

10.31653/smf50.2025.80-92

Муравйов Г.М., Шумілова К.В., Мальцев А.С.

Національний університет «Одеська морська академія»

УДОСКОНАЛЕНА ЗМІСТОВНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ КООРДИНАТ ПЕРЕХОДУ АВТОНОМНОГО СУДНА В РЕЙСОВОМУ ЦИКЛІ НА ОБШИРНОМУ МІЛКОВОДДІ

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Еволюція розвитку морських автономних надводних суден (MASS – marine autonomous surface ship) принесла значний прогрес у морській автоматизації перевезень вантажів, використовуючи штучний інтелект (AI – artificial intelligence) для підвищення точності планування координат маневрування в рейсовому циклі та ефективності управління його переходом.

Незважаючи на ці досягнення, складність мілководних середовищ, таких як непередбачувані коливання глибин, підводні перешкоди та підвищений гідродинамічний опір, залишається постійною проблемою. Навігація на мілководді має вирішальне значення для операцій у прибережних регіонах, внутрішніх водних шляхах і портах, де безпечне та ефективне маневрування має першорядне значення.

Автономні моделі суден переважно були оптимізовані для глибоководних умов, тому важко адаптувати їх до складних вимог мілководдя. У цих середовищах автономні судна повинні адекватно коригувати свій курс і швидкість у відповідь на непередбачувані гідродинамічні сили, близькість морського дна та наявність навігаційних небезпек, таких як піщані мілини, скелі та занурені уламки. Крім того, ці регіони часто потребують ретельного навігаційного контролю через близькість навігаційних небезпек, високу щільність руху, вузькі канали та швидку зміну факторів навколишнього середовища, таких як припливи та течії. Основною метою цього дослідження є розробка покращеної моделі планування координат переходу, яка точно відображає рейсовий цикл автономних суден на мілководді. Ця модель включає вдосконалене гідродинамічне моделювання, обробку даних у реальному часі та керовані штучним інтелектом алгоритми прийняття рішень, розроблені для оптимізації стратегій руху судна та управління ризиками в реальних сценаріях мілководдя.

Модель розглядає швидкісне просідання судна, яке збільшується на мілководді за рахунок зменшення запасу води під кілем судна та його швидкості. Враховуючи такі фактори, модель покращує маневреність судна, одночасно забезпечуючи економію палива та екологічну стійкість. Ключовою інновацією в цьому дослідженні є інтеграція методів тренажерного навчання, які дозволяють автономному судну вивчати та адаптувати свою поведінку на основі даних про навколишнє середовище, зібраних у режимі реального часу. Ця адаптивна структура дозволяє судну прогнозувати та зменшувати ризики, пов'язані з рухом на мілководді, через несподівану появу та необхідність уникнення підводних небезпек.

Використання запропонованої удосконаленої змістовної моделі планування координат для обширного мілководдя, при належному використанні автоматичної системи підтримки прийняття рішень з маневрування, дозволяє значно підвищити навігаційну безпеку переходу автономних суден на мілководді, що визначає актуальність поставленої проблеми.

Об'єкт дослідження: процес планування координат переходу в рейсовому циклі автономного судна в умовах плавання на мілководді.

Предмет дослідження: спосіб оптимізації маршруту автономного судна в режимі реального часу для планування координат руху в рейсовому циклі на обширному мілководді.

Запит практики: підвищення навігаційної безпеки переходу судна та мінімізації ризику виникнення морських аварій для забезпечення безаварійного переходу автономних морських суден в рейсовому циклі у мілководних регіонах, в тому числі при навігаційних і кібернетичних ризиках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Пошкодження програмного забезпечення електронних навігаційних систем і приладів морського судна виникає через інтенсивне зростання кібератак, які створюють міжнародні кіберзлочинці, що призводить до значних проблем в судноплаванні [1]. Такі джерела небезпеки характеризуються кількісними та якісними параметрами, які впливають не тільки на навігаційну безпеку, але й викликають передаварійний стан судна. Причиною виникнення навігаційних і кібернетичних ризиків є відсутність інформації про вірогідність їх появи, коли екіпаж судна терміново змушений перейти на аварійне управління маневруванням. Такий перехід починається із планування

координат шляху в рейсовому циклі траєкторними точками (ТТ), та визначення аварійно-небезпечних ділянок, шляхом пошуку таких, де сталися аварії в минулому або аналізу навігаційного забезпечення шляху переходу методом скріншоту.

