

УДК 656,084+629.067(045)

## ОЦІНКА РИЗИКІВ ТА РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗІТКНЕННІ СУДНА З МОСТОМ

**Голіков А. О.**, к.т.н., завідувач кафедри «Морські технології» Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: agolikoff@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0648-0733;

**Олійник Ю. А.**, аспірант Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: j0633590714@gmail.com, ORCID 0000-0003-0426-1104

*У статті розглядаються види, фактори, причини та наслідки аварій при зіткненні судна з мостом. Ця проблема є досить актуальною на сьогодні, оскільки не зважаючи на сучасний рівень розвитку морської галузі, подібні аварії відбуваються щорічно. Це викликає необхідність вживати заходи щодо підвищення безпеки навігації наявних зон. У роботі була представлена процедура оцінки рівня безпеки та етапи виявлення ризиків шляхом визначення ймовірності зіткнення з прольотами мосту, опорами й іншими конструкціями, визначення найбільш уразливих місць, а також можливі наслідки такого пошкодження (для судна, моста, навколишнього середовища). Розглянуті методи захисту моста та методи зниження ризику. Результатами дослідження є розробка рекомендацій для уникнення можливої небезпеки, пом'якшення наслідків та зменшення ризиків при зіткненні судна з мостом. У статті запропонована імплементація сучасних морських технологій, таких, як віртуальні засоби навігації та технології додаткової реальності, які значною мірою покращують моніторинг за навколишнім середовищем, отже, таке впровадження зменшує ризик виникнення аварійної ситуації. Забезпечення застосування повного спектра доступними методами необхідно для визначення ризику та захисту мостів від нещасних випадків.*

**Ключові слова:** зіткнення суден з мостами, оцінка рівня безпеки, виявлення ризиків, уникнення небезпеки, розробка рекомендацій.

**DOI: 10.33815/2313-4763.2020.1.22.011-021**

**Постановка задачі.** Щорічно відбуваються серйозні зіткнення суден з мостами, трапляються катастрофи, які спричиняють до крах мостів, загибель суден і людські жертви. Статистика показує, що контакти та навали суден є головними причинами пошкоджень, 30% зіткнення суден з мостами закінчуються повним руйнуванням останніх. Ця проблема голосно заявила про себе, починаючи з 60-х років ХХ століття, коли у зв'язку з ростом інтенсивності судноплавства та розмірів суден зростав і масштаб завданих лих [1].

У зв'язку зі збільшеними темпами спорудження мостів, необхідно враховувати ризики пошкодження їх суднами.

Отже, удосконалення сучасних методів судноводіння в складних умовах навігації під мостом є невід'ємною задачею, що значною мірою зможе покращити безпеку мореплавства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міжнародна морська організація (ФОБ / FSA), яке дозволяє розглядати потенційні ризики до їх виникнення [2]. Навігаційна безпека безпосередньо пов'язана зі складністю умов плавання суден і залежить головне від якості управління на всіх ділянках маршруту.

Оцінювання ризиків при зіткненні є дуже важливою проблемою, для якої також були розроблені національні та міжнародні правила та керівництва, такі, як: AASHTO 1991 [3], E DIN 1055-92000 [4], ENV 1991-1 Eurocode 1 1994 [5], Larsen 1993 [6].

На сьогодні проблема ризиків зіткнення судна з мостом розглянута досить повно у наступних роботах [7-11], в яких описуються головні проблеми з цієї теми, а також вирішення загальних задач.

Важливим науковим напрямом є опис сучасних підходів до оцінки безпеки судноплавства під час руху під мостом, який заснований на застосуванні математичної моделі урахування дії реальних гідрометеорологічних чинників [12].

У роботі [13] пропонуються три методи альтернативної методології для забезпечення гнучкості проектування моста при встановленні критеріїв зіткнення із судном

або баржею. Однак ці методи реалізуються тільки при будівництві планованих мостів, що не вирішує проблему в реальному часі.

Розробка баз даних при зіткненні суден з мостами описана в роботі [14], де міститься докладна інформація про більш ніж 200 аварій за останні чотири десятиліття, які вказують, що в 70 % випадків зіткнень причиною є людський фактор. Дане дослідження наочно продемонструвало напрям, в якому необхідно рухатися задля уникнення подібних аварійних ситуацій.

У роботах [15, 16] детально розглянуті методи захисту, а також статичні та динамічні випробування опор моста.

У даній статті розглядається загальна оцінка ризиків, а також підвищення безпеки мореплавства при повсюдному використанні новітніх морських технологій, таких, як віртуальні засоби навігації, що не було розглянуто в попередніх працях.

