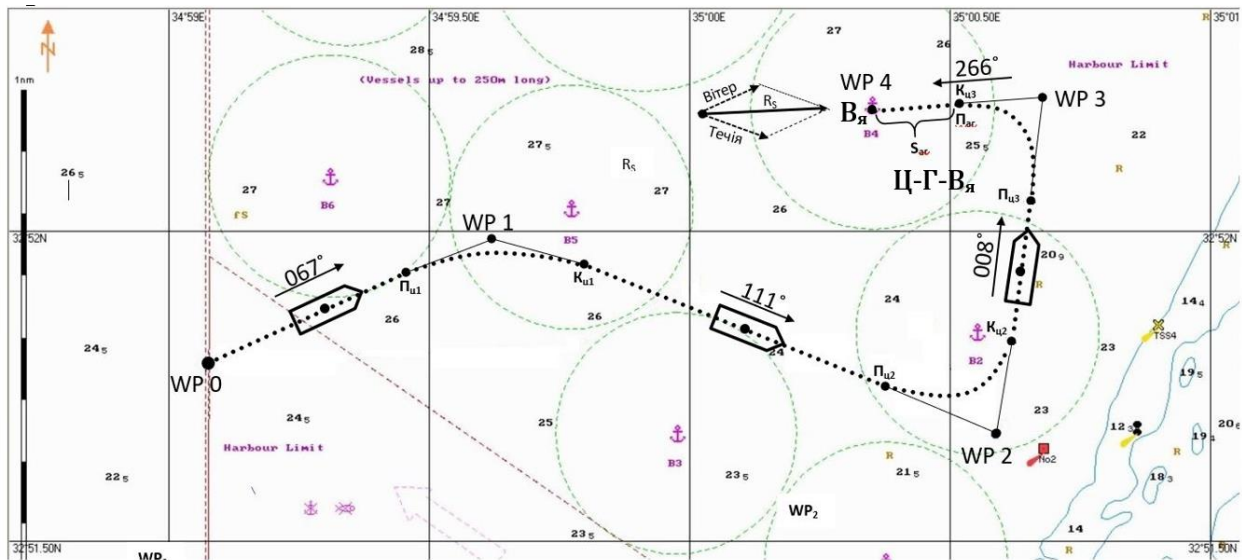


Рис. 2. Постановка на якірну стоянку «В4» в порту Хайфа при плануванні руху т/х «Frederik» шляховими і траєкторними точками.

Із таблиці характеристик гальмування т/х «Frederik» вибираємо  $S_{ар} = 4,65$  кбт для режиму передній малий (ПМ), який дорівнює 7,5 вузлів при гальмуванні заднім середнім (ЗС) та відкладаємо його на лінії ЗІК. В результаті отримуємо точку закінчення повороту  $K_u$ , яка являється точкою віддачі команди на гальмування  $P_{ар}$ .

Розрахунок координат точок прямолінійних ділянок інверсним способом виконаємо через інтервал шляху  $\Delta S = 0,1$  кбт. За координатами 4-ї ШТ  $\varphi_n = 38^{\circ}07,9'S$ ,  $\lambda_n = 144^{\circ}31,7'E$ , зворотним напрямком  $ЗІК_4 = 86^{\circ}$  із 4-ої ШТ і відрізком дискретизації шляху 0,1 милі в стиснених умовах розраховують, за формулами письмового числення, координати точок траєкторії руху і формують матрицю гальмування  $M_T$  за наступними формулами:

$$РШ = \Delta S \cdot \cos ЗІК_4 = 0,1' \cdot \cos 86^{\circ} = 0,006975' \text{ к } N; \quad (2)$$

$$ОТШ = \Delta S \cdot \sin ЗІК_1 = 0,1' \cdot \sin 86^{\circ} = 0,0976'; \quad (3)$$

$$РД = ОТШ \cdot \sec \phi_m = 0,0976' \cdot \sec 38,1^{\circ} = 0,1268' \text{ к } E; \quad (4)$$

- розраховуємо координати точки траєкторії:

$$\phi_{41} = \phi_n + РШ = 1972,2229' + 0,02079' = 1972,437' = 32^{\circ} 52,637' N; \quad (5)$$

$$\lambda_{41} = \lambda_n + РД = 2100,376' + 0,1268' = 2100,503' = 35^{\circ} 00,503' E. \quad (6)$$

