

Ганношина І.М.

ОЦІНКА ФАКТОРІВ РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН З ВИКОРИСТАННЯМ ПОСТУПОВОЇ РЕГРЕСІЇ

Метою даної статті є розробка методу поступової регресії оцінки факторів ризику зіткнення суден, який дозволяє більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення шляхом включення в модель тільки тих факторів ризику зіткнення, які мають статистично значущий зв'язок з ймовірністю зіткнення. Зіткнення кораблів – один з найпоширеніших інцидентів на морі. Вони можуть призвести до серйозних наслідків, таких як травми, загибель людей і забруднення. Важливо провести оцінку ризиків зіткнення, щоб запобігти їм. Оцінка ризику зіткнення суден містить виявлення факторів, які можуть призвести до зіткнення, та оцінку ймовірності таких зіткнень. В останні роки все більшого поширення набувають інтелектуальні методи оцінки ризиків зіткнення. Вони дозволяють проводити більш ефективну і точну оцінку ризиків, ніж традиційні методи. У даній роботі був проведений огляд існуючих досліджень в області оцінки факторів ризику зіткнення. Була формально визначена задача оцінки факторів ризику зіткнення і попередньо оброблені використовувані дані. Основним результатом роботи є розроблена методика поступової регресії та її застосовність для оцінки факторів ризику зіткнення суден. У роботі виявлено та відібрано фактори ризику, які можуть вплинути на ймовірність зіткнення суден, проведено аналіз взаємозв'язку між цими факторами. Результати експерименту показали, що найбільш статистично значущими факторами ризику зіткнення є відстань між кораблями, різниця курсу, швидкість судна, видимість і погодні умови. Найбільший вплив на ймовірність зіткнення надавала відстань між судами, за якою слідувала різниця курсу. Швидкість судна, видимість і погода також впливають, але менше. Ці результати підкреслюють необхідність врахування цих факторів при управлінні судном для зниження ризику зіткнення. В якості пропозицій для майбутніх досліджень рекомендується розширити вибірку даних, проаналізувати дані зіткнень за більш тривалий період часу, проаналізувати дані зіткнень в різних умовах, а також розробити заходи щодо зниження ризику зіткнення суден на основі аналізу ризиків.

Ключові слова: оцінка ризиків, факторний аналіз, метод поступової регресії, оцінка ймовірності зіткнення, інтелектуальні методи, безпека на морі..

Постановка проблеми. Зіткнення суден є одним з найпоширеніших видів морських аварій. Вони можуть привести до серйозних наслідків, аж до травм, загибелі людей і забруднення. Щоб запобігти зіткненням, важливо провести оцінку ризику зіткнення. Оцінка ризику зіткнення суден – це процес, який дозволяє виявити фактори, які можуть призвести до зіткнення, і оцінити ймовірність такого зіткнення.

Оцінка ризику зіткнення може проводитися за допомогою різних методів. Найбільш поширеним методом є аналіз даних зіткнення суден. Цей метод дозволяє виявити найбільш поширені фактори ризику зіткнення і оцінити їх вплив на ймовірність зіткнення. Ще одним методом оцінки ризиків зіткнень є моделювання. Моделювання дозволяє змоделювати рух кораблів і оцінити ймовірність зіткнення. Моделювання може бути використано для оцінки ефективності різних заходів щодо зниження ризику зіткнення.

Оцінка ризику зіткнення суден є важливим інструментом запобігання зіткненням суден. Він дозволяє виявити фактори, які можуть привести до зіткнення і оцінити ймовірність цього

зіткнення. Ця інформація може бути використана для розробки заходів щодо зниження ризику зіткнення і забезпечення безпеки судноплавства.

Останнім часом все більшого поширення набувають методи оцінки ризиків зіткнень суден з використанням інтелектуальних методів. Інтелектуальні методи дозволяють оцінити ризики зіткнень більш ефективно і точно, ніж традиційні методи. До найбільш поширених інтелектуальних методів оцінки ризиків зіткнень відносяться:

1. Машинне навчання, яке дозволяє навчати моделі на даних зіткнення суден і використовувати ці моделі для оцінки ймовірності зіткнення.