В роботі [1] розроблено змістовну модель планування координат шляху та способи управління навігаційними ризиками. Рекомендується постійне використання розглянутої системи контролю за бічним зсувом і шириною маневреної полоси, для своєчасного коригування недопустимих значень індивідуальних навігаційних параметрів виконуваної морської операції, при компенсації відхилення від планового шляху. В той же час в роботі не розглянуто вплив мілководдя при русі судна з малим запасом води під кілем в каналах, на фарватерах, в припортових акваторіях та при заході/виході із порту, коли запас води під кілем суттєво впливає на точність планування шляху ТТ і управління маневруванням при морських операціях.

Поглиблене дослідження кіберризиків, які виникають під час рейсового циклу морського судна розглянуто в статті [2]. Такий підхід дозволяє розділити рейс на конкретні етапи: планування координат переходу ТТ; відхід із порту початку рейсового циклу; захід в порт; перехід, під час якого виконуються різноманітні морські операції, включаючи постановку на якор, розходження, рух на мілководді, рух в умовах кібернетичних атак та ін.

Аналіз роботи ММО і Великобританії з удосконалення законодавства для регулювання нормативних актів, які пов'язані з проблемами кібербезпеки морських автономних надводних суден (MASS) приведено в роботі [3]. Він підкреслює унікальні ризики, пов'язані з впровадженням суден без екіпажу і наголошує на необхідності комплексних міжнародних механізмів для захисту цих суден від кіберзагроз.

Розвиток морської кібербезпеки, на основі систематичного огляду наукової літератури представлено в роботі [4]. Встановлено причини появи впливу кіберзлочинців на процес роботи морських суден та значний вплив на суднові навігаційні прилади і зв'язок між ними.

Систематизований огляд взаємодії людини та систем штучного інтелекту, які використовуються при експлуатації автономних суден розглянуто в роботі [5]. Зазначається, що люди-оператори берегових центрів дистанційного управління і контролю за рухом суден взаємодіють із складними автономними системами, які використовуються на цих суднах. Виконано аналіз еволюції таких систем та

контроль оператором параметрів автоматичного руху та роботи систем на основі штучного інтелекту у реальному часі та управління їх помилками при необхідності.

Взаємодію при розходженні між звичайними морськими суднами з екіпажем і автономними суднами, розглянуто в роботі [6]. Показано, що вирішальне значення при взаємодії оператора дистанційного управління і капітана судна має чітке спілкування та розуміння намірів кожного із них. Прозорість експлуатації автоматичного судна забезпечується чітким дотриманням міжнародних правил плавання і розходження, що визначає його процеси та послідовність робочих етапів. Отже, виникає необхідність розробки інформаційних систем для автономних суден, які повинні повідомляти про наміри зміни параметрів маневрування у зрозумілій капітану формі, забезпечуючи безперебійну взаємодію між звичайними суднами та автономними – без екіпажу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Головне завдання: розробка удосконаленої змістовної моделі планування координат переходу автономного судна в рейсовому циклі в умовах обширного мілководдя.

Основна мета – забезпечення високого рівня планування і контролю маневрування автономного судна, навіть у випадках кібернетичних атак. Для цього вдосконалено інноваційну модель планування координат руху в рейсовому циклі траєкторними точками, яка враховує вплив мілководдя на маневрені характеристики судна, при розрахунку координат переходу. Це дозволяє забезпечити підвищення точності їх розрахунку ТТ і використовувати методи динамічного позиціювання для оперативного контролю бічного зсуву.

Мета дослідження потребує виконання наступних завдань:

- розробка ефективної моделі планування координат автономного судна в умовах мілководдя, з урахуванням кібернетичних загроз, яка вимагає системного підходу;
- удосконалення змістовної моделі планування координат ТТ, яка передбачає організацію рейсового циклу з використанням ретельного аналізу навігаційної безпеки за методом пошуку аварійно-небезпечних ділянок, в яких сталися аварійні випадки в минулому або методом скріншоту;
- використання методів оперативного переходу на обсерваційне зчислення при появі кібератак, що забезпечує аварійне управління маневруванням.

Методи дослідження.