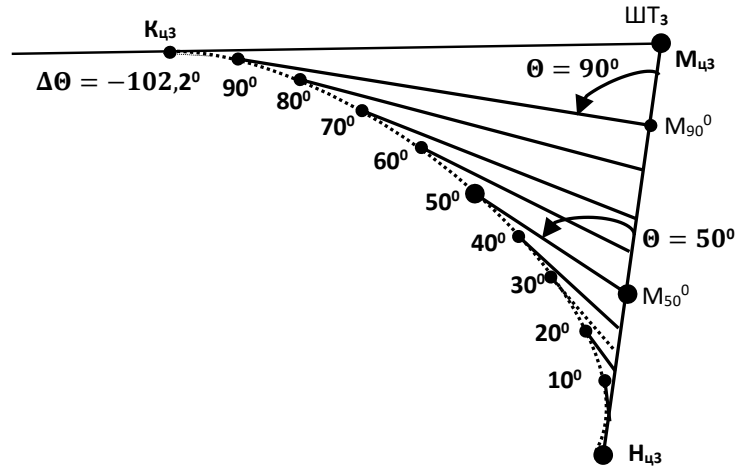
Надалі розраховують координати точок прямолінійної траєкторії від початкової  $|\phi_0, \lambda_0|$  до першої точки початку повороту  $|\phi_{нц1}, \lambda_{нц1}|$  і формують масив ТТ у вигляді першої шляхової матриці. Розрахунок точок виконують за формулами письмового числення, до п'ятого знаку хвилини і з наступним округленням до чотирьох. Така точність необхідна в зв'язку з малою відстанню між точками, що визначає положення центра ваги і високою точністю визначення місця судна супутниковими системами в диференціальному режимі, коли радіальна середньоквадратична похибка (СКП) досягає значення  $\pm 2$  метри.

За значенням кута повороту  $\Delta\theta = -102,2^{\circ}$  назначають кут перекладки руля і вибирають його рівним  $15^{\circ}$  при  $\Delta\theta_i > 60^{\circ}$ . Для визначеного кута перекладки із таблиці характеристик повороткості вибирають значення  $\ell_1, \ell_2, D_T, D_y$ , за якими визначаються координати точок



криволінійної траєкторії і отримані дані вводять в пам'ять комп'ютерної програми «Path Planning IS» [3].

З урахуванням вищевикладеного алгоритму роботи судноводія при плануванні шляху ТТ з інтервалом  $\Delta S$  кбт, в умовах якірної стоянки обмеженого простору, буде наступним [14], як показано на рис. 2, 3.



**Рис. 3.** Графічний алгоритм розрахунку і побудови криволінійного шляху ТТ для ШТЗ.

1. На карті наносять ШТ району якірної стоянки і результати прокладки та заносять їх в табл. 1.

2. Визначають параметри маневрування, такі як кути повороту  $\Delta\theta \rightarrow$ ; і вибирають кути перекладки руля  $\delta$  для кожної ШТ маршруту та розраховують кути повороту  $\Delta\theta_i$  за формулою:

$$\Delta\theta_i = IK_{i+1} - IK_i, \quad (7)$$

- вибирають кут перекладки  $\delta_{\text{вх}}$  з урахуванням вище приведених рекомендацій.

Координати криволінійних ділянок для матриць  $M_{\text{п1}}, M_{\text{п2}}, M_{\text{п3}}$  розраховують через кут  $\Delta\Delta\theta = 10^\circ$ . Заданий інтервал шляху для прямолінійних ділянок та матриць  $M_{01}, M_{12}, M_{23}, M_{\text{г}}$  необхідно вибирати з урахуванням похибки визначення місця і району плавання – відкрите море або стиснені води. У відкритому морі рекомендується призначити  $\Delta S = 1 \rightarrow$  кбт, а в умовах обмеженого простору до  $\Delta S = 0,1$ кбт.