**Мета дослідження** – підвищення та надання відповідної оцінки рівня безпеки при зіткненні судна з мостом, а також розробка рекомендацій для зменшення наслідків аварії.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для кількісної оцінки рівня безпеки при зіткненні судна з мостом зазвичай застосовується концепція ризику. Ризик може бути визначений як поєднання ймовірності та наслідків після даного виду аварій. Небезпека зіткнення виникає при виході судна з безпечних водних меж.

Безпека моста може визначатися як його здатність протистояти експлуатаційним навантаженням при зіткненні із судном. Проблема полягає в тому, що багато мостів, в особливо історичних, не призначені для виконання цього критерію. Отже, згідно зі статистикою, за останні 50 років було знищено 29 мостів. Не зважаючи на те, що ризик зіткнення з мостом здається малоімовірним, наслідки такої події можуть бути катастрофічними. Найбільш серйозні аварії, пов'язані із зіткненням судно–міст відображені в статистичних даних, представлених на рис. 1 та в табл. 1.

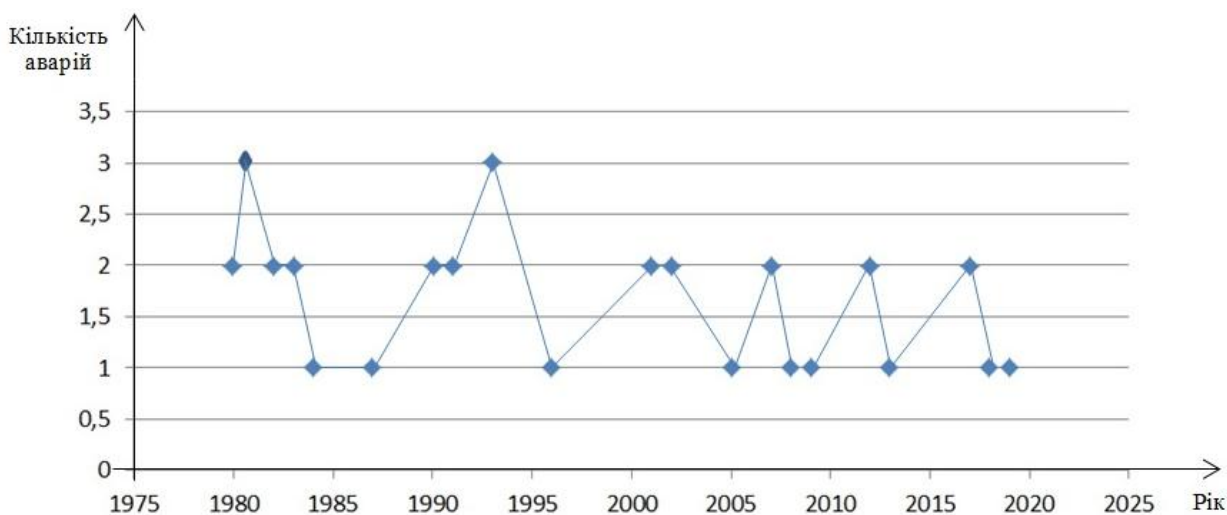


Рисунок 1 – Статистичний графік зіткнень суден і мостів упродовж 1975–2020 років

Таблиця 1 – Кількість загиблих у результаті зіткнення судно–міст (1960–2020)

<i>Назва моста / країна</i>	<i>Рік аварії</i>	<i>Кількість загиблих</i>
1	2	3
Severn River Railway/Великобританія	1960	5
5 Lake Ponchartain, США	1964	6
Sidney Lanier, США	1972	10
Lake Ponchartain, США	1974	3
Tasman, Австралія	1975	15
Pass Manchac, США	1976	1

Продовження табл. 1

1	2	3
Tjorn, Швеція	1980	8
Sunshine Skyway, США	1980	35
Lorraine Pipeline, Франція	1982	7
Sentosa Aerial Tramway, China	1983	7
Ульянівський залізничний, РФ	1983	176
Claiborn Avenue, США	1993	1
CSX/Amtrak Railroad, США	1993	47
Port Isabel, США	2001	8
Webber-Falls, США	2002	12
West Bridge, Данія	2005	1
Троїцький, РФ	2005	-
Bridge 19 in Welland Canal	2015	-
Технологічний, РФ	2016	-
Ломоносова, РФ	2017	-
Oshima Bridge	2018	-
Gwangan Bridge, South Korea	2019	-

Наслідки сучасних аварій:

– Західний міст у Великому поясі (m/v «Karen Danielsen») – зіткнення відбулося у 2005 році, під час аварії із судна збило два крани та зруйнувало верхню палубу, на борту спалахнула пожежа, старший офіцер був біля штурвала і загинув під час аварії, кілька інших членів екіпажу отримали важкі поранення, зокрема й капітан, міст не отримав структурних пошкоджень і зміг знову відкритися через кілька годин [17];

– міст № 19 Канал Велленда в районі Порт-Колборн (m/v «Lena J») – зіткнення відбулося у 2015 році, судно та міст зазнали сильного збитку, рух каналу було закрито на деякий час, що призвело до великих фінансових витратах [18];

– міст Ошима, який з'єднує місто Янай (m/v «Erna Oldendorff») – зіткнення відбулося у 2018 році, міст не поніс значної шкоди та залишився відкритим для руху транспорту, однак водопровідна труба під мостом була розірвана, залишивши тисячі людей без водопостачання на декілька днів, судно отримало помітні ушкодження [19];

– міст Гванган у Південній Кореї (m/v «Seagrand») – зіткнення відбулося у 2019 році, у моста після зіткнення утворилася п'ятиметрова діра, судно отримало помітні ушкодження надбудов [20].

Тому при плаванні оцінка ризику зіткнення судна з мостом є дуже важливою складовою, яка визначається наступними факторами:

– імовірність зіткнення з прольотами мосту, опорами та іншими мостовими конструкціями;

– найбільш відкриті місця зіткнення з мостом;

– можливі наслідки від збитків для судна / моста / навколишнього середовища;

– методи захисту моста (рейдова бочка, штучні острови тощо);

– інші методи зниження ризику (системи звітності, правила руху, маркування тощо).

Оцінка ризику складається з трьох етапів наступної процедури (рис. 2):

1) ідентифікація небезпеки;

2) оцінка ймовірності;

3) аналіз наслідків.



Рисунок 2 – Процедура оцінки ризику зіткнення судна з мостом

Існує кілька методів оцінки ризиків при зіткненнях суден з мостами. Найбільш важливими науковими методами, використовуваними для оцінки безпеки є:

1. Статистичні методи, засновані на базах даних про аварії;
2. Аналітичні методи;
3. Комп'ютерне моделювання експериментів:
  - моделювання в реальному часі та в режимі реального часу;
  - повні та спрощені комп'ютерні симулятори;
4. Реальні експерименти:
  - GPS-методи;
  - заміри за допомогою лазерів та тахеометрів;
  - фотограметричні дослідження.

Ризик  $R$  визначається як ймовірність утрат у певний час і висловлюється як множення ймовірності аварії та втрат в результаті інциденту. Якщо існує багато факторів ризику, загальний ризик виражається в такий спосіб:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i C_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  – ймовірність  $i$ -го нещасного випадку в даний момент часу ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $C_i$  – наслідки  $i$ -ї аварії в даний момент часу;  $n$  – кількість можливих аварій.

Для порівняння різних систем і використання припустимих критеріїв ризику слід увести міри ризику. Ці заходи можна розділити на індивідуальні та групові (соціальні). Індивідуально прийнятний ризик – це прийнятна ймовірність того, що окрема особа, залучена до дії за ризиком, буде результатом нещасного випадку з фатальними наслідками.

Це можна виразити як:

$$R_{ai} = P_a P_a / s \leq \beta_i 10^{-4}, \quad (2)$$

де  $P_a$  – ймовірність аварії на рік;  $P_a / s$  – ймовірність смерті у випадку аварії;  $\beta_i$  – коефіцієнт індивідуального ризику.

Соціально прийнятний ризик  $R_{ag}$  – це допустима ймовірність того, що внаслідок даної аварії буде мати лише присутні певна кількість смертей, що можна виразити як:

$$Rag = 1 - FN(n) = P(N > n) \leq \frac{Ci}{n}, \quad (3)$$

де  $1 - FN(n)$  – імовірність нещасного випадку з не менш ніж  $n$  загиблих;  $Ci$  – прийнятна ймовірність для  $n = 1$ .

Оцінку наслідків аварії при зіткненні судна з мостом можна розділити на три види (рис. 3):

- носове зіткнення з опорою моста;
- бокове зіткнення з опорою моста;
- зіткнення рубки (надбудови) з прольотом моста.

