

Гончарук І.П., Головань А.І.

ОЦІНКА НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В ОБМЕЖЕНИХ УМОВАХ ТА РАЙОНАХ ІНТЕНСИВНОГО СУДНОПЛАВСТВА

Однією з найважливіших проблем сучасного судноплавства є забезпечення навігаційної безпеки плавання у стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством у будь-яких гідрометеорологічних умовах. Сучасне судноводіння характеризується суттєвими особливостями, до яких насамперед слід віднести вплив стохастичних факторів на процес судноводіння, оцінку навігаційної обстановки та прийняття рішення на маневр судноводієм. Саме вказані особливості визначають досить високий рівень навігаційної аварійності водного транспорту. Останнім часом, враховуючи особливе значення водного транспорту, вживаються суттєві заходи, спрямовані на підвищення безпеки плавання, особливо в обмежених умовах, як у морських районах, так і на внутрішніх водних шляхах. До таких заходів насамперед слід віднести перегляд існуючих та прийняття нових організаційно-технічних вимог, які регламентують безпеку.

Ця стаття освітлює важливе питання забезпечення навігаційної безпеки плавання у стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством, яке є однією з ключових проблем сучасного судноплавства. Розглядаються особливості сучасного судноводіння, включаючи вплив стохастичних факторів на оцінку навігаційної обстановки та прийняття рішень судноводієм, які спричиняють високий рівень навігаційних аварій.

Стаття включає огляд сучасних заходів для підвищення безпеки плавання, які охоплюють вдосконалення організаційно-технічних вимог, які регламентують безпеку плавання. Проте, автори вказують на наявну суперечність між постійно зростаючими вимогами до безпеки судноводіння та його реальним станом, підкреслюючи, що рівень навігаційної аварійності залишається високим, незважаючи на зусилля по його зниженню.

Основний акцент у статті зроблено на відсутність формальних методів опису процесу судноводіння, що є перешкодою для вирішення багатьох питань навігаційної безпеки. Автори пропонують шляхи розв'язання цієї проблеми, які охоплюють ідентифікацію моделей навігаційних ризиків та розробку методології для комплексної оцінки навігаційних ризиків, з описом основних властивостей якісно-складної організаційно-технічної системи судноводіння.

Ключові слова: Судноплавство, навігаційна безпека, стислі води, райони з інтенсивним судноплавством, гідрометеорологічні умови, стохастичні фактори, оцінка навігаційної обстановки, прийняття рішень судноводієм, навігаційні аварії, організаційно-технічні вимоги, забезпечення навігаційної безпеки, поведінка організаційно-технічної системи, моделі навігаційних ризиків, ймовірнісний простір станів, комплексна оцінка навігаційних ризиків, внутрішні водні шляхи, морські райони, водний транспорт.

Постановка проблеми. Постановка проблеми даної статті пов'язана з актуальністю і складністю забезпечення навігаційної безпеки судноплавства, особливо у стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством, незалежно від гідрометеорологічних умов. Виокремлюється проблема впливу стохастичних факторів на процес судноводіння, оцінку навігаційної обстановки та прийняття рішень судноводієм, які істотно підвищують рівень навігаційної аварійності.

Незважаючи на значні зусилля, направлені на розробку та впровадження нових організаційно-технічних вимог, що регламентують безпеку, проблема високого рівня навігаційної аварійності залишається актуальною. Відчутною перешкодою в розв'язанні цього питання є відсутність формальних методів опису процесу судноводіння, що обумовлено стохастичним характером факторів, які впливають та об'єктивними теоретичними труднощами опису поведінки складної організаційно-технічної системи судноводіння в ймовірнісному просторі станів.

