

## TECHNICAL SCIENCES

### Розробка способу планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу судна

К. В. Шумілова

Національний університет «Одеська морська академія», Одеса  
Corresponding author. E-mail: yeshum@ukr.net

Paper received 12.04.22; Accepted for publication 14.05.22.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-05>

**Анотація.** Розроблено новий спосіб планування координат руху судна в складних умовах плавання. Виконано систематизацію видів навігаційних ризиків за різними ознаками, які існують в рейсовому циклі судна. Виконано аналіз видів ризиків на основі статистичних даних аварійності у двох каналах зі складними акваторіями і високою інтенсивністю судноплавства. Запропонований спосіб дасть можливість представити дані у компактному вигляді таблиць і дозволить судноводію швидко коригувати курс судна та підвищить навігаційну безпеку.

**Ключові слова:** планування навігаційних ризиків; маневрування; рейсовий цикл.

**Вступ.** Однією з найважливіших проблем морського судноводіння залишається забезпечення безпеки плавання суден в обмежених умовах. Відповідно до аналізу статистичних даних, близько 80% навігаційних аварій посідає на міжнародне судноплавство. Звільнити судноплавство від ризику навігаційної аварії практично неможливо. Наслідками морських аварій є техногенні та екологічні катастрофи. Одна навігаційна аварія для світового танкерного флоту завдає збитків близько 300 тисяч доларів США. Тому завдання пошуку причин таких наслідків для мінімізації виникнення навігаційних ризиків вказує на необхідність їх попереднього аналізу для вдосконалення контролю руху судна.

Для управління навігаційними ризиками рейсового циклу судна важливо контролювати навігаційні дані із сенсорних систем, умови району плавання, безпечний запас глибини під кілем та точність розташування судна та ін.

В сучасному судноплавстві морські переходи суден здійснюються на основі їх попереднього планування та прокладки за методикою нормативних документів Міжнародної морської організації (ММО). Проте, при їх виконанні відсутній етап аналізу ризиків та їх прогноз, що супроводжується наближеними розрахунками та різними похибками. Отже, попереднє прокладання матиме елементи невизначеності (у допустимих межах) з похибками систематичного та випадкового характеру.

Згідно з рекомендаціями Керівництва з несення вахти на містку (Bridge Procedures Guide, 5th Edition, 2016), при плануванні безпечного переходу і організації безаварійного руху судна пропонуються чотири стадії планування безпечного переходу і організації безаварійного руху: I. Оцінка (Appraisal). II. Планування (Planning). III. Виконання (Execution). IV. Контроль (Monitoring).

Ці стадії повинні виконуватись одна за одною, у порядку, викладеному вище. Отже, саме ці чотири стадії включені в документи (ММО): Керівництво з несення вахти на містку (Bridge Procedures Guide, 5th Edition), Керівництво командою містка, 2-е Видання (Bridge Team Management, 2nd Edition), Резолюція ММО А.

893 (21) – Керівництво з планування рейсу (Resolution A.893(21) ІМО).

Але, точність судноводіння в стислих умовах плавання не може бути гарантована лише виконанням вимог (ММО) і Міжнародної асоціації маячних служб (МАМС). Отже, вона не забезпечує навігаційної безпеки плавання великотоннажного судна в обмежених умовах на малих дистанціях до небезпеки (менше двох миль). У таких умовах плавання додатково необхідно, після закінчення планування шляху рейсового циклу, враховувати аналіз навігаційних ризиків, які будуть зустрічатися в майбутньому переході.

Недоліком існуючих рекомендацій являється саме відсутність окремо виділеного етапу «аналіз і оцінка ризиків», який повинен виконуватися після закінчення планування координат переходу.

Виконання такого етапу дозволить оцінити навігаційну безпеку рейсового циклу і управляти ризиками саме під час переходу, тому такі дослідження являються актуальними. Це забезпечить прогнозування ризиків, підвищить точність вибору безпечних глибин для маршруту переходу і високоточного контролю розташування судна в стислих умовах плавання.

В сучасних умовах управління ризиками приділяється значна увага з боку науковців і практиків з експлуатації морського флоту. Розробляються міжнародні та національні нормативні документи України з регулювання рівня ризиків та для уніфікації підходів до управління роботою господарюючих суб'єктів.

Оновлений документ ДСТУ ISO/TR 31004:2018 «Менеджмент ризиків. Принципи та настанови» (Risk management – Guidelines) має узагальнений характер і корисний для розуміння сутності ризиків і побудови ефективного процесу управління ними. Відповідно до стандарту ISO 31000:2018, метою управління ризиками є створення та захист цінності, прийняття рішень для встановлення та досягнення цілей і підвищення ефективності технологічного процесу перевози вантажів морем.

Проте, ефективне управління ризиками при експлуатації морського судна потребує повної і детальної інформації про причини та наслідки аварійних подій, їхні особливості та групування за спільними ознаками

[1]. Судноводій не повинен чекати, коли такі ризики настануть. Таку інформацію може забезпечити систематизація видів ризиків для прогнозу їх факторів, які будуть зустрічатися при переході, аналіз ризиків під час планування, та встановлення причини їх появи і підготовки судноводія для управління ними.

Небезпечні ділянки в стислих водах необхідно виявляти заздалегідь, під час підготовки до переходу. Проте, саме на цій стадії судноводії допускають найчастіше помилки, а дефіцит часу при плаванні не дозволяє виконувати необхідні розрахунки, що призводить до ускладнень.

Отже відсутність рекомендацій з аналізу аварійної небезпеки планового шляху переходу судна вказує на необхідність включення стадії планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу. Тому, актуальною проблемою є відсутність окремо виділеного етапу «аналіз і оцінка ризиків», який повинен виконуватися після закінчення планування координат переходу. Необхідна розробка нових методів планування заданого алгоритму управління криволінійним рухом судна для підвищення точності існуючого способу планування.

**Короткий огляд останніх публікацій.** Сучасне судно проводить у стислих водах у середньому до 5–10% ходового часу. Термін «стислі води» означає плавання поблизу берегів і навігаційних небезпек, на відстані менше 3–5 миль від узбережжя. На такі райони припадає понад 80% усіх навігаційних аварій. Це свідчить, з одного боку, про об'єктивну складність умов плавання, в яких маневрування судна "стиснуте" навігаційними умовами та (або) інтенсивним судноплаством. З іншого боку, це говорить про недосконалість методів судноводіння за таких умов.