Подальший алгоритм розрахунку буде наступним:

- визначають кут повороту із 1-ої до 2-ої ШТ  $\Delta\theta_i = 47^\circ$ ;
- вибирають кут перекладки руля за вище приведеними рекомендаціями  $\delta_{\text{вх}}=10^\circ$  і кут повороту  $\Delta\theta_i = 10^\circ$ ;
- визначають число точок криволінійної траєкторії  $n = 47/5 = 9$ ;
- вибирають із таблиці характеристик повороткості для кута перекладки  $\delta_{\text{вх}} = 10^\circ$  значення  $\ell_1 = 4,22$  кбт і  $D_{\text{т}} = 6,79$  кбт;
- розраховують значення відрізків МН і МК за формулами:

$$\text{МН} = \ell_1 - \frac{D_{\text{т}}}{2} + \frac{D_{\text{т}}}{2} \text{tg} \frac{\Delta\theta_i}{2}. \quad (8)$$

$$\text{МК} = \frac{D_{\text{т}}}{2} \text{tg} \frac{\Delta\theta_i}{2}. \quad (9)$$

Розрахунок відрізків необхідно виконувати до третього знаку в кабельтових, з наступним заокругленням до другого. За координатами ШТ і відрізками МН і МК комп'ютерна програма «Path Planning IS» розраховує криволінійні і прямолінійні ТТ точки, які приведені в табл. 2.

**Таблиця 2.** Траєкторні точки постановки на якір в порту Хайфа на якірній стоянці «В4» для т/х «Frederik»

Номер точки	Широта $\phi$	Довгота $\lambda$	Відстань $S$ , морські милі	Курс в наступну точку	Примітка
0	32° 51,78' N	034° 59,04' E	0,1	067°	Початок маневру
1	32° 51,78' N	034° 59,16' E	0,1	067°	-
2	32° 51,84' N	034° 59,28' E	0,1	067°	-
3	32° 51,90' N	034° 59,40' E	0,1	067°	-
4	32° 51,96' N	034° 59,58' E	0,1	067°	-
5	32° 51,90' N	034° 59,70' E	0,1	111°	-
6	32° 51,90' N	034° 59,82' E	0,1	111°	-
7	32° 51,84' N	034° 59,94' E	0,1	111°	-
8	32° 51,78' N	035° 00,06' E	0,1	111°	-
9	32° 51,78' N	035° 00,12' E	0,1	111°	-
10	32° 51,72' N	035° 00,24' E	0,1	111°	-
11	32° 51,72' N	035° 00,36' E	0,1	111°	-
12	32° 51,66' N	035° 00,54' E	0,1	110°	-
13	32° 51,78' N	035° 00,60' E	0,1	008°	-
14	32° 51,84' N	035° 00,60' E	0,1	008°	-
15	32° 51,96' N	035° 00,60' E	0,1	008°	-
16	32° 52,08' N	035° 00,60' E	0,1	008°	-
17	32° 52,14' N	035° 00,66' E	0,1	007°	-
18	32° 52,20' N	035° 00,66' E	0,1	354°	-
19	32° 52,20' N	035° 00,60' E	0,1	266°	-
20	32° 52,20' N	035° 00,54' E	0,1	266°	-
21	32° 52,14' N	035° 00,30' E	0,1	266°	-
22	32° 51,78' N	034° 59,04' E	-	-	Постановка на якір