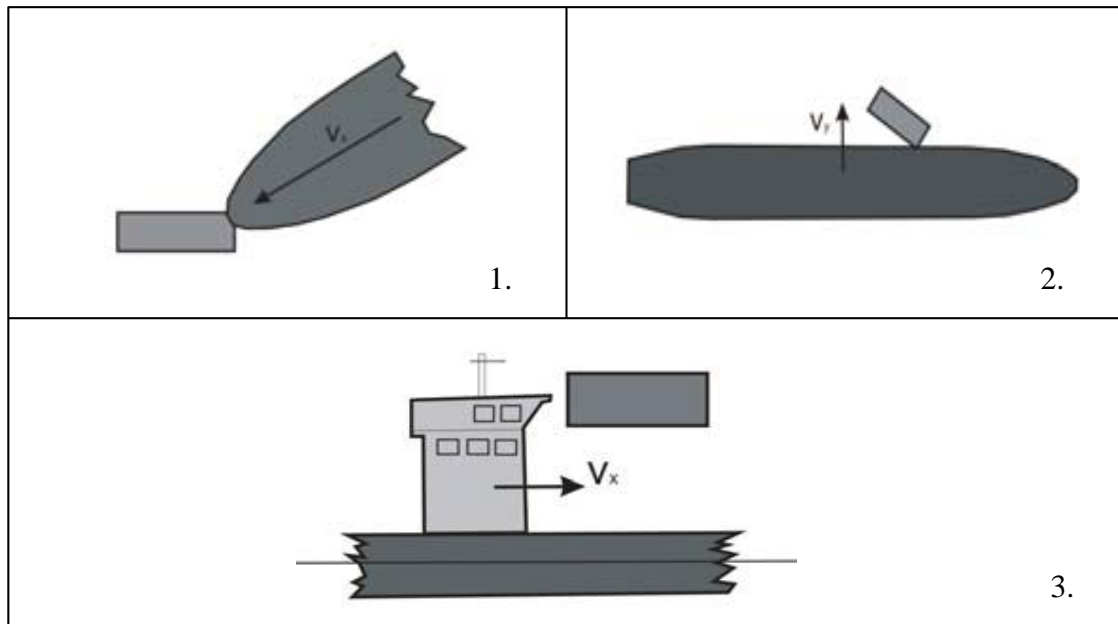


Рисунок 3 – Три види аварій при зіткненні судна з мостом

Найбільш поширеним є зіткнення з носом, за яких витрачається велика кількість енергії, яка несе руйнівні наслідки як для судна, так і для моста. Наслідки зіткнення судна з мостом залежать від наступних факторів:

- енергії судна, яка залежить від його маси, швидкості та виду удару;
- поглинання енергії судна при його структурному руйнуванні під час зіткнення;
- енергії поглинання елементів мосту.

Розглянемо декілька способів захисту мостів при зіткненні. Методи, які використовуються для малих і середніх суден довжиною менше ніж 100 метрів на малих швидкостях під час проходу, наступні:

- спрямовувальні кранці;
- кранці;
- швартові бочки.

Мостові огорожі для великих суден довжиною понад 100 м можна поділити наступним чином:

- швартові бочки;
- штучні острови;
- сталеві якірні дроти;
- плавучі понтони.

Використання будь-якого способу також залежить від глибини розташування стовпів моста та інших факторів.

На основі з вищезгаданого розроблено рекомендації для підвищення безпеки судноплавства під мостовими спорудами. Проводка судна під мостом обов'язково повинна

забезпечувати їх безаварійний рух через призначені судноплавні прольоти з необхідними інтервалами до опор та встановленим запасом по висоті. Рекомендований процес проводки повинен містити наступні елементи:

- визначення розташування судноплавного прольоту для даного напрямку руху;
- оцінки гідрометеорологічної обстановки в районі моста на момент підходу;
- вибір безпечного курсу;
- проходження під мостом і вихід на свій курс.

Слід ураховувати, що більшість морських аварій спричинені помилками екіпажу та неадекватними процедурами. Задля зменшення кількості аварій екіпаж повинен бути добре підготовлений.

Мости, розташовані уздовж навігаційного шляху, повинні мати певний загальний мінімальний запас висоти прольоту для всього водного шляху. Однак деякі мости іноді мають даний параметр нижче середнього. Залежно від рівня води такі мости можуть стати небезпечними через неусвідомлення судноводіїв недостатньої висоти прольоту, порівнюючи зі стандартним мінімальним значенням.

Для підвищення безпеки судноплавства на мостах повинні транслюватися віртуальні повідомлення ЗНО, що виділятимуть зону навколо та забезпечуватимуть фактичне значення запасу висоти прольоту (вертикальний зазор) у разі високого рівня води на конкретному об'єкті.