Аналіз [2] Annual Overview of Marine Casualties and Incidents (Щорічний огляд морських аварій та інцидентів) від EMSA (Європейське агентство з морської безпеки), показав, що протягом 2011–2015 років половина інцидентів із суднами мала навігаційний характер: посадка на міліну («Контакти») – 18 %, втрата контролю управління – 26%, зіткнення – 16%.

Згідно джерела [3] Maritime Safety Report (Звіт про безпеку на морі), протягом вимірюваного періоду за 2012–2021 роки було зафіксовано всього 947 втрат, 575 (61%) з яких сталися після затоплення. Частка збитків склала наступні відсотки: від пошкоджень корпусу та техніки склала 8%; судна, що зазнали аварії та сіли на міліну – 16%. Найпоширенішою причиною втрат суден стало пошкодження корпусу та механізмів.

У 2021 році, згідно звіту [4] «Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні» встановлено зростання аварійності протягом 2021 року, у порівнянні з аналогічним періодом 2020 року. Отже, кількість аварійних подій збільшилась на 12 випадків (+22%), проте кількість загиблих та зниклих безвісти у цих аварійних подіях зменшилась на 60% (на 3 особи).

За даними [5] служби регулювання руху суден Адміністрації морських портів України, в період 2015–2021 років у Бузько-Дніпровсько-лиманському каналі (БДЛК) та у Херсонському морському каналі (ХМК) сталося 76 навігаційних подій. Вони були розподілені за наступними видами: 23 – посадки на міліну, 25 –

навалів, 6 – зіткнень, 4 – льодові випадки, 18 – випадків з технічних причин. Наслідками таких аварій були: потрапляння на міліну; здійснення навалу на інші судна, що стоять на якорі; зіткнення із суднами під час плавання у районі, де є скупчення плавзасобів в очікуванні шлюзування; вихід за межі суднового ходу під час плавання в БДЛК та ХМК.

Мореплавання завжди пов'язане з ризиком, який тією чи іншою мірою супроводжує судно. Найменший ризик, який можна прийняти за вихідний для відносної оцінки, буде у судна, яке знаходиться у відкритому морі далеко від навігаційних небезпек.

Тому, важливо виділити загальні принципи систематизації видів навігаційних ризиків: характер об'єкта виникнення (ризик окремих операцій, напрямків діяльності, діяльності загалом). Це дасть можливість підвищити точність способу планування рейсового циклу судна на основі аналізу причин і наслідків від неврахування навігаційних ризиків.

Необхідність передбачення та визначення категорій ризиків показана в дослідженні [6]. На основі статистики і аналізу аварій суден за 2005–2015 роки отримані відносні значення втрат з урахуванням розподілу світового флоту. Визначені основні категорії нещасних випадків: поломки обладнання та навігаційні інциденти, такі як посадка на міліну, відмова двигуна і зіткнення.

У джерелі [7] представлено імітаційний метод оцінки ризику посадки судна на міліну під час переходу судна по фарватеру в аварійних ситуаціях у підхідному каналі к порту Свиноуйсьце (Польща). Цей метод полягає лише у визначенні ймовірності аварії і не розглядає підвищення точності руху судна та прогнозування навігаційних ризиків.

Дослідження [8] навігаційних ризиків пропонує нову модель для їх об'єктивного та кількісного прогнозування. Результати показали, що навігаційний ризик від механічних несправностей може бути результатом найбільшої аварії під час переходу в морі, а навігаційний ризик зіткнення є найбільшим при вході/виході з порту. Але, такі висновки були рекомендовані лише як довідкова інформація без визначення їх видів та методів прогнозування.

Робота [9] присвячена дослідженню руху судна через канал з крутим вигином на підставі швидкості судна, кута дрейфу та швидкості поперечної течії. Запропонована в роботі модель навігаційного ризику показує лише його різний навігаційний статус та відповідні діапазони. Але вона не розглядає спосіб аналізу ризику та прогнозування при плануванні руху судна.

В статті [10] пропонується модель підтримки прийняття рішень для підвищення точності прийняття рішень щодо запобігання зіткненням. Вона формується доменом безпеки навігації (NSD) та заснованим на домені індексом ризику зіткнення (CRI), здатним визначати стадію та ризик зіткнення між кількома суднами. Виявлено, що оцінка стадії зіткнення є точною, і можна визначити існуючий азимутальний діапазон ризику, тому судна можуть вживати прямих та ефективних заходів щодо запобігання зіткненню. Ймовірність виникнення аварій досліджена в роботі [11] – пропонується всеосяжна основа для оцінки навігаційного ризику та розгортання морських пошуково-рятувальних

ресурсів (SAR). Але запропонована структура не розглядає аналіз наслідків ризиків для прийняття рішень щодо їх зменшення при плануванні рейсового циклу судна. Тобто вона заснована лише на поєднанні прийняття рішень щодо безлічі критеріїв, геопросторових методів та теорії ігор, шляхом застосування просторового багатокритеріального аналізу прийняття рішень у зоні відповідальності.

**Невирішені частини дослідження.** В процесі планування координат переходу рейсового циклу результати оформлюють у вигляді маршрутного листа, який вводиться в навігаційні прилади для контролю пересування згідно плану. Проте, подальший аналіз аварійної небезпеки на переході не виконується. Отже, в існуючій нормативній базі відсутні рекомендації з аналізу наслідків аварійної події небезпеки планового шляху переходу і заходи по її зменшенню.

Причиною цього є відсутність узгоджених способів та методів оцінки рівня ризиків. Вибір засобів реагування, які існують в наукових роботах по цій тематиці носить абстрактний і узагальнений характер діючої нормативної бази. Тому він потребує використання системного підходу до класифікації ймовірних та існуючих ризиків.

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути систематизація видів ризиків, яка є важливим інструментом їхнього ефективного управління. Вона допомагає підібрати індивідуальні підходи до оцінювання, вимірювання, прогнозування та зменшення навігаційних ризиків в стислих умовах плавання.