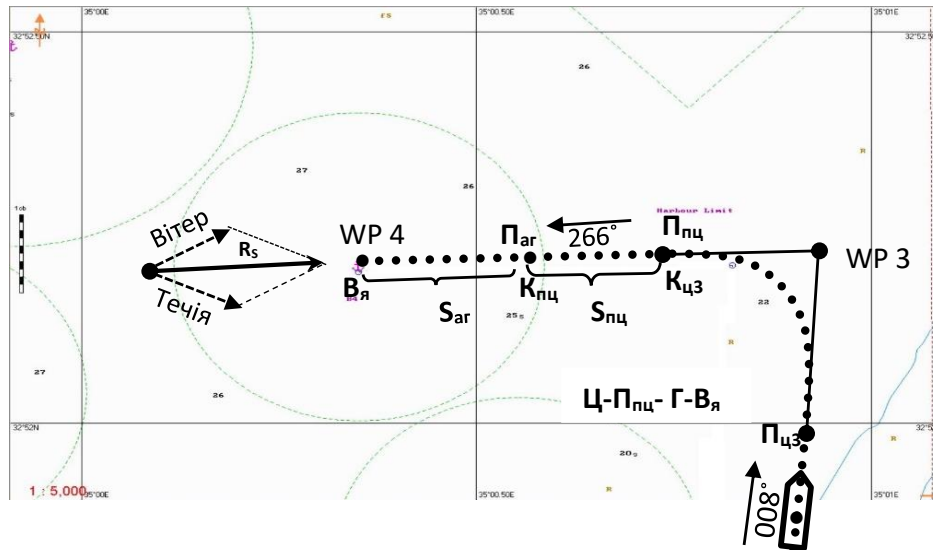
Для контролю за проходженням по криволінійній траєкторії встановлюють допустиме значення  $d_{\text{доп}}$ , при якому необхідно коригувати рух. Його значення рекомендується призначати за величиною радіальної середньоквадратичної похибки (СКП) визначення місця судна, постійною часу затримки повороту і величиною зони нестійкості діаграми управляємості, з урахуванням швидкості ходу. Значення  $d_{\text{доп}}$  можна визначити за формулою:

$$d_{\text{доп}} = M_0 + V \cdot t_3 \cdot \sin \phi(t), \quad (10)$$

де  $M_0$  – радіальна СКП визначення місця судна;  $t_3$  – час запізнювання в обробці інформації в системі;  $\phi(t)$  – кут ризику;  $V$  – швидкість руху судна.

Схема маневрування при постановці на якір, яка приведена на рис. 2 являється оптимальною з точки зору затрат часу, оскільки зразу після закінчення циркуляції виконується гальмування. Коротко цю частину маневрування можна описати так: «циркуляція – гальмування – віддача якоря, Ц-Г-В<sub>я</sub>» (рис. 2). Але такий спосіб менш надійний, так як у

судноводія немає часу для оцінки положення судна відносно точки віддачі якоря. Для більшої безпеки необхідно ввести після закінчення повороту *етап прицілювання*, що дозволить більш точно вийти в точку віддачі якоря, як показано на рис. 4. Коротко цю частину маневрування можна описати так «циркуляція – прицілювання – гальмування – віддача якоря, Ц-П<sub>пц</sub>-Г-В<sub>я</sub>».



**Рис. 4.** Фрагмент схеми руху при постановці на якір з етапом прицілювання

Тоді формула (1) прийме вигляд, з урахуванням етапу прицілювання:

$$M_{\Sigma} = M_{01} + M_{п1} + M_{12} + M_{п2} + M_{23} + M_{п3} + M_{пц} + M_{Г}. \quad (11)$$

Для підготовки судна при виконанні постановки на якір під час кібератак ми запропонували ввести в систему управління маневруванням захищений від кібератак навігаційний кластер. В нього надходить, за екранованими кабельними лініями, які є захищеними від кібератак, інформація з аналізатору стану навігаційних приладів ходового містка. Крім того, в навігаційний кластер введено запам'ятовуючий пристрій, в якому зберігаються всі схеми планування постановки на якір в рейсовому циклі. Вони повинні формуватися після закінчення планування рейсу і використовуватися при необхідності виконання морської операції для постановки на якір в звичайних умовах та під час кібератак.

При виникненні кібератак система управління маневруванням автоматично переводить із штатного режиму в режим обсерваційного зчислення, за станом навігаційних приладів містка [15]. Блок схему аналізатора приведено на рис. 5.

Після приведення всіх приладів в робочий стан, система автоматично перемикається на штатний режим управління маневруванням при постановці на якір.

Велике значення при постановці на якір має точність розрахунку координат руху та врахування запасу води під кілем на шляху руху судна та в місці віддачі якоря [16]. Оскільки координати точки постановки на якір та радіус безпечної якірної стоянки суворо задані при її проектуванні, нанесені на карті і сповіщаються судноводію лоцманською станцією, то у нього виникає потреба у високоточному плануванні шляху руху при цьому.