Таким чином, існує потреба в розробці нових методів та інструментів для ідентифікації та моделювання навігаційних ризиків, які б дозволили провести комплексну оцінку таких ризиків і, як результат, сприяли збільшенню навігаційної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Через високу інтенсивність руху суден в районах з інтенсивним рухом суден, водні шляхи є зонами з високим потенціалом аварій, які пов'язані зі значними ризиками для державного і приватного секторів. Незважаючи на значні зусилля, докладені багатьма організаціями на різних рівнях для досягнення безпечної морської транспортної системи, аварії та інциденти на морі не демонструють тенденції до значного зниження, а продовжують відбуватися з високою частотою (EMSA, 2022). З усіх аварій 2,9 % були дуже серйозними (EMSA, 2022). Зокрема, на локальних морських ділянках з високою інтенсивністю руху та складними навігаційними умовами, таких як північна частина Балтійського моря, Адріатичне море та Сінгапурська протока, зіткнення суден є одним з найпоширеніших типів аварій. У відповідь на занепокоєння зацікавлених сторін були розроблені різні методи вивчення ризиків і безпеки морського транспорту, що використовують різні підходи. До них належать методи вилучення моделей морського руху, виявлення аномалій, моделювання ймовірності та наслідків морських аварій, а також статистичний аналіз морських аварій. Варто зазначити, що багато з цих підходів значною мірою покладаються на статистичні дані про аварії. У статтях представлені різні методи та інструменти для виявлення та моделювання навігаційних ризиків з метою підвищення безпеки судноплавства. В роботі [1] розглянуто та проаналізовано методи оцінки ризиків на морських водних шляхах на основі неаварійних критичних подій, виявлених на основі даних AIS, і зроблено висновок, що необхідно більше уваги приділяти тому, як визначаються неаварійні критичні події та які фактори впливають на зв'язок між їхньою появою та аварійністю. Автори дослідження [2] обговорюють стандартизацію оцінки ризиків у навігації і припускають, що глобальний збір відповідних емпіричних даних може зробити результати аналізу ризиків менш сумнівними, але порівнянними. Робота [3] пропонує систему, засновану на ймовірнісній моделі оцінки ризиків, для кращого розуміння ризику зіткнення і визначення більш прийняттого рівня дій з ухилення. Стаття [4] досліджує навігаційні ризики в акваторії мосту через річку Янцзи в Нанкіні на основі просторово-часового аналізу на масивних траєкторіях AIS з використанням методів GIS і виявляє три типи критичних навігаційних ризиків, включаючи ризик безпечної відстані, ризик зіткнення з пірсом і ризик транспортних заторів. Статті [5, 6] свідчать про те, що комплексна оцінка навігаційних ризиків вимагає поєднання різних методів та інструментів, включаючи визначення неаварійних критичних подій, стандартизацію оцінки ризиків, ймовірнісну модель оцінки ризиків та просторово-часовий аналіз траєкторій. Загалом, ці роботи пропонують різні підходи до комплексної оцінки навігаційних ризиків і сприяють підвищенню безпеки судноплавства.

Мета дослідження полягає у дослідженні методів оцінки навігаційної безпеки плавання в стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством.

Основні результати дослідження. Судноплавство у стислих водах та районах з інтенсивним рухом суден вимагає від судноводіїв високого рівня уваги, вміння адаптуватися до швидко змінюваних обставин і уміння приймати виважені рішення в умовах часових обмежень. В умовах високого трафіку суден і стислого простору, випадкові фактори і непередбачувані обставини можуть значно збільшувати ризик навігаційних аварій.

На стислих водах і в районах з інтенсивним судноплавством, простір для маневрування може бути значно обмежений. Це вимагає від судноводіїв високої точності у керуванні

судном, а також уміння адаптуватися до несподіваних змін, таких як раптові дії інших суден. В районах з високим трафіком суден, ризик зіткнень і інших аварійних ситуацій зростає [7]. Судноводії повинні бути в стані швидко реагувати на дії інших суден та приймати рішення в обмежений час. Непередбачувані обставини, такі як раптові зміни погодних умов, помилки у обладнанні або непередбачувані дії інших суден, можуть суттєво ускладнити процес судноводіння [8].

Забезпечення навігаційної безпеки вимагає постійної уваги до навколишньої обстановки, вміння швидко реагувати на зміни і гнучкості в прийнятті рішень [9]. Важливою складовою є також використання сучасного навігаційного обладнання, ретельна підготовка і регулярне тренування судноводіїв, а також впровадження ефективних систем керування ризиками на борту судна [10].

В умовах неперервного розвитку судноплавства і постійного зростання інтенсивності морського трафіку, питання підвищення безпеки плавання стає все актуальнішим. Незважаючи на значні зусилля, спрямовані на зниження навігаційної аварійності, вона залишається високою, що свідчить про наявність суперечності між теоретичними вимогами і реальним станом судноводіння.

Сучасні заходи, що спрямовані на підвищення безпеки плавання, включають [11]:

Вдосконалення технологій: Розробка та впровадження новітніх навігаційних систем, які включають автоматизовані системи керування, системи раннього виявлення зіткнень, а також більш точні та надійні системи GPS і радарів.