Саме такий підхід для зменшення ризику, приведений в роботі [12]. В дослідженні, запропоновано високоточний спосіб планування і контролю управління рухом судна. Він базується на плануванні криволінійних траєкторій руху за допомогою траєкторних точок (ТТ). Такий спосіб є ефективним при маневруванні в стислих водах, при плаванні в фарватерах, каналах, припортових водах та на акваторії порту.

Проте, для планування криволінійних траєкторій використовується приблизний графічний спосіб апроксимації шляху відрізком кривої, яка поміщена в даних про судно. Точність такого способу не задовольняє сучасним вимогам до планування координат криволінійного руху, хоча такий спосіб реалізований в сучасних електронних картах ЕКНІС, (Електронна картографічна навігаційна інформаційна система).

При визначенні ознак видів навігаційних ризиків необхідно також враховувати прояв системних ефектів, синергії та емерджентності. В узагальненому вигляді систематизація ризиків передбачає їхній поділ і групування за суттєвими характеристиками впливу на судно. Важливо оцінити ймовірність їх настання, з метою спостереження й моніторингу. Це буде запорукою своєчасного прийняття рішень щодо зменшення рівня ризиків для ефективного управління судном та забезпечення достатнього рівня захисту від можливих негативних подій чи наслідків. Отже, систематизація видів ризиків певною мірою відображає сутність поняття ризику, тобто ті характерні риси, по яким їх можна поділити і відокремити, та виконати вибір способів управління ними.

Доцільність дослідження підтверджується відсутністю узгоджених способів оцінки навігаційних ризиків

та врахування їх наслідків в процесі планування рейсового циклу судна. Новий спосіб оцінки буде важливим інструментом для управління їх рівнем. Він допоможе підібрати індивідуальні підходи до оцінювання рівня навігаційного ризику, прогнозування характеру його розвитку та дозволяє підібрати заходи для зменшення впливу на судно.

Зрозуміло, що сучасний спосіб планування криволінійних траєкторій руху судна є приблизним, не враховує попередній аналіз умов плавання і навігаційних ризиків та стан судна у реальному часі.

Отже, невирішеними залишилися питання оцінки навігаційних ризиків для планового шляху переходу судна в складних умовах плавання. Відсутність етапу «аналіз і оцінка ризиків» після закінчення планування координат переходу при слідуванні судна в обмежених умовах плавання вказує на недосконалість методів судноводіння. Тому дослідження, присвячене підвищенню точності способу планування траєкторії руху судна в складних умовах плавання дуже важливо і актуально для небезпечних районів плавання по всьому світу.

**Мета статті.** Дослідження присвячене підвищенню точності способу контролю руху судна в режимі реального часу. Важливим етапом є визначення небезпечних районів переходу, на яких існують ризики виникнення аварійних подій для наступного управління безпекою судна. Необхідно виконання систематизації універсальної узагальненої класифікації навігаційних ризиків для потреб ефективного планування руху судна. Тому, визначення видів навігаційних ризиків на основі аналізу причин і наслідків аварійних подій дозволить систематизувати їх за різними ознаками, існуючими в рейсовому циклі судна.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання: 1) виконати аналіз існуючих способів класифікації ризиків; 2) визначити причини і наслідки, до яких призвело неврахування навігаційних ризиків при виконанні рейсового циклу судна; 3) розробити спосіб планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу.

**Матеріали та методи.** Основною формою експлуатації судна при морських перевезеннях вантажів являється закінчений рейсовий цикл їх доставки із одного порту в інший. Нормативна база ММО і державна база України визначають порядок підготовки і організацію безпечного руху при виконанні рейсового циклу. Вони містять рекомендації по плануванню координат на переході і методи контролю безпечного руху при його виконанні.

Тому, сучасна концепція безпеки маневрування під час виконання рейсового циклу базується на досягненні прийнятого рівня ризику. Її сутність полягає у прагненні пройти через таку малу небезпеку під час аварійного випадку, при якій судно без суттєвих пошкоджень самостійно закінчить виконання рейсового циклу.

На практиці досягти нульового рівня ризику неможливо, тому будемо розглядати концепцію допустимого ризику. Під терміном «допустимий ризик» приймається такий його рівень, при якому судно після виникнення аварійної пригоди, зможе самостійно продовжити виконання рейсового плану з дотриманням

планових термінів доставки вантажу.

«Допустимий ризик» – це компроміс між станом суднових механізмів, які забезпечують рух судна і його життєдіяльність та рівнем безпеки, який можуть забезпечити механізми, які знаходяться в робочому стані та в резервуванні. Він поєднує в собі технічні можливості судна, кваліфікацію суднового персоналу та його здатність управляти ризиками. Проте, «системний ризик» – це ступінь небезпеки системи управління рухом судна під час виконання рейсового циклу, при якій система управління схильна вийти з ладу під час виникнення небезпечних ситуацій. Системний ризик – це властивість системи. Елементами системи є: машини, інструменти, сировина та команда навігаційного містка. Вихід із ладу чи неправильне функціонування одного елемента системи може мати вплив і ускладнювати роботу інших елементів.

Величину допустимого ризику можна визначити використовуючи витратний механізм, який дозволяє виконати аналіз стану суднових пристроїв, які забезпечують рух судна. Важливо розподілити навантаження між робочими та резервними пристроями для досягнення заданого рівня безпеки експлуатації судна і організації його життєдіяльності.

Перехід до управління ризиком, крім технічних та організаційних методів, включає ще й економічні методи, такі як страхування, грошову компенсацію збитків, додаткову платню за ризик та інші. В основі управління ризиком лежить методика порівняння витрачених коштів та отримання переваг від його зниження. Для управління ризиком використовуються такі методи:

- інженерний, який базується на статистиці частоти прояву видів небезпек;
- імітаційний – базується на основі побудови моделей впливу небезпек. Враховуються всі фактори зовнішнього середовища та внутрішні суднові фактори впливу на рух;
- експертний – коли ймовірність подій визначається опитуванням спеціалістів – експертів.

Розглянемо два з вищенаведених методів оцінки ризиків, які дозволять вдосконалити сучасний спосіб планування рейсового циклу судна:

- 1) експертний метод – для врахування наслідків і причин ризиків;
- 2) інженерний метод – для уточнення та змінення даних при плануванні маршруту судна.