Віртуальні АІС ЗНО використовуються для маркування небезпек і перешкод. Наявний на судні бортовий ретранслятор AIS, ECDIS, ECS (Electronic Chart System) або AIS, сумісна з радіолокаційною системою, здатні попередити екіпаж про небезпеку зіткнення завчасно [21]. Також це допоможе при підході до багатопрогонного моста, щоб завчасно визначити розташування судноплавного прольоту для даного напрямку руху та порівняти габаритну висоту за позначками на опорах й інформаційними знаками з висотою свого судна. При перевищенні привести висотний габарит судна у відповідність шляхом прийняття баласту, завалювання щогл тощо. У ситуаціях, де реальні навігаційні знаки відсутні з будь-яких причин, необхідності в припиненні руху задля оцінки безпеки не буде за наявності віртуальних ЗНО.

**Висновки.** Розташовані на морських і внутрішніх судноплавних шляхах мостові переходи є уразливими об'єктами інфраструктури та мають такі особливості:

- обмежують навігаційні фарватери як у вертикальній, так і в горизонтальній площині, а навігаційні умови часто ускладнюються непередбачуваними течіями та вирами;
- в разі зіткнень із суднами та руйнувань мостів створюється загроза людям і транспортним засобам, які знаходяться на або біля споруди;
- вартість моста, зазвичай, значно більше вартості самого судна.

При підході судна до моста необхідно виконати ретельну підготовку, а також усі вимоги з безпеки, заздалегідь повинні бути відомі габарити ходового прольоту моста та габарити судна з урахуванням наявних рівнів та інформації з навігаційних карт. Для впевненості у відповідності параметрів слід зв'язатися з диспетчером руху для отримання необхідної інформації. Прохід під мостом дозволяється тільки через призначені для цієї мети судноплавні прольоти, обладнані діючими навігаційними знаками та вогнями. Особливі умови проходу під мостами зумовлені їх конструкцією, розташуванням і гідрологічними особливостями шляху, всі ці фактори також необхідно враховувати.

Для мінімізації ризиків і наслідків позаштатної ситуації пропонується сформувати «інтелектуальну» акваторію в районі судноплавної зони моста. За базову концепцію рекомендується використовувати закордонний і вітчизняний досвід реалізації стратегії е-навігації в прибережній зоні та районах дії СУРС [22].

Можна зазначити наступні основні причини аварійності при навігації у судноплавній зоні мостів:

- недостатня підготовка судноводіїв до роботи в особливих ситуаціях;
- технічна зношеність суден;

- оснащення суден застарілими навігаційними приладами й системами;
- недостатня оснащеність фарватерів навігаційними знаками та навігаційним обладнанням;
- зміна гідрометеорологічних і гідрологічних факторів.

Для підвищення рівня безпеки в судноплавній зоні моста пропонується використовувати не тільки пасивні конструктивні елементи захисту (штучні острівці, відбійники, пали), але й розглянути можливість використання активних елементів контролю у вигляді електронної системи визначення та попередження зіткнення судно-міст з використанням технології доповненої реальності [23]. Дана технологія дозволяє візуалізувати інформацію технічних засобів судноводіння в робочій зоні переходу, не відволікаючись від контролю реальної навігаційної обстановки.

Стосовно візуальних ЗНО, на яких у сучасному часі базується лоцманське забезпечення у вузькостях, на підходах і в акваторіях, у даному варіанті повинно бути не тільки на воді та суші, так само й на конструкціях мостів. Тому важливо мати можливість контролю місця розташування судна щодо осі фарватеру не тільки в режимі реального часу, а й у достовірному вигляді завдяки поєднанню реальної та доповненої картин району плавання. Використання сучасних радіонавігаційних систем та ЕКНІС відкриває широкі можливості для впровадження нових підходів до встановлення безпеки мореплавства з використанням віртуальних ЗНО.

В якості альтернативи використання АІС у таких місцях, де існує висока концентрація засобів навігації, пропонується використовувати модулі моніторингу по радіоканалу UHF (MF UHF або MTU 300). Ці модулі, в які вбудований 12-канальний приймач GPS, забезпечують положення буя або маяка в режимі реального часу.

Для використання представленого методу необхідно провести розрахунок ефективності покриття базовими станціями АІС на необхідній місцевості з метою здійснення спостереження за навігаційною обстановкою, контролю та передачею судноводіям каналами АІС оперативної навігаційної інформації про стан ЗНО (зокрема й віртуальних ЗНО), їх місце розташування та режими роботи.