Покращення навчання і підготовки судноводіїв: Розвиток і вдосконалення програм навчання та підготовки, які спрямовані на підвищення професійних навичок судноводіїв, зокрема в умовах стислих вод і забезпечення безпеки при високому трафіку суден.

Посилення регуляторного контролю: Покращення міжнародних і національних стандартів і вимог до безпеки судноплавства, посилення контролю за їх дотриманням, а також впровадження жорсткіших санкцій за порушення цих вимог.

Підвищення освіченості і обізнаності судноводіїв: Важливим аспектом є не лише технічна підготовка, але і розуміння ролі людського фактору в процесі судноводіння. Тому важливо організовувати періодичні тренінги і семінари, що підвищують обізнаність судноводіїв щодо безпеки плавання.

Однак, необхідно зазначити, що незважаючи на всі ці заходи, повне виключення ризику аварій майже неможливе через наявність стохастичних факторів. Тому ключовим є постійний розвиток та адаптація безпеки судноплавства до змінюваних умов та викликів.

Модель зіткнення і посадки судна на міліну була вперше запропонована у 1974 році Макдаффом, що позначається через

$$P = P_a \times P_c \quad (1)$$

де P - ймовірність того, що судно потрапить в аварію зіткнення під час свого проходження певної акваторії; P_a - геометрична ймовірність того, що судно зіткнеться з аварійними сценаріями а саме, ймовірність зіткнення, якщо не вжито жодних запобіжних заходів не вжито запобіжних заходів; P_c - причинно-наслідкова ймовірність, тобто умовна ймовірність того, що судно зіткнеться з іншими суднами ймовірність того, що зіткнення станеться в аварійному сценарії. З тих пір численні дослідники докладають свої зусилля для оцінки причинно-наслідкового зв'язку та геометричної ймовірності оцінки.

Оцінка ймовірності причинно-наслідкового зв'язку. Виходячи з рівняння (1), ймовірність зіткнення можна оцінити двома незалежними ймовірностями - геометричною ймовірністю, яка залежить від геометричних параметрів акваторії, розміру судна, інтенсивності руху, швидкості судна над водою, курсу судна; та ймовірністю причинно-наслідкового зв'язку, яка визначається операційними навичками судової команди, маневреністю судна в умовах при аварійних сценаріях. Відповідно, в більшості літературних джерел ймовірність причинно-наслідкового зв'язку для окремих акваторій розглядаються як

константа для одного і того ж конкретного сценарію аварії. Для оцінки значення ймовірності причинно-наслідкового зв'язку використовують кілька методів.

Найпростіший спосіб полягає у використанні статистики нещасних випадків для калібрування ймовірності причинно-наслідкового зв'язку ймовірності. Цей підхід значною мірою покладається на наявність статистичних записів про аварії. Крім того, цей метод не здатний відображати глибоке розуміння причин аварій. Відповідно, він не може надавати підтримку особам, які приймають рішення, коли необхідно впроваджувати рішення щодо зниження ризиків.

Метод аналізу дерева несправностей також може бути використаний для оцінки ймовірності причинно-наслідкового зв'язку. Наприклад - дерево несправностей застосоване для визначення ймовірності причинно-наслідкового зв'язку для зіткнення в умовах хорошої видимості, і другий - дерево несправностей, застосоване для визначення ймовірності причинно-наслідкового зв'язку для заземлення під напругою в умовах хорошої видимості. Використовуючи дерево несправностей, помилка, пов'язана з роботою людини, і помилка, пов'язана з недієздатністю і помилки, пов'язані з втратою працездатності, можуть бути змодельовані за допомогою дерева відмов.

Байєсівський мережевий підхід, як покращення аналізу дерева несправностей, може також бути використаний для оцінки ймовірності причинно-наслідкового зв'язку. За допомогою ретельно побудованої Байєсівської мережі, можна включити експертні оцінки та статистику, щоб з метою моделювання людських помилок, людської поведінки, механічних відмов тощо. Мережа Байєсівських нейронних мереж будується за допомогою вузлів і дуг. Вузли - це змінні, які можуть мати кілька різних значень і кожне значення з певною ймовірністю. Наприклад, вузлом може бути "Погодні умови", а значення для "Погодних умов" можуть бути "Хороші" або "Погані", а ймовірність "Хороших" або "Поганих" значень може бути визначена за статистичними даними. На ймовірність значень вузла можуть впливати інші вузли через з'єднання дуг. Наприклад, на вузол "Видимість" може впливати вузол "Погодні умови", а на вузол "Час реакції" може впливати вузол "Видимість".