Експертний метод метод використовується страховими компаніями, а також компаніями, які управляють роботою морського флоту для встановлення вірогідності виникнення та причин навігаційних подій і прийняття заходів для зменшення їх числа. Він дає хронометражний опис і послідовність протікання навігаційної події, встановлює її причини та наслідки.

Для вдосконалення способу планування рейсового циклу використаємо інженерний метод, оскільки важливо врахувати частоту прояв небезпек при майбутньому переході судна. Він дозволить змінити форму представлення даних про маневрені властивості судна [13]. Тому, такі дані потрібно розрахувати для того стану, у якому знаходиться судно під час рейсового циклу. Доцільно представити їх у компактному вигляді таблиць, які зручно використовувати в електронних

системах. Це дасть змогу змінити спосіб планування координат. Проте, спочатку необхідно виконати планування шляховими точками (ШТ), як рекомендує Резолюція ММО А.893 (21) – Керівництво з планування рейсу (Resolution A.893(21) IMO. Guidelines for voyage planning).

Зауважимо, що приведена методика планування рейсового циклу в нормативних документах, таких як Керівництво з несення вахти на містку (Bridge Procedure Guide, 5th Edition), Керівництво командою містка, 2-е Видання (Bridge Team Management, 2nd Edition), Резолюція ММО А.893 (21) – Керівництво з планування рейсу (Resolution A.893(21) IMO) володіє цілим рядом недоліків, які полягають у наступному:

1. Не приведена методика вибору ШТ.

2. Нанесення шляху у вигляді прямолінійних відрізків не відповідає дійсності, оскільки судно ніколи не проходить через ШТ. Особливо цей недолік проявляється при плануванні шляху в каналах, фарватерах, на припортових акваторіях та в межах порту. Тому, це вимагає використовувати і розробляти нові методики планування для цих районів.

3. Відсутня методика планування криволінійних відрізків шляху з врахуванням характеристик поворотності.

4. Не розглянуті способи підвищення точності планування та контролю координат руху.

Для розробки способу удосконалення планування рейсового циклу судна необхідно визначити види навігаційних ризиків і враховувати фактори, які є генератором або причиною катастроф на морі, на суші і в повітрі. Наприклад, несанкціонована зупинка головного двигуна судна при плаванні поблизу небезпек може бути викликана техногенним фактором ризику. Така аварійна подія може стати причиною загибелі судна і людей. Отже, виникнення загроз пов'язано з ризиком прийняття неправильного рішення або з ризиком зустрічі з несприятливою погодою, або ризиком відмов.

Для прогнозування навігаційних ризиків та аварійних подій необхідно розробити системний аналітичний підхід для їх запобігання чи зменшення їх наслідків. Він дозволить виявити причини, закономірності подій, частоту виникнення. Дотепер розроблені та застосовуються кілька різних способів та методів аналізу виникнення і розвитку аварійних подій та катастроф.

Для проведення аналізу причин навігаційних ризиків визначимо наступні два способи:

- 1) аналітико-статистичний спосіб – дозволяє визначити вид аварійної події та район плавання, у якому існує навігаційний ризик. Він не відповідає на питання, в чому причина, отже і не дозволяє відповісти на питання, що треба зробити, щоб попередити подібну небезпечну навігаційну подію в майбутньому.
- 2) спосіб експертної оцінки – дозволяє встановити послідовності виникнення й розвитку події з детальним описом алгоритму протікання процесу. Він може бути отриманий тільки у органів, які виконують розслідування. Це страхова компанія, капітанія порту прибуття після аварії, судовласник, рішення суду і т. п.

Отже, будемо використовувати спосіб експертної оцінки ризиків, який дає детальний опис та алгоритм протікання події, встановлює її навігаційну причину та

наслідки. Він може бути отриманий тільки у органів, які виконували розслідування аварійної події (капітанія порту, судновласник, страхові компанії, судові експерти та ін.). Такий спосіб застосовується при аналізі аварійних подій у портах та гаванях, він дасть можливість проводити адекватну та досить швидко оцінку ситуації саме в таких стислих умовах плавання. Для того, щоб виконати аналіз небезпеки виникнення ризиків при плануванні рейсового циклу потрібно виділити аварійно-небезпечні частки шляху переходу та визначити параметри характеристики видів аварійних подій, які існують на кожній частині.

Для більш детального розслідування наслідків подій і визначення факторів ризику в навігаційній системі управління рухом у рейсовому циклі морського судна розглянемо матеріали, що є в інспекціях портового нагляду України та судових експертиз. Це дозволить встановити причину аварійних подій, пов'язану з операторською діяльністю та намітити заходи щодо їх попередження.

Для прикладу, розглянемо аварійність у Північно-західній частині Чорного моря та найнебезпечнішої його частини – Бузько-Дніпровсько-лиманському каналі (БДЛК) та у Херсонському морському каналі (ХМК). Загальна протяжність БДЛК — 81 км, ХМК – 40 км. За умовами плавання вони належать до найскладніших районів судноплавства.

БДЛК має навігаційні особливості (рис. 1), а саме – дуже складну акваторію: 12 колін і 12 поворотів;

повороти на 40 і 60 градусів, а при заході у порти – до 90.

При повороті, а зона повороту – близько півмилі, судно проходить ще дві милі більш-менш прямо, потім – знову поворот, проте третє коліно взагалі довжиною всього в милу. Тобто з одного повороту відразу треба входити в інший. В даному випадку допомога техніки просто необхідна. Кількість колін ХМК – 3, навігаційна ширина каналу – 100 м.

За даними [14] звіту служби регулювання руху суден «Дельта-Лощман» за період 2015–2021 років, загалом у північно-західній частині Чорного моря в каналах, сталося 76 навігаційних подій: посадка на міліну – 23; навали – 25; зіткнення – 6; льодові випадки – 4; технічні причини – 18.

За видами аварійні випадки було розподілено в такий спосіб:

- 1) на БДЛК: посадка на міліну – 27; зіткнення – 11; навали – 8; льодові випадки – 11; з технічних причин – 4;
- 2) на ХМК: посадка на міліну – 54; зіткнення – 15; навали – 22; льодові випадки – 9; з технічних причин – 12.