2. Глибоке навчання, за допомогою якого здійснюється навчання моделі на великих обсягах даних, а далі ці моделі використовуються для більш точного прогнозування ймовірності зіткнення.

3. Обробка природної мови, яка дозволяє аналізувати текстові дані, такі як розклад суден, прогнози погоди і т. д., і використовувати цю інформацію для оцінки ймовірності зіткнення.

Інтелектуальні методи оцінки ризиків зіткнення суден мають ряд переваг перед традиційними методами. Вони дозволяють оцінити ризики зіткнень більш ефективно, точно і з урахуванням більшої кількості факторів. Це може допомогти зробити навігацію безпечнішою та запобігти зіткненню суден.

У даній роботі розглядається метод поступової регресії – статистичний метод, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення суден в рамках методів машинного навчання. Метод поступової регресії дозволяє додавати до моделі тільки ті фактори, які мають статистично значущу залежність з ймовірністю зіткнення. Наслідком такого підходу є більш точна оцінка ймовірності зіткнення і розробка більш ефективних заходів щодо зниження ризику зіткнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день значна кількість досліджень присвячена аналізу використання інтелектуальних методів для оцінки ризику зіткнення суден [1 - 9].

Наприклад, у статті [1] зазначено, що ідентифікація та оцінка ймовірності та наслідків морських аварій була ключовим напрямком досліджень у морській галузі. Однак традиційні методи, використовувані для оцінки морського ризику, мають певні недоліки. Враховуючи зростаючу увагу до машинного навчання під наглядом та додатків великих даних для оцінки безпеки в інших дисциплінах, було проведено всебічний огляд навчальної літератури з цієї теми в морській сфері. Огляд містить прогнози виникнення аварій, тяжкості аварій, затримок суден і ризику їх зіткнення. Зокрема, порівнюються мета, методи, набори даних й особливості таких досліджень, щоб краще зрозуміти, як такий підхід може бути застосований на практиці і його відносні переваги. Також було визначено кілька ключових питань у рамках цих тем, таких як доступність та репрезентативність наборів даних та методологічні питання, пов'язані з прозорістю, моделюванням та оцінкою результатів. Хоча багато з цих висновків зосереджені на морській сфері, вони однаково стосуються інших транспортних тем. Таким чином, в роботі [1] висвітлено як нові сфери застосування цих методів для забезпечення безпеки мореплавства, так і ключові проблеми, які потребують подальших досліджень з метою посилення даного методичного підходу. Багато з цих висновків однаково стосуються інших транспортних тем. Таким чином, дана робота висвітлює як нові застосування цих методів для безпеки на морі, так і ключові питання, які вимагають подальших досліджень для посилення цього методологічного підходу.

У статті [2] запропоновано метод оцінки ризиків морських перевезень в Арктиці з використанням байєсівської мережі. Байєсівська мережа – це графічна модель, яка дозволяє визначити взаємозв'язки між різними факторами, що впливають на ризик. Метод був застосований до набору даних про зіткнення кораблів в Арктиці. Результати показують, що льодові умови є основним фактором ризику, за яким слідує навігаційні обмеження та погодні умови. Метод, запропонований в даній статті, може бути використаний для оцінки ризиків морських перевезень в Арктиці і розробки заходів щодо зниження цих ризиків.

У статті [3] запропоновано метод нормалізації даних САІ для аналізу морських аварій. Метод складається з таких етапів: збір даних AIS з різних джерел, очищення та обробка даних AIS, нормалізація даних AIS за допомогою стандартизованого формату, аналіз даних AIS за допомогою статистичних методів. Метод, запропонований у цій статті, був застосований до набору даних про морські втрати, які сталися протягом одного року. Результати показують, що метод дозволяє отримати більш повну картину морських аварій і більш точно оцінити ризики. Метод, запропонований у даній статті, може бути використаний для підвищення безпеки судноплавства і розробки заходів щодо зниження ризиків морських аварій.