Така точність залежить від коректного вибору проміжних точок, оскільки кінцева і проміжна точки відомі, а сумарний вектор впливу вітру і течії, який визначено судноводієм впливає на вибір їх координат. Крім того, глибина моря суттєво впливає на точність розрахунку шляху, так як вона визначає параметри поворотності для даного випадку.

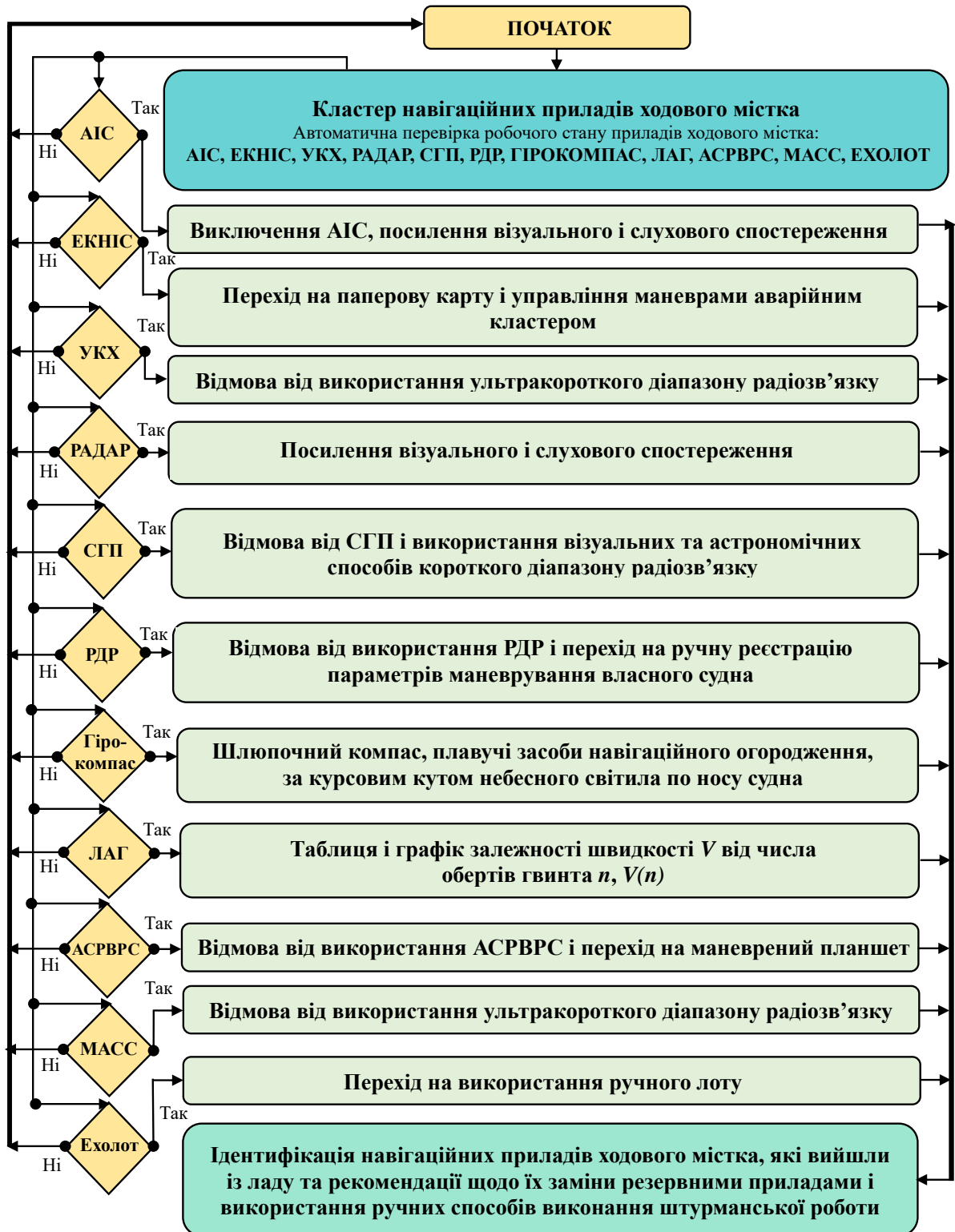


Рис. 5. Структурна схема аналізатора стану навігаційних приладів ходового містка

Скорочення: AIS (AIS) – автоматична ідентифікаційна система; EKNIC (ECDIS) – електронна картографічна навігаційна інформаційна система; UKX – використання ультракоротких хвиль для радіозв'язку; РАДАР (RADAR) – радіолокатор для виявлення об'єктів навколо судна; СГП (GPS) – система глобального позиціонування; РДР (VDR) – реєстратор даних рейсу; ГІРОКОМПАС (GYRO COMPASS) – пристрій визначення напрямку осі обертання гіроскопа, який надає більш точні відомості, ніж магнітний компас; ЛАГ –