Загалом у 2021 році в акваторіях БДЛК та ХМК аварійні події розподілились за наступними показниками: посадка на міліну – 81; зіткнення – 26; навали – 30; льодові випадки – 20; з технічних причин – 16.

Розглянемо результати графічної прокладки способу планування руху траекторними точками (ТТ) в порт Самсун, представлений на рис. 1.

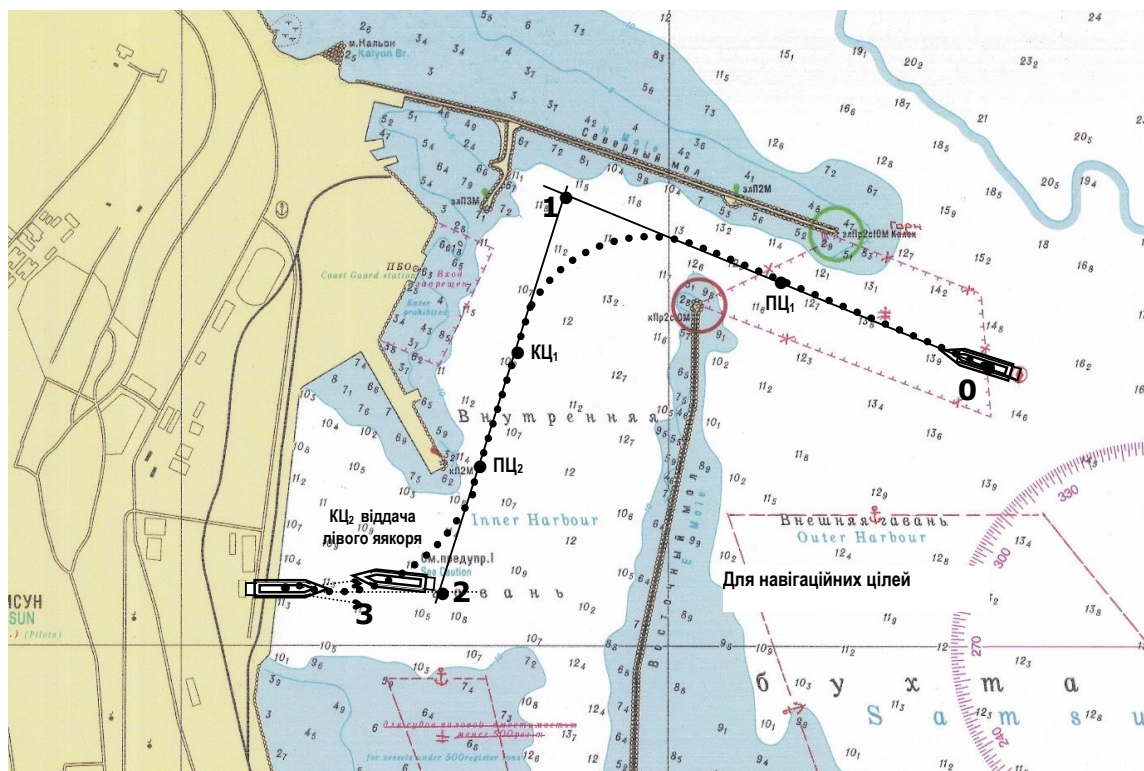


Рис. 1. Схема руху т/х «Вільнюс Сівейс» в порт Самсун при плануванні ТТ

Такий спосіб дозволяє зменшити рівень ризику посадки на міліну. При цьому управління рухом не потребує часу для обробки інформації про місце судна. Це дозволяє оперативнo визначити відхилення центру ваги судна від планової траєкторії і скоригувати рух перекладкою руля для компенсації зносу.

Вибір шляху виконують на підставі аналізу всіх умов плавання, а також з урахуванням осадки судна, його морехідних якостей та експлуатаційних вимог. Для більшості районів, описаних в лоціях даються настанови для плавання між основними портами, де наведені рекомендовані курси, шляхи, які ведуть в даний

морський район, віддалення шляху від найбільш виступаючих в море мисів, островів і небезпек. Але в лоццях і настановах відсутня рекомендація методики вибору ШТ.

На підставі аналізу навігаційної обстановки на карті можна рекомендувати таке правило вибору – ШТ вибирають на перетині прямих ліній рекомендованих курсів і шляхів, які визначені геодезичними способами, з достатньою глибиною для запасу під кілем. Для зменшення ризику посадки на мілину в районі ШТ на повороті в каналах, а іноді і на фарватерах, виконують днопоглибувальні роботи для збільшення ширини

суднохідної полоси при повороті. Про це зазвичай сповіщають в паспорті каналу чи району плавання в лоцці, а при необхідності рекомендують використання буксирів для допомоги судну при виконанні повороту.

Після того як визначені координати ШТ подальше планування можливо виконувати двома способами:

1. Прямолінійними відрізками від попередньої ШТ в наступну, з вимірюванням істинного курсу, відстанями між точками і підрахунку загального шляху з заповненням таблиці ШТ, яка на прикладі турецького порту Самсун наведена в табл. 1.

Таблиця 1. – Шляхові точки планування заходу в порт Самсун

Номер точки	Координати точки	Відстань, кбТ	Курс в наступну точку	Кут повороту	Кут перекладки руля
0	$\varphi = 41^{\circ}18'.445N$ ; $\lambda = 36^{\circ}21'.72E$	6.5	$289^{\circ}$	-	-
1	$\varphi = 41^{\circ}18'.65N$ ; $\lambda = 36^{\circ}20'.89E$	6.8	$207^{\circ}$	$72^{\circ}$	$15^{\circ}$
2	$\varphi = 41^{\circ}18'.045N$ ; $\lambda = 36^{\circ}20'.5E$ $\lambda$ $\lambda = 31^{\circ}21'.72E$ $\lambda = 31^{\circ}21'.72E$ $\lambda = 31^{\circ}21'.72E$	0.9	$270^{\circ}$	$63^{\circ}$	$15^{\circ}$
3	$\varphi = 41^{\circ}18'.045N$ ; $\lambda = 31^{\circ}20'.27E$	14.2	$90^{\circ}$	$180^{\circ}$	Перем.