Метою статті є розробка методу поступової регресії оцінки факторів ризику зіткнення суден, який дозволяє більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення шляхом включення в модель тільки тих факторів ризику зіткнення, які мають статистично значущий зв'язок з ймовірністю зіткнення.

Викладення основного матеріалу дослідження. У даній роботі завдання оцінки факторів ризику зіткнення суден розглядається як завдання визначення ймовірності зіткнення двох і більше суден.

Формально ймовірність зіткнення суден можна визначити як

$$P(C) = f(A, B, C, D, E, \dots), \quad (1)$$

де $P(C)$ – ймовірність зіткнення;

A, B, C, D, E, \dots – фактори ризику зіткнення;

f – функція, що визначає залежність ймовірності зіткнення від факторів ризику.

У той же час дані, які можуть бути використані для оцінки факторів ризику зіткнень, містять такі види інформації:

- 1) відомості про судна;
- 2) інформація про навколишнє середовище;
- 3) відомості про людський фактор.

Дані повинні бути попередньо оброблені, перш ніж вони можуть бути використані для оцінки факторів ризику зіткнення. До попередньої обробки даних входять такі завдання:

- очищення даних від помилок;
- перетворення даних в один формат;
- нормалізація даних;
- підбір функцій.

Після попередньої обробки даних вони можуть бути використані для оцінки факторів ризику зіткнення суден.

Метод поступової регресії – це статистичний метод, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення суден [10, 11]. Метод поступової регресії дозволяє використовувати у моделі тільки ті фактори, які мають статистично значущу залежність з ймовірністю зіткнення. За допомогою такого підходу можна більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення.

Метод поступової регресії працює таким чином (рис. 1):

1. На першому кроці у модель включають всі фактори ризику зіткнення

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – фактори ризику зіткнення.

2. На кожному подальшому етапі оцінюється внесок кожного фактору в ймовірність зіткнення

$$\Delta R^2 = R^2(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) - R^2(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

де R^2 – коефіцієнт детермінації.

3. Коефіцієнт з найменшим внеском видаляється з моделі:

$$x_i = \operatorname{argmin}_i \Delta R^2. \quad (4)$$

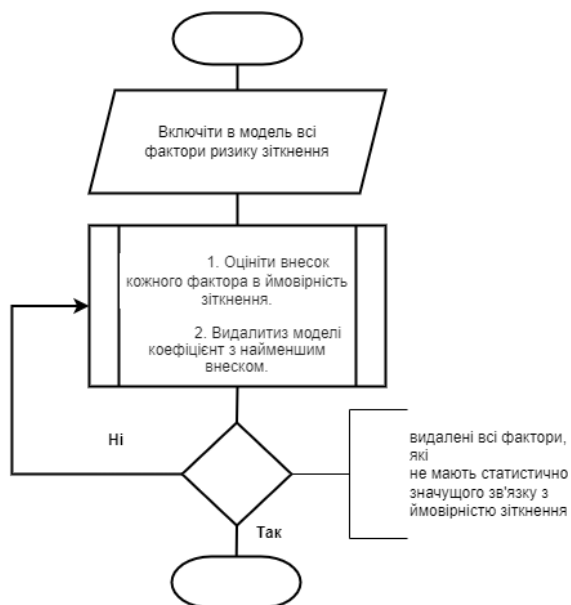


Рисунок 1 – Узагальнена структура методу поступової регресії

Процес повторюється до тих пір, поки з моделі не будуть видалені всі фактори, які не мають статистично значущої залежності з ймовірністю зіткнення.

Метод поступової регресії має такі переваги:

1. Більш точна оцінка ймовірності зіткнення у порівнянні з традиційними методами регресії.
2. Простота, тобто метод поступової регресії легко зрозуміти та використовувати.
3. Гнучкість: метод поступової регресії може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення в різних умовах.