прилад для вимірювання швидкості; АСРВС (ARPA) – автоматизована система радіолокатора для визначення руху суден; МАСС – селекторний блок міжнародної автоматизованої системи сповіщення про навігаційну та метеорологічну інформацію; ЕХОЛОТ – селекторний блок вимірювання глибини акваторії.

Використовуючи методику розрахунку коефіцієнтів мілководдя, яку наведено в роботі [17], були розраховані параметри повороткості для т/х «Frederik» при постановці на якірну стоянку «В4» в порту Хайфа, які наведено в табл. 3 для  $H/T = 1,1-\infty$ .

**Таблиця 3.** Залежність параметрів циркуляції т/х «Frederik» в вантажі для кута перекладки руля  $\delta = 35^\circ$

$H/T$	$V_c$ , вуз	$\ell_1$ , кбТ	$\ell_2$ , кбТ	$D_m$ , кбТ	$D_y$ , кбТ
1,1	8,34	4,99	2,91	6,30	6,31
1,2	8,11	4,58	2,56	5,83	5,73
1,3	7,38	4,31	2,19	4,80	4,79
1,4	7,14	4,17	2,04	4,62	4,37
1,5	6,74	4,06	1,95	4,22	4,04
1,6	6,37	4,00	1,84	3,98	3,62
1,7	6,02	3,92	1,78	3,81	3,3
1,8	5,69	3,89	1,75	3,68	3,07
1,9	5,47	3,85	1,71	3,62	2,85
2,0	5,27	3,84	1,67	3,54	2,75
$\infty$	4,38	3,48	1,36	3,23	2,67

Виконаний нами аналіз приведених параметрів повороткості показує, що зменшення запасу води під кілем значно збільшує параметри повороткості, тому необхідно враховувати ступінь мілководдя  $H/T$  при плануванні постановки на якір.

Введення захищеного від кібератак навігаційного кластера та використання планових координат для контролю руху при маневруванні для постановки на якір, а також використання обсерваційного зчислення, з періодичним контролем місця за береговими орієнтирами, дозволяє підвищити навігаційну безпеку до допустимого рівня в умовах кібернетичних ризиків [18-19].

## 7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Для зменшення рівня впливу навігаційних і кібернетичних ризиків, необхідно виконувати розрахунок координат шляху ТТ з урахуванням запасу води під кілем та його впливу на характеристики повороткості, при плануванні координат шляху для фактичного якірного місця. Також доцільно використання методів імітаційного моделювання, для врахування впливу аварійно-небезпечних ділянок на процес планування і постановки на якір, якщо такі ділянки існують в районі маневрування. За цією причиною необхідно додатково розробити рекомендації з використання навігаційного обладнання при кібератаках.

## 8. Висновки

1. Для високоточного планування координат шляху при постановці на якір при навігаційних і кібернетичних ризиках необхідно:

- виконати вибір проміжних точок, оскільки кінцеву точку постановки на якір визначає лоцманська станція, а початкова знаходиться в точці початку маневрування для постановки на якір;

- скласти таблицю шляхових точок (ШТ) і розрахувати за нею параметри маневрування, такі як: істинний курс із попередньої в наступну  $IK$ ; відстань від попередньої  $ШТ$  в наступну, відстань  $S$  – морські милі; кут повороту курсу  $\Delta\theta^0$ ; кут перекладки руля  $\delta^0$ ; запас води під кілем  $H/T = 2,0$ ;

- за даними таблиці ШТ розрахувати в комп'ютерній програмі «Path Planning IS» криволінійні та прямолінійні траєкторні точки (ТТ) і нанести їх на карту, як показано на рис. 2.