Такий підхід дозволить не тільки оцінити ризики безпеки навігації в судноплавній зоні моста, але і ввести додаткові активні елементи контролю при плаванні в небезпечних зонах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Столкновения с мостами. *Электронный морской журнал*. URL : <http://www.morvesti.ru/themes/1693/71176/>
2. Formal Safety Assessment (IMO). *Official website of International Maritime Organization*. URL : <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/SafetyTopics/Pages/FormalSafetyAssessment.aspx>
3. *1991 Aashto Annual Meeting Proceedings: Selected Committee Meeting Papers Presented at the Seventy-Seventh Annual Meeting of the American Association – May 1, 1992*. URL : <https://policy.transportation.org/aashto-annual-meeting/>
4. Auslegungen zu DIN 1055-9 «Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen». Stand der Auslegungen: Oktober 2007. URL : <https://www.din.de/resource/blob/77472/af0b5a373f53d9d56c29e54672738a63/auslegungen-zu-din-1055-9-data.pdf>
5. *EN 1991-1-1 (2002) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings*. Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC. URL : <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.1.2002.pdf>

6. Ship Collision Analysis. Edited by Henrik Gluver and Dan Olsen (Larsen 1993). URL: <https://books.google.com.ua/books?id=FxwuDwAAQBAJ&pg=PT176&dq=Larsen+1993+Collision&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiS3X9yffpAhWaAxAIHRNvBJEQ6AEIMDAB#v=onepage&q=Larsen%201993%20Collision&f=false>
7. Мотрич В. Н. Столкновения судов и их предупреждение. Новый взгляд. Издательство: BHV, 2017. 349 с.
8. Проводка судов в местах расположения мостов. *Электронный морской журнал*. URL: <http://studepedia.org/index.php?vol=1&post=78450>
9. Guide Specifications and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges Second Edition 2009. URL : [https://books.google.com.ua/books?id=V3jQalaH47UC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=V3jQalaH47UC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
10. Larsen O.D. Ship Collision with Bridges: The Interaction between Vessel Traffic and Bridge Structures. IABSE, 1993. 131 p.
11. Risk assessment of bridge collision – using Monte Carlo Simulation. URL : <https://www.sspa.se/safety-security-and-risk/risk-assessment-bridge-collision-using-monte-carlo-simulation>
12. Зайков В. И., Колосов М. А. Повышение безопасности при движении судов под мостами. URL : <http://rostransport.com/transportrf/archiv/text.php?ID=&pdf=10531>
13. Knott M., Winters M. Ship and barge collision with bridge over navigable waterway. *Electronic Marine Journal*. URL : <https://pdfs.semanticscholar.org/1783/5fb7e9b809f641e4769fe8292a53f7903d6a.pdf>
14. DAI Tong-yu, NIE Wu, LIU Ying - jie , WANG Li-ping, Statistical Analysis of Ship Collisions with Bridges in China Waterway. *Journal of Marine Science and Application*, Vol. 1, No. 2, December 2002. P. 28.
15. Holger Svensson, Protection of bridge piers against ship collision. *Steel Construction* 2 (2009). Articles DOI: 10.1002/stco.200910004. P. 21–32.
16. ДБН В.2.3-XX:201X. Державні будівельні норми України, мости та труби, обстеження та випробування. Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України 201X. 20 с. (Інформація та документація).
17. Danielsen K. Collision with the Great Belt West Bridge 3 March 2005. The joint Bahamas Maritime Authorities & Danish Division for Investigation of Maritime Accidents report. URL : <https://www.bahamasmaritime.com/wp-content/uploads/2015/08/KAREN-DANIELSON-FINAL-REPORT-Mar-2005.pdf>
18. Voytenko M. Lena J collided with bridge in Colborne, Canada. *Electronic Marine News Journal FleetMon*. URL : <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2015/9583/lena-j-collided-bridge-colborne-canada/>
19. Voytenko M. OLDENDORFF cargo ship collided with bridge, thousands cut off water, Japan. *Electronic Maritime Bulletin*. URL : <http://www.maritimebulletin.net/2018/10/22/oldendorff-cargo-ship-collided-with-bridge-thousands-cut-off-water-japan/>
20. Cheromcha K. Cargo Ship Led by Drunk Russian Captain Crashes into Major South Korea Bridge. *Electronic Marine News Journal The Drive*. URL : <https://www.thedrive.com/news/26693/cargo-ship-led-by-drunk-russian-captain-crashes-into-major-south-korea-bridge>
21. Голюков А. О., Олійник Ю. О. Актуальність використання віртуальних ЗНО на внутрішніх водних шляхах України. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на*



*транспорті MINTT-2020* : зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 27–29 травня 2020 р. Херсон, 2020.