При розрахунках координат шляху при плаванні на обширному мілководді використовувалися рівняння нерозривності Бернуллі та емпіричні моделі врахування впливу ступені мілководдя на маневрені характеристики судна, просідання та втрату швидкості.

При розрахунках вірогідної ширини маневреної полоси на постійному курсі та при криволінійних траєкторіях використовувалися дані про зону нестійкості діаграми управляємості судна, точність суднових навігаційних приладів для вимірювання навігаційних параметрів та її відповідність до радіальної середньоквадратичної похибки (СКП), згідно вимог ММО – з 95% вірогідністю і положення центру ваги та абсциси полюсу повороту, для визначення ширини маневреної полоси при криволінійному русі.

Для підтримки допустимого рівня навігаційних ризиків, перед виходом в рейсовий цикл із складними навігаційними навантаженнями на головний двигун, необхідно виконати позачерговий технічний огляд та ретельно задокументувати факт і зміст операцій його проведення в судновому та машинному журналах. Однак при цьому виникає цілий ряд проблем, включаючи точність планування координат на мілководді, значний негативний вплив мілководдя на дистанційну систему автоматичного управління, а також вплив на її роботу кібернетичних атак. Тому необхідно створити удосконалену змістовну модель, яка б враховувала зазначені вимоги. Така модель повинна враховувати наступне: ретельний вибір координат безпечних ШТ на геодезичних лініях карти або рівновіддалених від навігаційних небезпек; ширину суднохідної частини в районі ШТ, яка враховує розширення ширини маневреної полоси на повороті, приблизно на 35%; наявність аварійно-небезпечних ділянок на переході, які визначаються пошуком районів переходу, в яких сталися аварійні випадки в минулому, або аналіз навігаційного обладнання на шляху переходу для пошуку небезпечних ділянок методом скріншоту [7-9].

Після цього формується таблиця ШТ переходу, в якій розраховується: ІК із попередньої ШТ в наступну; відстань S із попередньої ШТ в наступну; координати ШТ переходу, кут повороту $\Delta\theta_i$, кут перекладки руля δ , та ступінь мілководдя H/T (відношення глибини моря під кілем H і середньої осадки T на мідель шпангоуті), які приведено в табл. 1.

Таблиця 1. Шляхові точки переходу судна «Yara Birkeland» з порту Вілмінгтон до порту Маркус Хук

№ ШТ	ІК°	Широта φ	Довгота λ	Відстань S , миль	Кут повороту $\Delta\theta_i$	H/T	Кут пере- кладки керма δ
0	-	39° 43.09 N	075° 31.24 W	0.00	-	1.42	-
1	104	39° 43.05 N	075° 31.05 W	0.15	2	1.42	5
2	111	39° 42.88 N	075° 30.44 W	0.5	96	1.42	15
3	017	39° 44.22 N	075° 30.07 W	1.3	60	1.42	15
4	021	39° 44.49 N	075° 29.88 W	0.3	5	1.42	5
5	031	39° 44.97 N	075° 29.55 W	0.6	15	1.42	5
6	035	39° 46.43 N	075° 28.14 W	1.8	52	1.43	10
7	041	39° 47.20 N	075° 27.22 W	1.1	35	1.43	10
8	051	39° 47.43 N	075° 26.79 W	0.4	45	1.44	10
9	057	39° 48.23 N	075° 25.09 W	1.98	0	1.45	0
10	023	39° 48.47 N	075° 24.95 W	0.00	27	1.45	5

Для досягнення поставленої мети в статті було використано систему підтримки прийняття рішень (СППР) шляхом інтеграції нових функціональних можливостей у навігаційну систему OpenCPN. Це вдосконалення враховує визначення маневрених характеристик судна для поточного стану завантаження в рейсовому циклі, геометричне розташування портової суднохідної акваторії, шляхом визначення безпечних координат ШТ, погодні умови та системи управління рухом [1].

Запропоновані рішення реалізовані через використання плагіну «Path Planning IS», інтегрованого в OpenCPN, що дозволяє автоматизувати процес розрахунку координат ТТ для планування руху в рейсовому циклі.