2. У вигляді траєкторних точок (ТТ), з позначенням точок перекладки руля при повороті, отримання і швартування до причалу.

Другий спосіб являється більш точним, оскільки центр ваги проходить по плановій траєкторії. Він являється оптимальним, так як врахована акваторія для маневрування і маневрені характеристики поворотності судна. Далі формують масив [15] шляхових матриць і матриць ТТ повороту для всіх шляхових точок в наступному порядку:

$$M_{01}, M_{n12}, M_{12}, M_{n23}, M_{23} \dots M_{ni(i+1)}, M_{i(i+1)}, \dots M_{n(m-1)m}, M_{(m-1)m}, (1)$$

де  $M_{01}$  – матриця ТТ лінійного відрізка із початкової 0-ої ШТ до точки подачі команди на перекладку руля;

$M_{n12}$  – матриця повороту із першої ШТ в другу від початку  $N_{ц1}$  до кінця  $K_{ц1}$  криволінійного відрізка;

$M_{12}, M_{23}, M_{i(i+1)}, M_{(m-1)m}$  – матриці відрізків поворотів;

$M_{n23}, M_{ni(i+1)}, M_{ni(i+1)}$  – матриці ТТ прямолінійних відрізків;  $m$  – число ШТ.

Отже, матриці переходу [16] не містять відомостей про траєкторії шляху від причалу до місця висадки лоцмана при відході і від місця прийому лоцмана до причалу в порту приходу. Ці відомості повинні формуватися у вигляді судового плану плавання судна під лоцманською проводкою, для навігаційних цілей.

Розробимо новий спосіб для контролю за проходженням. По криволінійній траєкторії встановимо допустиме значення  $d_{доп}$ , при якому необхідно коригувати рух. Його значення  $d_{доп}$ , рекомендується призначати по величині радіальної середньої квадратичної похибки (СКП) визначення місця судна, постійного часу затримки повороту і величини зони нестійкості діаграми керованості, з урахуванням швидкості ходу.

Тому, значення  $d_{доп}$ , можна визначити за формулою:

$$d_{доп} = M_0 + V \cdot t_3 \cdot \sin \varphi(t), (2)$$

де  $M_0$  – радіальна СКП визначення місця судна;  $V$  – швидкість руху судна;  $t_3$  – час запізнювання в обробці

інформації в системі;  $\varphi(t)$  – кут нищпорення.

Визначення  $d_{доп}$  дозволить системі підтримки прийняття рішень (СППР) своєчасно попередити судоводія про недопустимий зсув чи навал на брівку каналу. В результаті отримаємо формулу для врахування навігаційних ризиків рейсового циклу судна на аварійно-небезпечних ділянках шляху.

**Результати та їх обговорення.** Для дослідження способів зменшення навігаційних ризиків та управління рухом у небезпечних акваторіях плавання важливо зазначити, що навігаційна сторона ризиків дає навігаційну причину події. Причину аварійної події визначає попередня інформація: конкретний опис обставин події і наслідки події. Отже, враховується кількість осіб, що загинули або дістали серйозні тілесні ушкодження, їхнє громадянство, прізвища, імена та по батькові, адреси, площа забруднення навколишнього природного середовища. Також фіксується ступінь пошкодження суден, берегових споруд, характер і маса вантажів, інша цінна для розслідування інформація, а також пропозиції щодо проведення необхідних термінових заходів.

Міжнародні результати експертної оцінки аварійних подій, що трапилися протягом 2021 року, показали, що причинами їх виникнення були: потрапляння на мілину; здійснення навалу на інші судна, що стоять на якорі; невиконання відповідного маневру для запобігання зіткненню через несвоєчасне налаштування шкали радіолокатора під час плавання у районі, де є скупчення плавзасобів в очікуванні шлюзування; вихід за межі судового ходу під час плавання в БДЛК та ХМК.

За результатами експертних розслідувань аварійних подій на водному транспорті в Україні протягом 2021 року було зафіксовано 12 навігаційних подій (22%), проти 13 випадків (30 %) у 2020 році. Отже, причинами таких аварій були наступні:

– недотримання вимог правила 34 глави V Міжнародної Конвенції з охорони людського життя на морі

(СОЛАС-74) та пункту 1. 3 Резолюції ІМО А.893(21) «Керівництво по плануванню рейсу», якою зазначається, що до виходу в море капітан повинен забезпечити, щоб намічений рейс був спланованим від причалу до причалу, включаючи ті райони, де потрібна наявність на борту лоцмана, а також забезпечення контролю за просуванням судна при виконанні рейсового плану переходу;

– відсутність завчасного визначення і врахування рівня оцінки ризику, незабезпечення належної організації дій екіпажів суден в аварійній ситуації, згідно з резолюцією ІМО А.741(18) (МКУБ) та наказом №904, зокрема при заході суден в порт, а також під час маневрування та виконання швартових операцій з використанням буксирного забезпечення на акваторії порту тощо;

– недотримання рекомендацій звичайної морської практики з практичних прийомів та способів управління судном, зокрема щодо взаємодії з морським лоцманом та капітанами буксирів під час виконання швартових операцій, а також нежиття вчасних та рішучих дій для забезпечення безпеки судна та запобігання навалу на причал, інші судна та об'єкти, що стоять біля причалу або на рейді;

– неврахування маневрових характеристик судна та недотримання безпечної швидкості під час здійснення швартових операцій з використанням буксирного забезпечення, а також під час проходження біля засобів навігаційного обладнання (буїв) при здійсненні розходження з іншим судном в обмежених умовах акваторії порту, каналу, а також на річкових внутрішніх водних шляхах (резолюції ІМО А.893(21), А.601(15));

– неналежна організація та невиконання членами екіпажу правил технічного обслуговування і експлуатації головних двигунів та допоміжних механізмів судна.

На підставі аналізу причин аварійних подій можна запропонувати наступну систематизацію ризиків за видами їх виникнення: 1) посадка на міліну; 2) неприпустимий зсув і навал на брівку; 3) зіткнення в стислих водах; 4) льодові випадки; 5) технічні причини. Основною перевагою вищевказаної систематизації ризиків за видами є можливість виконання аналізу наслідків, до яких призвело неврахування навігаційних ризиків, які будуть зустрічатися після закінчення планування шляху рейсового циклу в майбутньому переході.