Однак метод поступової регресії має певні обмеження:

1. Вимагає великого обсягу для точної оцінки ймовірності зіткнення.
2. Чутливість до викидів у даних.
3. Можливі труднощі з інтерпретацією результатів.

Незважаючи на свої обмеження, метод поступової регресії є потужним статистичним методом, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення. Метод поступової регресії дозволяє отримати більш точну оцінку ймовірності зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення.

Методика виявлення та вибору факторів ризику, які можуть вплинути на ймовірність зіткнення судна, містить такі кроки:

1. Визначення всіх потенційних факторів ризику зіткнення на основі аналізу дані про зіткнення суден, а також консультацій з фахівцями в області безпеки на морі.
2. Оцінка впливу кожного фактору ризику на ймовірність зіткнення за допомогою статистичних методів, наприклад методу як регресійного аналізу.
3. Вибір факторів ризику, які мають найбільший вплив на ймовірність зіткнення. Ці фактори будуть використані для розробки заходів щодо зниження ризику зіткнення.

Розглянемо деякі приклади факторів ризику, які можуть вплинути на ймовірність зіткнення судна:

1. Групові фактори F_1 , пов'язані з судном: тип і розмір судна, його потужність, стан і екіпаж.

2. Групові фактори F_2 , екологічні: погодні умови, видимість, навігаційні умови, рух інших суден.

3. Групові фактори F_3 , пов'язані з людським фактором: помилки капітана, помилки членів екіпажу, втома, зловживання психоактивними речовинами тощо.

Виконаємо докладний опис аналізу обраних факторів і їх взаємозв'язку.

Групові фактори F_1 , пов'язані з судном:

1. Тип судна може мати великий вплив на ймовірність зіткнення. Наприклад, танкери більш схильні до зіткнень, ніж інші типи суден через велику довжину і ширину.

2. Розмір судна також може вплинути на ймовірність зіткнення. Більші судна більш схильні до зіткнень, ніж менші через їх більшу масу і більшу інерцію.

3. Потужність судна також впливає на ймовірність зіткнення. Більш потужні судна більш схильні до зіткнень, ніж менш потужні через їх більшу швидкість і більшу здатність швидко змінювати курс.

4. Стан судна безпосередньо може вплинути на ймовірність зіткнення. Судно, яке знаходиться в поганому стані, більш схильне до зіткнень, у порівнянні з судном, яке знаходиться в хорошому стані.

5. Екіпаж судна може є одним з факторів, що впливає на ймовірність зіткнення. Екіпаж, який є некваліфікованим або недосвідченим, більш схильний до помилок, які можуть призвести до зіткнення.

Групові фактори F_2 , екологічні:

1. Погодні умови (наприклад, туман, дощ і сніг тощо) можуть погіршити видимість і ускладнити навігацію, що може призвести до зіткнень.

2. Видимість є ключовою умовою, що також може впливати на ймовірність зіткнення. Погана видимість може ускладнити спостереження за іншими судами, що може привести до зіткнень.

3. Навігаційні умови, наприклад, вузькі проходи або складний рельєф місцевості, можуть ускладнити маневрування суден, що може привести до зіткнень.

4. Рух інших суден також необхідно враховувати при оцінці ймовірності зіткнення. Наприклад, судно, яке рухається занадто швидко або в небезпечному напрямку, більш схильне до зіткнень.

Групові фактори F_3 , пов'язані з людським фактором:

1. Помилки капітана можуть суттєвим чином впливати на ймовірність зіткнення. Наприклад, капітан, який не звертає уваги на інші судна, більш схильний до зіткнень.

2. Помилки членів екіпажу, особливо тих, хто стежить за навігацією, можуть привести до зіткнень.

3. Втома. Капітан або члени екіпажу, які втомилися, більш схильні до помилок, які можуть привести до зіткнень.

4. Зловживання психоактивними речовинами з боку капітана або членів екіпажу можуть призвести до помилок, наслідком яких становиться зіткнення.