Для розрахунку інерційно-гальмівних характеристик було використане диференційне рівняння (1), яке при прямолінійному русі записується так:

$$(m + \lambda_{11}) \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \cos \alpha_n + c_x \rho v^2 \cdot S_K / 2 \pm P_e = 0, \quad (1)$$

де P_e – сила упору гвинта; m – маса судна; λ_{11} – приєднані маси корпусу судна по осі X ; v – швидкість судна відносно води; α_n – кут дрейфу при повороті; c_x – безрозмірний коефіцієнт по осі X ; ρ – ма-

сова щільність води; S_K – площа проекції корпусу судна на мідель-шпангоут.

При розв'язанні рівняння (1) було введено ряд припущень, які зазвичай приймають при цьому, тому що вони спрощують розрахунок шляху і часу гальмування і забезпечують точність, яка є необхідною згідно з вимогами нормативних документів України та ММО. Основні з припущень, які будемо використовувати далі, наступні:

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

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

$$m_x \cdot \frac{dv}{dt} + \kappa v^2 \pm P_e = 0 \quad (2)$$

3. Коефіцієнти опору води і повітря κ_n під час маневрування – постійні.

4. Упор гвинта в процесі активного гальмування змінюється за залежністю (3):

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

де $P_{\max}$ – значення сили упору гвинта в момент зупинки судна;

v_x – поточна швидкість;

v_n – швидкість в момент початку обертання гвинт на задній хід.

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

До характеристик управляємості відносяться два види параметрів – стійкості і повороткості. Стійкість на курсі характеризують наступні параметри: постійна часу затримки повороту $T(\delta)$; стійкість на курсі, критерій Q ; зона нестійкості $\pm \varpi_0$, $\pm \delta_{op}$; параметри отримання повороту, час $t_0(\delta)$ і кут перекладки керма $\theta_0(\delta)$.

До характеристик повороткості відносять геометричні параметри кривої циркуляції: висув $\ell_1(\delta)$; пряме зміщення $\ell_2(\delta)$; тактичний діаметр $D_m(\delta)$; діаметр сталої циркуляції $D_y(\delta)$; період циркуляції $T_y(\nu, \delta)$.

Особливістю великотоннажних суден являється доповнення до викладеного вище, а саме – необхідність розглядати додатково ще один параметр – зворотне зміщення $\ell_3(\delta)$. Для звичайних суден його, як правило, навіть не розглядають. Причиною тому є його невелике значення, яке порівняне з точністю траєкторних вимірювань. При призначенні режиму руху судна використовують умовний розподіл всієї потужності головного двигуна (ГД) на частини, рівні 0,7; 0,5; 0,3 від потужності повного переднього ходу ГД.

Для розрахунку маневрених характеристик автономних суден була використана комп'ютерна програма «DENIS-2», яка була розроблена для одnogвинтового судна та виконує побудову графіків для всіх видів гальмування.

Підтримання безпечного запасу води під кілем (UKC – Under Keel Clearance) стає першорядним завданням, яке вимагає постійного моніторингу глибини, припливів, хвиль і власної динаміки судна. Існуючі нормативні акти, які часто зосереджуються на уникненні зіткнень у відкритій воді, можуть не відповідати належним чином конкретним ризикам посадки на мілину в цих середовищах [1]. Після того, як визначені всі необхідні дані, виконується розрахунок за програмою «DENIS-2» для стану в вантажі і баласті та глибокої води і представляється в навігаційному комп'ютері у вигляді двох таблиць.

Після цього виконується інтерполяція даних про маневрені характеристики для поточного стану судна, і розраховуються коефіцієнти мілководдя для кожного елементу повороткості [10] за формулами (4):

$$\begin{aligned}\ell_1^{H/T} &= \ell_1^{ep} \cdot \kappa_{\ell_1}; \quad \ell_2^{H/T} = \ell_2^{ep} \cdot \kappa_{\ell_2}; \\ D_T^{H/T} &= D_T^{ep} \cdot \kappa_{D_T}; \quad D_y^{H/T} = D_y^{ep} \cdot \kappa_{D_y},\end{aligned}\quad (4)$$

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

Коефіцієнти мілководдя (5) представлено у вигляді лінійної регресії:

$$\kappa = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2, \quad (5)$$

де $x_1 = (T/H)$, а $x_2 = (T/H)^2$.

Результати виконаного обчислення використано у вигляді характеристик повороткості для автоматичного процесу розрахунку координат ТТ плану руху в рейсовому циклі за методом відрізків або перпендикулярів, шляхом використання плагіну «Path Planning IS» [10], інтегрованого в OpenCPN. Вони формуються у вигляді суми матриць прямолінійних і криволінійних ділянок шляху M_Σ . Після цього виконується прокладка на електронній навігаційній карті (рис. 1).