Саме тому, до структури планування рейсового циклу судна пропонується включити стадію **Risk Analysis (Аналіз ризиків)**. Тобто, оновлений спосіб планування пропонується використовувати із п'яти стадій організації безпечного переходу і організації безаварійного руху:

I. Appraisal (Оцінка).

II. Planning (Планування).

III. Risk Analysis (Аналіз ризиків).

IV. Execution (Виконання).

V. Monitoring (Контроль).

Виконаний аналіз ризиків при розробці плану шляху дозволить підготувати судно для управління ними і підвищити рівень безпеки плавання.

Для управління рухом у небезпечних акваторіях плавання і забезпечення безаварійного виконання рейсового циклу на судні необхідно спланувати шлях

центру ваги судна траєкторними точками (ТТ) у вигляді координат руху.

Зауважимо, що існуючий класичний графічний спосіб планування руху судна займає близько 2 хвилин, але у судноводія такого часу немає (судно сідає на міліну). Проте, недоліком табличної форми (табл. 1) є відсутність можливості оперативно контролювати ризик посадки на міліну і необхідність використовувати системи підтримки прийняття рішення для автоматичного контролю зсуву.

Представлений в дослідженні удосконалений інженерний спосіб зменшує ймовірність виникнення ризику посадки на міліну за рахунок планування координат руху ТТ і можливості оперативного визначення зсуву для його коригування.

Отже, запропонований спосіб враховує форму навігаційної акваторії і поворотності судна, які оформлені у вигляді суми матриць прямолінійних і криволінійних ділянок шляху. Вони розраховуються по прямолінійних ділянках рекомендованого шляху на карті, обмежених шляховими точками (ШТ). Тому, координати ТТ шляху розраховуються з урахуванням зміни акваторії для маневрування, показників гальмування і поворотності та видів використовуваних маневрів.

Оскільки в лоціях і настановах відсутня рекомендація методики вибору ШТ, розроблений спосіб планування рейсового циклу судна підвищить швидкість обробки даних в автоматизованих системах навігації.

Розвиток даного дослідження буде актуальним для управління ризиками з використанням новітніх навігаційних СППР, які створені останнім часом. Основними з них є пристрої розрахунку маневрених характеристик та високоточного планування шляху ТТ по координатам шляхових точок (ШТ), вибраних на перетині прямолінійних відрізків рекомендованого шляху на карті, нанесеного геодезичними методами.

В перспективі, корінь проблеми аналізу і прогнозування навігаційних ризиків може бути досліджений в питаннях врахування людської помилки в критичних ситуаціях прийняття складних і простих рішень. У якості важливого фактору ризику і впливу на навігаційні системи штучного інтелекту в режимі реального часу може розглядатися людина-оператор.

#### Висновки.

1. При плаванні в умовах стислих вод виконується трьох операторне управління судном – капітан, лоцман та берегова радіолокаційна станція (РЛС). Берегова РЛС має достатній досвід в районі проводки. Лоцман знає місцеві навігаційні умови і особливості управління судном та всі ризики, які характеризують даний район. Проте, капітан повинен сам підготуватися для плавання в такому аварійно небезпечному районі, використовуючи відомі йому навігаційні посібники. Відповідальність за безпеку судна несе особисто капітан, а інші два оператори виступають як консультанти. Тому він повинен ретельно спланувати шлях і врахувати всі ризики аварій, які сталися в даному районі.

2. На основі аналізу існуючих методів оцінки і класифікації ризиків був визначений спосіб експертної оцінки ризиків, який дає детальний опис та алгоритм протікання події, встановлює її навігаційну причину та наслідки. Він може бути отриманий тільки у органів, які виконували розслідування аварійної події

(капітанія порту, судовласник, страхові компанії, судові експерти та ін.). Встановлено, що для оцінки і визначення причин навігаційних ризиків потрібно виділити аварійно-небезпечні частки шляху переходу з параметрами характеристик видів аварійних подій, які існують на кожній частині.

3. Запропоновано удосконалений спосіб планування маршруту шляховими точками (ШТ), який дасть можливість судоводію швидко та точно коригувати курс