22. E-navigation Portal (IALA). *Official website of The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities*. URL : <https://www.iala-aism.org/technical/e-navigation/>

23. Бошков И. И., Крутикова А. А. Системы дополнительной реальности для морской навигации. *Технические науки*. 2018. № 8. – С. 6–8. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-dopolnennoy-realnosti-dlya-morskoy-navigatsii/viewer>

## REFERENCES

1. Stolknoveniya s mostami. *Elektronny`j morskoy zhurnal*. URL: <http://www.morvesti.ru/themes/1693/71176/>

2. Formal Safety Assessment (IMO). *Official website of International Maritime Organization*. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/SafetyTopics/Pages/FormalSafetyAssessment.aspx>

3. 1991 Aashto Annual Meeting Proceedings: Selected Committee Meeting Papers Presented at the Seventy-Seventh Annual Meeting of the American Association – May 1, 1992. URL: <https://policy.transportation.org/aashto-annual-meeting/>

4. Auslegungen zu DIN 1055-9 «Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen». Stand der Auslegungen: Oktober 2007. URL: <https://www.din.de/resource/blob/77472/af0b5a373f53d9d56c29e54672738a63/auslegungen-zu-din-1055-9-data.pdf>

5. EN 1991-1-1 (2002) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings. Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC. URL: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.1.2002.pdf>

6. Ship Collision Analysis. Edited by Henrik Gluver and Dan Olsen (Larsen 1993). URL: <https://books.google.com.ua/books?id=FxwuDwAAQBAJ&pg=PT176&dq=Larsen+1993+Collision&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiS3X9yffpAhWaAxAIHRNvBJEQ6AEIMDAB#v=onepage&q=Larsen%201993%20Collision&f=false>

7. Motrich V. N. (2017). Stolknoveniya sudov i ix preduprezhdenie. Novy`j vzglyad. Izdatel`stvo: BHV. 349 s.

8. Provodka sudov v mestax raspolozheniya mostov. *Elektronny`j morskoy zhurnal*. URL: <http://studopedia.org/index.php?vol=1&post=78450>

9. Guide Specifications and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges Second Edition 2009. URL: [https://books.google.com.ua/books?id=V3jQalaH47UC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=V3jQalaH47UC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

10. Larsen O.D. Ship Collision with Bridges: The Interaction between Vessel Traffic and Bridge Structures. IABSE, 1993. 131 p.

11. Risk assessment of bridge collision – using Monte Carlo Simulation. URL: <https://www.sspa.se/safety-security-and-risk/risk-assessment-bridge-collision-using-monte-carlo-simulation>

12. Zajkov V. I., Kolosov M. A. Povy`shenie bezopasnosti pri dvizhenii sudov pod mostami. URL: <http://rostransport.com/transportrf/archiv/text.php?ID=&pdf=10531>

13. Knott M., Winters M. Ship and barge collision with bridge over navigable waterway. *Electronic Marine Journal*. URL : <https://pdfs.semanticscholar.org/1783/5fb7e9b809f641e4769fe8292a53f7903d6a.pdf>
14. DAI Tong-yu, NIE Wu, LIU Ying - jie , WANG Li-ping (2002). Statistical Analysis of Ship Collisions with Bridges in China Waterway. *Journal of Marine Science and Application*, Vol. 1, No. 2. P. 28.
15. Holger Svensson. (2009). Protection of bridge piers against ship collision. *Steel Construction 2*. Articles DOI: 10.1002/stco.200910004. P. 21–32.
16. DBN V.2.3-XX:201X. Derzhavni budivel`ni normy` Ukrayiny`, mosty` ta truby`, obstezhennya ta vy`probuvannya. Ministerstvo regional`nogo rozvy`tku budivny`ctva ta zhy`tlovo-komunal`nogo gospodarstva Ukrayiny` 201X. 20 s. (Informaciya ta dokumentaciya).
17. Danielsen K. Collision with the Great Belt West Bridge 3 March 2005. The joint Bahamas Maritime Authorities & Danish Division for Investigation of Maritime Accidents report. URL: <https://www.bahamasmaritime.com/wp-content/uploads/2015/08/KAREN-DANIELSON-FINAL-REPORT-Mar-2005.pdf>
18. Voytenko M. Lena J collided with bridge in Colborne, Canada. *Electronic Marine News Journal FleetMon*. URL : <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2015/9583/lena-j-collided-bridge-colborne-canada/>
19. Voytenko M. OLDENDORFF cargo ship collided with bridge, thousands cut off water, Japan. *Electronic Maritime Bulletin*. URL : <http://www.maritimebulletin.net/2018/10/22/oldendorff-cargo-ship-collided-with-bridge-thousands-cut-off-water-japan/>
20. Cheromcha K. Cargo Ship Led by Drunk Russian Captain Crashes into Major South Korea Bridge. *Electronic Marine News Journal The Drive*. URL : <https://www.thedrive.com/news/26693/cargo-ship-led-by-drunk-russian-captain-crashes-into-major-south-korea-bridge>
21. Golikov A.O., Olijny`k Yu.O. (2020). Aktual`nist` vy`kory`stannya virtual`ny`x ZNO na vnutrishnix vodny`x shlyaxax Ukrayiny`. *Suchasni informacijni ta inovacijni texnologiyi na transporti MINTT-2020*: zb. tez dop. mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Xerson, 27-29 trav. 2020r. Xerson.
22. E-navigation Portal (IALA). *Official website of The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities*. URL: <https://www.iala-aism.org/technical/e-navigation/>
23. Boshkov I. I., Krutikova A. A. (2018). Sistemy` dopolnitel`noj real`nosti dlya morskoy navigacii. *Texnicheskie nauki*. № 8. S. 6–8. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-dopolnennoy-realnosti-dlya-morskoy-navigatsii/viewer>