Фактори, пов'язані з судном, навколишнім середовищем і людським фактором, можуть взаємодіяти один з одним, що може ще більше збільшити ймовірність зіткнення. Наприклад, судно, яке рухається в тумані, більш схильне до зіткнень, ніж судно, яке рухається в гарну погоду.

Практичний експеримент проводився за допомогою комп'ютерного моделювання руху суден назустріч один одному. При цьому було визначено, що судна оснащені системами автоматичного запобігання зіткнень (AIS), які збирали дані про місцезнаходження, курс і швидкість суден. Дані були зібрані протягом однієї години. Вибірка даних складалася з 1 000 записів. Кожен запис містив дані про розташування, курс і швидкість двох суден, а також

інформацію про погоду і видимість. Метод поступової регресії використовувався для оцінки факторів ризику зіткнення.

В ході аналізу результатів експерименту встановлено, що найбільш статистично значущу залежність від ймовірності зіткнення мають такі фактори ризику зіткнення: відстань між суднами, різниця їх курсів, швидкість судна, видимість і погода. Відстань між суднами найбільш сильно впливала на ймовірність зіткнення. Другим найбільшим впливом була різниця в курсах суден. Швидкість, видимість і погода суден також вплинули на ймовірність зіткнення, але їх вплив був дещо меншим.

Таким чином, отримані результати показують, що відстань між суднами, різниця їх курсів, швидкість суден, видимість і погода є основними факторами ризику зіткнення суден. Для зниження ймовірності зіткнення необхідно враховувати ці фактори при управлінні суднами та моделюванні ситуацій.

Висновки. Зіткнення суден є одним з найпоширеніших видів морських аварій. Вони можуть привести до серйозних наслідків, аж до травм, загибелі людей і забруднення. Для запобігання зіткненням важливо провести оцінку ризику зіткнення. Метод поступової регресії є потужним статистичним методом, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення суден. Метод поступової регресії дозволяє включати в модель тільки ті фактори ризику зіткнення, які мають статистично значущу залежність з ймовірністю зіткнення. Це дозволяє більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення.

В якості пропозицій для майбутніх досліджень виділяємо таке: розширення вибірки даних для аналізу; аналіз даних про зіткнення суден, зібраних за більш тривалий період часу та в різних умовах; розробка заходів щодо зниження ризику зіткнення суден з урахуванням результатів аналізу факторів ризику зіткнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Andrew Rawson & Mario Brito (2023) A survey of the opportunities and challenges of supervised machine learning in maritime risk analysis, *Transport Reviews*, 43:1, 108-130, DOI: 10.1080/01441647.2022.2036864.
2. Baksh, A., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2018). Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters. *Ocean Engineering*, 159, 422–436. doi:10.1016/j.oceaneng.2018.04.024 .
3. Bye, R., & Almklov, P. (2019). Normalization of maritime accident data using AIS. *Marine Policy*, 109. doi:10.1016/j.marpol.2019.103675.
4. Bye, R., & Aalberg, A. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering and System Safety*, 176, 174–186. doi:10.1016/j.ress.2018.03.033.
5. Chai, T., Xue, H., Sun, K., & Weng, J. (2020). Ship accident prediction based on improved quantum-behaved PSO-LSSVM. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. doi:10.1155/2020/8823322.
6. Chen, C., Chen, X., Ma, F., Zeng, X., & Wang, J. (2019). A knowledge-free path planning approach for smart ships based on reinforcement learning. *Ocean Engineering*, 189. doi:10.1016/j.oceaneng.2019.106299 .
7. Chen, P., Huang, Y., Mou, J., & van Gelder, P. (2019). Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State of the art. *Safety Science*, 117, 108–122. doi:10.1016/j.ssci.2019.04.014.
8. Coraddu, A., Oneto, L., Maya, B., & Kurt, R. (2020). Determining the most influential human factors in maritime accidents: A data-driven approach. *Ocean Engineering*, 211. doi:10.1016/j.oceaneng.2020.107588.