Рисунок 1- Вузли та дуги простої Байєсівської мережі

Для того, щоб оцінити геометричну ймовірність зіткнення суден, була застосована теорія молекулярних зіткнень. Згідно з цією теорією, геометрична ймовірність зіткнення суден має приблизно лінійну залежність з відстанню проходження, тобто часткою відстані проходження від середнього вільного пробігу константа є наближенням геометричної ймовірності. Ймовірність може бути обчислити за формулою

$$P_a = \frac{X \cdot L}{D^2} \cdot \frac{\sin(\theta/2)}{925} \quad (2)$$

де D - середня відстань між суднами (в милях); X - фактична довжина шляху, яку необхідно подолати для одного судна (морські милі); L - середня довжина судна (м). У цій формулі припускається, що основний потік суден рухається з однаковою швидкістю V , і є одиночне судно, що наближається до потоку зі швидкістю V і кутом θ . Цю модель можна легко розширити до більш загальних сценаріїв. Однак, геометрична ймовірність також завищена, особливо коли кут дуже малий. Крім того, припущення про однакову швидкості також не є

обґрунтованим і може призвести до недооцінки. На основі доказів, модель може бути поширена на більш складні умови.

Fujii запропонував модель для оцінки середньої кількості ухильних дій суден, що проходять через зону, як

$$\int_{entrance}^{exit} (\rho D_e V_{rel}/V) dx \quad (3)$$

де ρ - щільність суден (кількість суден на одиницю площі), D_e – діаметр ухилення, V_{rel} - відносна швидкість, а V - швидкість судна, що проходить повз. Модель розроблено на основі геометрії та законів руху. D_e змінюється від 9,5 до 16,3 від довжини судна за Fujii. Припущення моделі Fujii є більш обґрунтованими порівняно з іншими моделями. Однак результати показують, що модель Fujii також переоцінює геометричну ймовірність. Це пов'язано з тим, що ухильні дії припускається в 9,5-16,3 рази більшою за довжину судна, що є досить консервативним. Насправді, мінімальна відстань між суднами в деяких протоках (наприклад, в Сінгапурській протоці) становить приблизно 3 довжини судна. Після новаторської роботи Fujii була запропонована концепція суднового простору і широко застосовується в дослідженнях з безпеки судноплавства. Визначено різні типи суден, що мають різні типи суднових областей з різними формами і розмірами. З тих пір були запропоновані, розроблені і застосовуються нечіткі розміри суден для оцінки частоти зіткнень.

На додаток до вищезгаданих моделей, існує також кілька нових моделей розроблених дослідниками. Проста модель випадкового блукання була побудована в роботі Tan and Otay (1999) [12] для оцінки геометричної ймовірності. Roelaven та ін. (1995) [13] розраховували ймовірність аварії шляхом підбору узагальнених лінійних моделей. Geng et al. (2009) [14] підібрали розподіл курсів суден за даними польових спостережень, а потім розраховували ймовірність зіткнення судна з мостом. Debnath і Chin [15] (2009) та Chin and Debnath (2009) [16] вивчали сприйнятий ризик зіткнення в портових водах.

Висновки. З урахуванням того, що система оцінки морських ризиків була добре розроблена, два питання все ще викликають занепокоєння. Одна з головних проблем полягає в тому, як кількісно оцінити вплив людських помилок. Формальний опис процесу судноводіння допомагає стандартизувати практики, встановити загальноприйняті норми і протоколи, а також сприяє вдосконаленню підготовки судноводіїв. Статистика показує, що близько 80 % зіткнень відбуваються через людські помилки, і це є основною причиною більшості транспортних аварій. ІМО запропонувала Human Reliability Analysis (HRA), деякі загальні інструменти, такі як Technique for Human Error Rate Prediction (THERP) and Human Error Assessment та Reduction Technique (HEART), були запропоновані для використання в HRA морських аварій [17]. Однак, дуже мало дослідницьких робіт було опубліковано з аналізу аварійних ситуацій. Моделювання людського фактору все ще залишається складним завданням у проектах з оцінки морських ризиків, все ще залишається складною задачею, і майбутні дослідження є дуже бажаними. Також існує велика потреба в тому, щоб для морських аварій збирати дані про інциденти і людські помилки, подібні до тих, що збираються в авіації. Інше питання полягає в тому, як вирішити проблему невизначеності параметрів. Виходячи з вищезазначених підходів, оцінка ризику визначається різноманітними входними даними параметрами, такими як гідрографічний стан, характеристики суднового потоку, навігаційна ситуація. Загальновизнано, що невизначеність є неминучим компонентом процедури оцінки ризиків. Крім того, нестача даних може спричинити труднощі при оцінці ризику з невизначеністю параметрів. Для розповсюдження невизначеності на протязі всього аналізу та оцінки параметрів застосовано метод Байєсівського моделювання. Невизначеності протягом всього аналізу, показують, що результати будуть стійкими до притаманних їм невизначеностей.