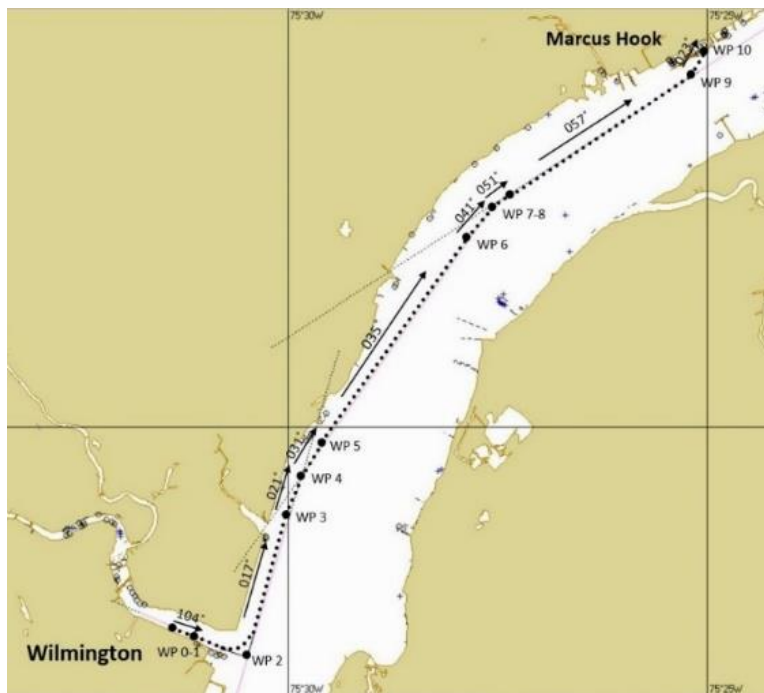


Рис. 1. Перехід судна «Yara Birkeland» з порту Вілмінгтон до порту Маркус Хук

При цьому сумарна матриця (6) координат траєкторних точок в процесі маневрування буде мати наступний вигляд:

$$M_{\Sigma} = M_{01} + M_{11} + M_{12} + M_{12} + M_{23} + M_{13} + M_{34} + M_{14} + M_{45} + M_{15} + \\ + M_{56} + M_{16} + M_{67} + M_{17} + M_{78} + M_{18} + M_{89} + M_{19} + M_{Г}. \quad (6)$$

Маневрені характеристики автономного судна т/х «Yara Birkeland» для глибокої води, які інтерпольовані на поточний стан в рейсовому циклі при відході із порту та уточнені на ступінь мілководдя, приведено в табл. 2.

Таблиця 2. Координати ШТ виходу з порту Вілмінгтон автономного судна «Yara Birkeland»

№ ШТ	К°	Широта φ	Довгота λ	Відстань S , миль	Кут повороту $\Delta\theta_i$	H/T	Кут перекладки керма δ
0	-	39° 43.09' N	075° 31.24' W	0.00	-	1.42	-
1	104	39° 43.05' N	075° 31.05' W	0.15	2	1.42	5
2	111	39° 42.88' N	075° 30.44' W	0.50	96	1.42	15

Запобігання кібернетичним загрозам передбачає ретельну підготовку резервного обладнання на містку та в машинно-котельному відділенні для оперативного використання за потреби.

Використання системи виявлення аномалій на основі штучного інтелекту, яка відстежує і аналізує дані в реальному часі, для виявлення моменту появи кібератак, дозволяє ініціювати превентивні контрзаходи для підготовки судна і операторів дистанційного контролю і управління маневруванням [11-12].

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Розробка високоточного руху траєкторними точками передбачає використання адаптивних алгоритмів для динамічного врахування факторів, таких як маневрені характеристики судна, вплив погодних умов, розташування перешкод і загрози цілеспрямованих кібератак, які можуть порушити роботу навігаційних систем. Це сприяє підтриманню допустимого рівня навігаційного та кібернетичного ризику для системи маневрування, навіть у випадках спроб порушити її функціонування [13-15].