судна. Він дозволить змінити форму представлення даних про маневрені властивості судна, враховуючи його стан у реальному часі і аналіз попередніх аварійних подій та навігаційних ризиків. Такий спосіб змінення даних є найбільш ефективним для майбутнього використання в автоматичних пристроях попередження посадки на міліну, оцінки ширини смуги маневреного зміщення, автоматичного контролю процесу зближення з іншими суднами та вибору маневру для розбіжності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Шумілова, К. В., Онищенко, О. А. Планування дій у комплексній ідентифікації ризиків судноплавства // The scientific heritage. International independent scientific journal, 2020. V. 49 (1). pp. 40–46. Режим доступу: <http://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2020/09/vol-1-no-49-49-2020.pdf>.
2. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents, 2019. Режим доступу: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019\\_11.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019_11.pdf).
3. Maritime Safety Report 2012-2021, 2021. Режим доступу: <https://www.iims.org.uk/maritime-safety-report-2012-2021/>.
4. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті, 2021. Режим доступу: <https://marad.gov.ua/ua/diyalnist/stan-avarijnosti-ta-bezpeki-sudnoplavstva-na-vodnomu-transporti>.
5. Служба регулювання руху суден. Адміністрація морських портів України. Філія «Дельта-лоцман», 2021. Режим доступу: [http://www.delta-pilot.ua/traffic\\_management](http://www.delta-pilot.ua/traffic_management).
6. Піпченко, О. Д. Аналіз аварійності мирового флота 2005–2015 // Судноводіння / Sh&Nav, 2017. 1 (27). С. 160–169. doi: 10.31653/2306-5761.27.2017.160-169.
7. Gucma, S., Przywarty, M., Słaczka, W. and Gralak, R. Risk of grounding by a ship passing a fairway –simulation method of navigational risk estimation in emergency situations // European Navigation Conference (ENC), 2019. pp. 1–6. doi: 10.1109/euronav.2019.8714146.
8. Chou, C., Wang, C., Hsu, P. A novel quantitative and qualitative model for forecasting the navigational risks of Maritime Autonomous Surface Ships // Ocean Engineering, 2022. V. 248. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110852>.
9. Yan, T., Qian, D., Shu, Y., Yang, Y., Xu, R. Vessel navigation risk and stern-swing index in sharp bend channels // Ocean Engineering, 2021. V. 238 p. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109640>.
10. Zhou, J., Ding, F., Yang, J., Pei, Z., Wang, C., Zhang, A. Navigation safety domain and collision risk index for decision support of collision avoidance of USVs // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2021. V. 13. pp. 340–350. ISSN 2092-6782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.03.001>.
11. Xavier Bellsolà Olba, X. B., Daamen, W., Vellinga, T., Hoogendoorn, S. P. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2018. V. 5. (5). pp. 335–347. ISSN 2095-7564. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.03.003>.
12. Maltsev, A., & Surinov, 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, 2021. 3 (3 (111)). pp. 42–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>. Scopus.
13. Мальцев, А. С. Удосконалення методології планування шляху рейсового циклу морського судна. // Modern directions of scientific research development. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Vo science Publisher, Chicago, USA, 2022. pp. 330–349. Режим доступу: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/01/modern-directions-of-scientific-research-development-26-28.01.22.pdf>.
14. Звіт БДЛК, 2021. Режим доступу: <https://mkrada.gov.ua/files/UGZ/2021/%D0%97%D0%92%D0%86%D0%A2%20%D0%91%D0%94%D0%9B%D0%9A.pdf>.
15. Sokolenko, V. The system of precision planning marine ship's voyage // Advances in Aerospace Technology, 2016. V. 68 (3). pp. 46–53. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.68.10908>.
16. Мальцев, С. Е. (2021). Оперативний контроль ширини маневреного зсуву в стислих водах // Судноводіння: Зб. наук. праць. НУ «ОМА», Одеса: «ВидавІнформ», 2021. Вип. 31. С. 22–37. doi: <https://doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.22-36>.

#### REFERENCES

1. Shumilova, K. V., Onishhenko, O. A. Action planning in comprehensive shipping risk identification // The scientific heritage. International independent scientific journal, 2020. V. 49 (1). pp. 40–46, ISSN 3547–2340. Available at: <http://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2020/09/vol-1-no-49-49-2020.pdf>.
2. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents, 2019. Available at: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019\\_11.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019_11.pdf).
3. Maritime Safety Report 2012-2021, 2021. Available at: <https://www.iims.org.uk/maritime-safety-report-2012-2021/>.
4. The state of accidents and safety of navigation on water transport, 2021. Available at: <https://marad.gov.ua/ua/diyalnist/stan-avarijnosti-ta-bezpeki-sudnoplavstva-na-vodnomu-transporti>.
5. Ship Traffic Regulation Service. Administration of seaports of Ukraine. «Delta Pilot» Branch, 2021. Available at: [http://www.delta-pilot.ua/traffic\\_management](http://www.delta-pilot.ua/traffic_management).
6. Pipchenko, O. D. Accident rate analysis of the world fleet 2005–2015 // Sudnovodinnya / Sh&Nav, 2017. 1 (27). pp. 160–169. doi: 10.31653/2306-5761.27.2017.160-169.
7. Gucma, S., Przywarty, M., Słaczka, W. and Gralak, R. Risk of grounding by a ship passing a fairway –simulation method of navigational risk estimation in emergency situations // European Navigation Conference (ENC), 2019. pp. 1–6. doi: 10.1109/euronav.2019.8714146.
8. Chou, C., Wang, C., Hsu, P. A novel quantitative and qualitative model for forecasting the navigational risks of Maritime Autonomous Surface Ships, Ocean Engineering, 2022. V. 248. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110852>.
9. Yan, T., Qian, D., Shu, Y., Yang, Y., Xu, R. Vessel navigation risk and stern-swing index in sharp bend channels // Ocean Engineering, 2021. V. 238. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109640>.



10. Zhou, J., Ding, F., Yang, J., Pei, Z., Wang, C., Zhang, A. Navigation safety domain and collision risk index for decision support of collision avoidance of USVs. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2021. V. 13. pp. 340–350. ISSN 2092-6782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.03.001>.
11. Xavier Bellsolà Olba, X. B., Daamen, W., Vellinga, T., Hoogendoorn, S. P. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2018. V. 5. (5). pp. 335–347. ISSN 2095-7564. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.03.003>.
12. Maltsev, A., & Surinov, I. 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*, 2021. V. 3 (3 (111)). pp. 42–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>. Scopus.
13. Maltsev, A. Improving the methodology of planning the voyage cycle of a ship // *Modern directions of scientific research development. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference*. Bo science Publisher, Chicago, USA, 2022. pp. 330–349. Available at: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/01/modern-directions-of-scientific-research-development-26-28.01.22.pdf>.
14. Report BDLK, 2021. Available at: <https://mkrada.gov.ua/files/UGZ/2021/%D0%97%D0%92%D0%86%D0%A2%20%D0%91%D0%94%D0%9B%D0%9A.pdf>.
15. Sokolenko, V. The system of precision planning marine ship's voyage // *Advances in Aerospace Technology*, 2016. V. 68(3). pp. 46–53. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.68.10908>.
16. Maltcev, S. E. Operational control of the width of the maneuverable displacement in constrained waters // *Sudnovodinnya: Zb. nauk. prac. NU «OMA», Odesa: «VidavInform»*, 2021. V. 31. pp. 22–37.

### Development of the method for planning navigational risks in preparation of a ship voyage cycle

K. V. Shumilova

**Abstract.** A new method for planning the ship's movement coordinates in complex navigational conditions has been developed. The systematization of the types of navigational risks according to the various features prevailing in the ship's voyage cycle carried out. The analysis of types of risks carried out on the basis of statistical data of accidents in two channels with complex water areas and high intensity of navigation. The proposed method will allow to present data in a compact form of tables, will give the opportunity to the navigator to quickly correct the course of the ship and increase navigational safety.

**Keywords:** *planning of navigation risks; maneuvering; ship's voyage cycle.*