Під час досліджень були запропоновані заходи, щодо вдосконалення системи управління судноводінням при зниженні навігаційних ризиків. Розглянуті моделі для оцінки навігаційної безпеки плавання в стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством. Запропоновано два питання для подальших досліджень: невизначеність параметрів і кількісна оцінка людського фактора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Du, L., Goerlandt, F., & Kujala, P. (2020). Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering & System Safety*, 200, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.106933>
2. Froese, J. G. (2022). Standardization of Risk Assessment in Navigation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2311(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2311/1/012015>
3. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
4. Xia, H. (2021). Navigational risk analysis based on GIS spatiotemporal trajectory mining: a case study in Nanjing Yangtze River Bridge waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06621-6>
5. Hsu, W. K., Chen, J., Huynh, N. P., & Lin, Y. (2022). Risk Assessment of Navigation Safety for Ferries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 700. <https://doi.org/10.3390/jmse10050700>
6. Li, B., & Pang, F. (2018). Innovative assessment scheme of navigation risk based on improved multi-source information fusion techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14(4), 155014771877254. <https://doi.org/10.1177/1550147718772543>
7. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2010). Navigational Traffic Conflict Technique: A Proactive Approach to Quantitative Measurement of Collision Risks in Port Waters. *Journal of Navigation*, 63(1), 137–152. <https://doi.org/10.1017/s0373463309990233>
8. Li, S., Meng, Q., & Qu, X. (2012). An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. *Risk Analysis*, 32(3), 496–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01697.x>
9. Banda, O. a. V., Goerlandt, F., Kuzmin, V. A., Kujala, P., & Montewka, J. (2016). Risk management model of winter navigation operations. *Marine Pollution Bulletin*, 108(1–2), 242–262. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.071>
10. Kim, K. S., Jeong, J., & Park, G. (2013). A Study on the Development of Ship's Passage Risk Assessment Simulator. *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, 23(3), 220–225. <https://doi.org/10.5391/jkiis.2013.23.3.220>
11. Wróbel, K., Krata, P., Montewka, J., & Hinz, T. (2016). Towards the Development of a Risk Model for Unmanned Vessels Design and Operations. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 267–274. <https://doi.org/10.12716/1001.10.02.09>
12. Tan, B., & Otay, E. N. (1999). Modeling and analysis of vessel casualties resulting from tanker traffic through narrow waterways. *Naval Research Logistics*. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6750\(199912\)46:8](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6750(199912)46:8)
13. Roeleven, D., Stipdonk, H., Kok, M., & De Vries, W. A. (1995). Inland waterway transport: Modelling the probability of accidents. *Safety Science*, 19(2–3), 191–202. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00020-4](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00020-4)
14. Geng, B., Wang, H., & Wang, J. (2009). Probabilistic model for vessel-bridge collisions in the Three Gorges Reservoir. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 3(3), 279–285. <https://doi.org/10.1007/s11709-009-0044-z>
15. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2009). Hierarchical Modeling of Perceived Collision Risks in Port Fairways. *Transportation Research Record*, 2100(1), 68–75. <https://doi.org/10.3141/2100-08>

16. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
17. IMO. (2018). REVISED GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) (2nd ed.). International Maritime Organization. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/MSC-MEPC%202-Circ%2012-Rev%202.pdf>