**Голіков А. А., Олейник Ю. А. ОЦЕНКА РИСКОВ И УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ СУДНА С МОСТОМ**

*В статье рассматриваются виды, факторы, причины и последствия аварий при столкновении судна с мостом. Эта проблема является достаточно актуальной на сегодняшний день, так как, несмотря на современный уровень развития морской отрасли, подобные аварии происходят ежегодно. Это вызывает необходимость принимать меры по повышению безопасности навигации имеющихся зон. В работе была представлена процедура оценки уровня безопасности и этапы выявления рисков, путем определения вероятности столкновения с пролетами моста, опорами и другими конструкциями, определение наиболее уязвимых мест, а также возможные последствия такого повреждения (судна, городов, окружающей среды). Рассмотрены методы защиты моста и методы снижения риска. Результатами исследования является разработка рекомендаций для избежания возможной опасности, смягчение последствий и уменьшение рисков при столкновении судна с*

мостом. В статті предложена імплементація сучасних морських технологій, таких, як віртуальні засоби навігації і технології додаткової реальності, які в значительній ступені покращують моніторинг за оточуючим середовищем, відповідно, таке впровадження зменшує ризик виникнення аварійної ситуації. Забезпечення застосування повного спектра доступними методами необхідно для визначення ризику і захисту мостів від нещасливих випадків.

**Ключевые слова:** зіткнення судів з мостами, оцінка рівня безпеки, виявлення ризиків, уникнення небезпек, розробка рекомендацій.

**Golikov A. A., Oleynik J. A. RISK AND SAFETY LEVEL ASSESSMENT OF SHIP — BRIDGE COLLISION**

*Bridges located on maritime and inland waterways are defenseless objects of infrastructure. One of their main features is the restriction of navigation channels, both vertically and horizontally, while navigation conditions may often be challenged by unpredictable currents and whirlpools. A great threat to people and vehicles on or near the structure occurred in case of a collision with ships and the destruction of bridges. Also, the consequences of such accidents are considerable financial expenses, where the cost of the bridge is usually much more than the cost of the vessel itself. The article addresses the issue of types, factors, causes and consequences of ship-bridge collision accidents. In spite of the modern level of development in the maritime industry such accidents occur annually, thus this problem is considered to be relevant nowadays. It is necessary to take measures to increase the safety of navigation in appropriate zones. The article presents the procedure for assessing the level of safety and the stages of identifying risks by determining the probability of a collision with bridge spans, supports and other structures, also identifying the most defenseless places, as well as the possible consequences of such damage (ship, city, environment). In addition, the paper considered the methods of protecting the bridge from collision and methods for reducing navigational risk. The results of the research are the development of the recommendations for avoiding possible dangers, mitigation of consequences, and reducing risks of vessel-bridge collision. It is proposed to form an "intellectual" zone in the navigable water area under the bridge to minimize the risks and consequences of an emergency. As a basic concept, it is recommended to use foreign and domestic experience in implementing the e-navigation strategy in the coastal zone and in the operational VTS areas.*

*The article describes the implementation of modern marine technologies, such as virtual navigation aids and technologies of additional reality, which will significantly improve monitoring of the environment. Therefore, this introduction will reduce the risk of an emergency. Ensuring the full spectrum of available methods is necessary to determine risk and protect bridges from accidents. Such an approach shall allow not only to assess the risk of ship-bridge collision, but also to introduce additional active control elements during navigation in dangerous zones.*

**Keywords:** ship-bridge collision, accident, safety levels, identifying risks, prevent hazards, virtual navigation aids, technologies.

© Голіков А. О., Олійник Ю. А.

Статтю прийнято  
до редакції 26.04.20