Використання таких методів, як таблиці шляхових точок, при врахуванні геометрії навігаційної акваторії для маневрування, визначення характеристик повороткості для  $H/T = 2,0$  та високоточне планування координат руху матрицями ТТ, дозволило рекомендувати судноводіям оперативно визначати траєкторію руху при постановці на якір. Така організація процесів навігаційного містка забезпечить підготовку судна і екіпажу для роботи під час проходження аварійно-небезпечних ділянок в умовах навігаційних і кібернетичних ризиків, управляючи ними на допустимому рівні [20].

2. Розроблені алгоритми і системи управління дозволяють використовувати системи підтримки прийняття рішень при маневруванні, які виконують автоматичний контроль допустимих відстаней до навігаційних небезпек і дозволяють своєчасно виявляти недопустимі відхилення та коригувати їх значення.

3. Подальші наукові роботи в цьому напрямку повинні бути направлені на удосконалення систем підтримки прийняття рішень у режимі реального часу, під час маневрування для постановки на якір та з врахуванням ймовірності впливу навігаційних і кібернетичних ризиків [21-25].

---

#### Список літератури:

1. 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>
2. 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>
3. Мальцев А. С., Сурінов 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. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1792938/>
4. Argüello, G., Krabbe, N., Langlet, D., Hassellöv, I. M., Martinson, C., & Helmstad, A. (2022). Regulation of ships at anchor: Safety and environmental implications. Marine Policy, 140, 105052.
5. Jajac, N., Kilić, J., & Rogulj, K. (2018). An integral approach to sustainable decision-making within maritime spatial planning—A DSC for the planning of anchorages on the island of Šolta, Croatia. Sustainability, 11(1), 104. <https://doi.org/10.3390/su11010104>
6. LEE, S. Safety Evaluation of Ship Operation in Coastal Area in terms of Optimal Ship Routing: doctoral dissertation: 01.09.2023. Kobe University Repository: Kernel. 2023. 162 c. <https://da.lib.kobe-u.ac.jp/da/kernel/0100477899/D1008473.pdf>, <https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100477899>
7. Lee, S. W., Sasa, K., Chen, C., Waskito, K. T., & Cho, I. S. (2022). Novel safety evaluation technique for ships in offshore anchorage under rough seas conditions for optimal ship routing. Ocean Engineering, 253, 111323. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111323>.
8. Zhao, J., Zhou, C., Li, Z., Xu, Y., & Gan, L. (2023). Optimization of anchor position allocation considering efficiency and safety demand. Ocean & Coastal Management, 241, 106644. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106644>.
9. Bittman, D. (2023). Anchor Use in Maneuvering. URL: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/794716/Bittman\\_Daniel.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/794716/Bittman_Daniel.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