REFERENCES

1. Du, L., Goerlandt, F., & Kujala, P. (2020). Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering & System Safety*, 200, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106933>
2. Froese, J. G. (2022). Standardization of Risk Assessment in Navigation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2311(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2311/1/012015>
3. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
4. Xia, H. (2021). Navigational risk analysis based on GIS spatiotemporal trajectory mining: a case study in Nanjing Yangtze River Bridge waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06621-6>
5. Hsu, W. K., Chen, J., Huynh, N. P., & Lin, Y. (2022). Risk Assessment of Navigation Safety for Ferries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 700. <https://doi.org/10.3390/jmse10050700>
6. Li, B., & Pang, F. (2018). Innovative assessment scheme of navigation risk based on improved multi-source information fusion techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14(4), 155014771877254. <https://doi.org/10.1177/1550147718772543>
7. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2010). Navigational Traffic Conflict Technique: A Proactive Approach to Quantitative Measurement of Collision Risks in Port Waters. *Journal of Navigation*, 63(1), 137–152. <https://doi.org/10.1017/s0373463309990233>
8. Li, S., Meng, Q., & Qu, X. (2012). An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. *Risk Analysis*, 32(3), 496–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01697.x>
9. Banda, O. a. V., Goerlandt, F., Kuzmin, V. A., Kujala, P., & Montewka, J. (2016). Risk management model of winter navigation operations. *Marine Pollution Bulletin*, 108(1–2), 242–262. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.071>
10. Kim, K. S., Jeong, J., & Park, G. (2013). A Study on the Development of Ship's Passage Risk Assessment Simulator. *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, 23(3), 220–225. <https://doi.org/10.5391/jkiis.2013.23.3.220>
11. Wróbel, K., Krata, P., Montewka, J., & Hinz, T. (2016). Towards the Development of a Risk Model for Unmanned Vessels Design and Operations. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 267–274. <https://doi.org/10.12716/1001.10.02.09>
12. Tan, B., & Otay, E. N. (1999). Modeling and analysis of vessel casualties resulting from tanker traffic through narrow waterways. *Naval Research Logistics*. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6750\(199912\)46:8](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6750(199912)46:8)
13. Roeleven, D., Stipdonk, H., Kok, M., & De Vries, W. A. (1995). Inland waterway transport: Modelling the probability of accidents. *Safety Science*, 19(2–3), 191–202. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00020-4](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00020-4)
14. Geng, B., Wang, H., & Wang, J. (2009). Probabilistic model for vessel-bridge collisions in the Three Gorges Reservoir. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 3(3), 279–285. <https://doi.org/10.1007/s11709-009-0044-z>
15. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2009). Hierarchical Modeling of Perceived Collision Risks in Port Fairways. *Transportation Research Record*, 2100(1), 68–75. <https://doi.org/10.3141/2100-08>

16. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
17. IMO. (2018). REVISED GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) (2nd ed.). International Maritime Organization. <https://wwwcdn.imo.org/>

Honcharuk I.P., Golovan A.I.

ASSESSMENT OF NAVIGATIONAL SAFETY IN RESTRICTED CONDITIONS AND AREAS OF INTENSIVE SHIPPING TRAFFIC

One of the most important problems of modern shipping is to ensure navigational safety in restricted waters and areas with intensive shipping traffic in any hydrometeorological conditions. Modern navigation is characterized by significant features, which primarily include the influence of stochastic factors on the navigation process, assessment of the navigation situation and decision-making on maneuvering by the navigator. It is these features that determine the rather high level of navigation accidents in water transport. Recently, given the special importance of water transport, significant measures have been taken to improve navigation safety, especially in limited conditions, both in marine areas and inland waterways. Such measures include, first of all, the revision of existing and adoption of new organizational and technical requirements governing safety.

This article highlights the important issue of ensuring navigational safety in restricted waters and areas with intensive shipping traffic, which is one of the key problems of modern shipping. The features of modern navigation are considered, including the influence of stochastic factors on the assessment of the navigational situation and decision-making by the navigator, which cause a high level of navigation accidents.

The article includes an overview of modern measures to improve navigation safety, which include the improvement of organizational and technical requirements governing navigation safety. However, the authors point to the existing contradiction between the ever-increasing requirements for safety of navigation and its actual state, emphasizing that the level of navigation accidents remains high despite efforts to reduce it.

The article focuses on the lack of formal methods for describing the navigation process, which is an obstacle to solving many navigation safety issues. The authors propose ways to solve this problem, which include the identification of models of navigation risks and the development of a methodology for a comprehensive assessment of navigation risks, with a description of the main properties of a qualitatively complex organizational and technical system of navigation.

Keywords: *Shipping, navigation safety, compressed waters, areas with intensive navigation, hydrometeorological conditions, stochastic factors, assessment of the navigation situation, decision-making by the navigator, navigation accidents, organizational and technical requirements, ensuring navigation safety, behavior of the organizational and technical system, models of navigation risks, probability space of states, comprehensive assessment of navigation risks, inland waterways, marine areas, water transport.*