Процес адаптації методу планування руху ТТ під час рейсового циклу потребує використання сучасних систем моніторингу параметрів навігаційної безпеки, включаючи радар, гідролокатор та багатоспектральні датчики індивідуальних параметрів навігаційних морських операцій. Ці інструменти в режимі реального часу відсте-

жують зміну параметрів руху судна та умов навколишнього середовища, таких як рельєф морського дна або поява нових підводних об'єктів та дозволяють своєчасно коригувати курс та швидкість судна, відповідно до їх впливу.

Подальші дослідження в цьому напрямі відкривають можливості для розширення використання автономних суден у мілководних регіонах з високою інтенсивністю руху, стиснених водах та при наявності ризиків кібернетичних загроз [16]. Таким чином, системний підхід до планування траєкторій для автономних суден в районах обширного мілководдя і використання систем підтримки прийняття рішень при маневруванні дозволяє забезпечити допустимий рівень навігаційної безпеки навіть у складних умовах навігаційних і кібернетичних ризиків [17].

Перелік використаних джерел

1. Шумілова К., Шумілов Д. Технологічні ризики при маневруванні морського судна в рейсовому циклі. *Primedia eLaunch*, Boston, USA. 2024. 203 p.
2. Shumilova K., Shumilov D., Maltsev A. Classification of Cyber Risks for Sea Vessel's Voyage Cycle. *Transactions on Maritime Science*. 2024. Vol. 13 (1). <https://doi.org/10.7225/toms.v13.n01.w20>.
3. Fenton A. J., Chapsos I. Ships without crews: IMO and UK responses to cybersecurity, technology, law and regulation of maritime autonomous surface ships (MASS). *Frontiers in Computer Science*. 2023. Vol. 5. 1151188.
4. Bolbot V., Kulkarni K., Brunou P., Banda O. V., Musharraf M. Developments and research directions in maritime cybersecurity: A systematic literature review and bibliometric analysis. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 2022. Vol. 39. – <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2022.100571>.
5. Veitch E., Alsos O. A. A systematic review of human-AI interaction in autonomous ship systems. *Safety science*. 2022. Vol. 152. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105778>
6. Porathe T. Interaction between Manned and Autonomous Ships: Automation Transparency. In *Proceedings of the 1st International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships*, Busan, Korea, 8-9 November 2018.
7. Мальцев А. С., Шумілова К. В., Шумілов Д. І., Муравйов Г. М. Система управління кібербезпекою маневрування морського суд-

на при рейсовому циклі : пат. МПК G08G 3/02 (2006.01) ; № a202300014 ; заявл. 03.01.2023 ; опубл. 09.08.2023, Бюл. № 32, С. 139-140. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1722440/>.

8. Мальцев А. С. Навігаційна система гарантованого безпечного керування маневруванням суден без екіпажу. *Науковий вісник ХДМА*. 2021. №1(24). С. 38-56.

9. Шумілова К. В., Мальцев А. С. Управління індивідуальними навігаційними ризиками рейсового циклу морського судна. *Судноводіння*. 2022. Вип. 33. С. 128-142. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.33.2022.128-142>.

10. Maltsev A. S. Navigation support for the process of managing the maneuvering of a sea vessel: maneuvering booklet. *Eliva Press*. 2023. 218 p.

11. Shumilov D. Planning of motion coordinates and maneuvering control of a marine vessel when anchoring under cybernetic risk. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2025. Vol. 4(1). P. 141-156. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250401.12>.

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

13. 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. P. 230-242.

14. Шумілова К. В. Розробка способу планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу судна. *Science and Education a New Dimension*. 2022. X(34), Issue 268. P. 23-31. <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-05>

15. Onishchenko O., Shumilova K., Volyanskyy S., Volyanskaya Y., Volianskyi Y.: Ensuring Cyber Resilience of Ship Information Systems. *TransNav*. 2022. Vol. 16. No. 1. P. 43-50. doi:10.12716/1001.16.01.04,

16. Шумілова К. В. Реалізація стратегії кібербезпеки в системі управління безпекою судна. *Судноводіння*. 2021. Вип. 31. С. 99-107. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.99-107>.

17. Шумілов Д. І., Шумілова К. В., Мальцев А. С. Система аварійного управління маневруванням морського судна в умовах кібернетичних атак : пат. МПК G08G3/02 ; № a202404034 ; заявл.

12.08.2024; опубл. 16.04.2025, Бюл. № 16/2025.
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1814442>.