9 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 and System Safety*, 200. doi:10.1016/j.res.2020.106933.

10. Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: A probabilistic perspective*. MIT Press.

11. Tibshirani, R., Hastie, T., Friedman, J., & Tibshirani, R. (2017). *The elements of statistical learning*, 2nd edition. Springer.

REFERENCES

1. Andrew Rawson & Mario Brito (2023) A survey of the opportunities and challenges of supervised machine learning in maritime risk analysis, *Transport Reviews*, 43:1, 108–130, DOI: 10.1080/01441647.2022.2036864.

2. Baksh, A., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2018). Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters. *Ocean Engineering*, 159, 422–436. doi:10.1016/j.oceaneng.2018.04.024 .

3. Bye, R., & Almklov, P. (2019). Normalization of maritime accident data using AIS. *Marine Policy*, 109. doi:10.1016/j.marpol.2019.103675.

4. Bye, R., & Aalberg, A. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering and System Safety*, 176, 174–186. doi:10.1016/j.res.2018.03.033.

5. Chai, T., Xue, H., Sun, K., & Weng, J. (2020). Ship accident prediction based on improved quantum-behaved PSO-LSSVM. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. doi:10.1155/2020/8823322.

6. Chen, C., Chen, X., Ma, F., Zeng, X., & Wang, J. (2019). A knowledge-free path planning approach for smart ships based on reinforcement learning. *Ocean Engineering*, 189. doi:10.1016/j.oceaneng.2019.106299 .

7. Chen, P., Huang, Y., Mou, J., & van Gelder, P. (2019). Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State of the art. *Safety Science*, 117, 108–122. doi:10.1016/j.ssci.2019.04.014.

8. Coraddu, A., Oneto, L., Maya, B., & Kurt, R. (2020). Determining the most influential human factors in maritime accidents: A data-driven approach. *Ocean Engineering*, 211. doi:10.1016/j.oceaneng.2020.107588.

9 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 and System Safety*, 200. doi:10.1016/j.res.2020.106933.

10. Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: A probabilistic perspective*. MIT Press.

11. Tibshirani, R., Hastie, T., Friedman, J., & Tibshirani, R. (2017). *The elements of statistical learning*, 2nd edition. Springer.

Hannoshyna I.

ASSESSMENT OF VESSEL COLLISION RISK FACTORS USING GRADUAL REGRESSION

The purpose of this article is to develop a method of gradual regression for assessing ship collision risk factors, which allows for a more accurate assessment of the probability of collision and the development of more effective measures to reduce the risk of collision by including in the model only those collision risk factors that have a statistically significant relationship with the probability of collision. Ship collisions are one of the most common incidents at sea. They can lead to serious consequences such as injuries, loss of life and pollution. It is important to conduct a collision risk assessment to prevent them. A ship collision risk assessment involves identifying factors that could lead to a collision and assessing the likelihood of such collisions. In recent years, intelligent methods of collision risk assessment have become increasingly common. They allow for a more efficient and accurate risk assessment than traditional methods. This paper reviews existing research in the field

of collision risk assessment. The task of assessing collision risk factors was formally defined and the data used was pre-processed. The main result of the work is the developed methodology of incremental regression and its applicability for assessing collision risk factors. The paper identifies and selects risk factors that may affect the probability of a ship collision and analyses the relationship between these factors. The results of the experiment showed that the most statistically significant risk factors of a collision are the distance between ships, course difference, ship speed, visibility, and weather conditions. The distance between ships had the greatest impact on the probability of a collision, followed by the difference in course. Vessel speed, visibility and weather also had an impact, but to a lesser extent. These results highlight the need to consider these factors when managing a vessel to reduce the risk of collision. As suggestions for future research, it is recommended to expand the data sample, analyse collision data for a longer period, analyse collision data in different conditions, and develop measures to reduce the risk of ship collision based on risk analysis.

Keywords: *risk assessment, factor analysis, incremental regression method, collision probability assessment, intelligent methods, maritime safety.*