10. Gabriela Argüello, Niels Krabbe, David Langlet, Ida-Maja Hassellöv, Claes Martinson, Astrid Helmstad, Regulation of ships at anchor: Safety and environmental implications, *Marine Policy*, Volume 140, 2022, 105052, ISSN 0308-597X, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105052>.
11. Wnorowski, J., & Łebkowski, A. (2023). Determination of Anchor Drop Sequence during Vessel Anchoring Operations Based on Expert Knowledge Base and Hydrometeorological Conditions. *Electronics*, 13(1), 176.
12. Yansheng, Y. (2021). Study on ship manoeuvring mathematical model in shiphandling simulator. In *Marine Simulation and Ship Manoeuvrability* (pp. 607-615). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203748077>
13. Rutkowski, G. (2019). Analysis of Human Errors Related to Many Marine Accidents Occurring While Anchoring and Manoeuvring at an Anchorage. *Scientific Journal of Gdynia Maritime University*, 1(112), 45–59. <https://doi.org/10.26408/112.04>
14. Мальцев, А. С. Побудова криволінійних траєкторій маневрування методом відрізків. In *The 9 th International scientific and practical conference «Science, innovations and education: problems and prospects»* (April 6-8, 2022) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan, 2022. 580 p. (p. 152).
15. 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/>
16. Мальцев А. С., Суринов І. Л. Спосіб навігаційної підготовки та управління маневруванням судна при заході/виході з порту : пат. МПК(2024.010) B63H 25/00 G05D 1/40 (2024.01) ; № а202104599 ; заявл. 09.08.2021 ; опубл. 24.04.2024, Бюл. № 17/2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1609779/>
17. Мальцев А.С. Методологічні засади маневрування суден при зближенні. Монографія. / А. С. Мальцев, В. В. Голиков, І. В. Сафін, В. В. Мамонтов.// – Одеса.: ОНМА, 2013. – 218 с.
18. Maltsev A., Surinov I., Shumilova K. Selection of waypoints for planning the ship's voyage cycle // *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/>
19. 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>
20. Shumilova K. (2022). Classification of navigational risks of the ship's voyage cycle. *The Scientific Heritage*, 95, 52-72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7014246>.
21. Symes, S., Blanco-Davis, E., Graham, T. et al. Cyberattacks on the Maritime Sector: A Literature Review. *J. Marine. Sci. Appl.* (2024). <https://doi.org/10.1007/s11804-024-00443-0>
22. Onishchenko O., Shumilova K., Volyanskyu S., Volyanskaya Y., Volianskyi Y.: Ensuring Cyber Resilience of Ship Information Systems. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 16, No. 1, doi:10.12716/1001.16.01.04, pp. 43-50, 2022.
23. Шумілова, К. (2022). Систематизований підхід до класифікації навігаційних ризиків рейсового циклу морського судна. *Scientific Collection «InterConf+»*, (24(121), 337–358. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.08.2022.032>.
24. Shumilova K.V. Реалізація стратегії кібербезпеки в системі управління безпекою судна. // *Науково-технічний збірник «Судноводіння» / «Shipping & Navigation»*. – Одеса: НУ «ОМА», 2021, Випуск 31, С. 99-107. ISSN 2306-5761 | 2618-0073. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.99-107>.

25. Шумілова К., Шумілов Д. Технологічні ризики при маневруванні морського судна в рейсовому циклі. Monograph. – Primedia eLaunch, Boston, USA, 2024. – 203 p. <http://dx.doi.org/10.46299/979-8-89480-95-2>, <https://isg-konf.com/979-8-89480-695-2/>

---

## **Planning of motion coordinates and maneuvering control of a marine vessel when anchoring under cybernetic risk**

**Dmytro Shumilov**

National University «Odessa Maritime Academy», Educational and Scientific Institute of Navigation, Odessa, Ukraine  
ORCID: 0009-0009-6242-8620

---

**Abstract:** When performing voyage cycles of a marine vessel, one of the most common maneuvering operations is anchoring. A feature of this operation is the requirement for its execution in a strictly defined place by the port of call, as a rule, in an outer roadstead open to the action of the wind, in which the direction of the current is not always known. In addition, in addition to navigational risks, cybernetic risks have also appeared. Being different in the nature of their occurrence from navigational ones, they have the ultimate goal of causing a navigational accident, causing significant damage to the vessel, leading to the loss of cargo or financial losses to its ship-owner. The basis for the formation of meaningful and mathematical models of maneuvering during anchoring is the graphical method of displaying the coordinates of movement in an inverse way, the method of preparing a table of waypoints and calculating maneuvering parameters. When preparing for the ship's voyage cycle, using the table and data on maneuvering characteristics, the certified computer program «Path Planning IS» automatically calculates the matrices of coordinates of trajectory points and stores them in a navigation cluster protected from cyber-attacks. These data are used only after arriving at the anchorage, during the influence of cyber-attacks or for anchoring under normal conditions. It has been established that this method of planning the coordinates of the path during maneuvering for anchoring and storing data in a navigation cluster protected from cyber-attacks during the voyage allows organizing navigational cyber security. The theoretical aspect of the research allows us to assert that the decisive role in the formation of the competence of practicing ship-owners is laid in the methodology of using digital automated complexes and training manuals, which ensures the training of the ship's crew for work in conditions of cybernetic risks and the organization of navigational safety of maneuvering when anchoring.

**Keywords:** anchorage; cybernetic risks; inverse method of graphical representation of movement coordinates; table of waypoints; high-precision method of planning movement coordinates; navigation cluster; maneuvering safety; navigational cybersecurity; anchoring.

---