

УДК 629.362

DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-170-183

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ СУДЕН

К.С. Корякін

старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки,
ORCID ID: 0000-0003-2388-645X

Одеського національного морського університету, Одеса, Україна

Анотація. У цій статті розглядається метод оцінки безпеки рейсу судна на основі кількісних показників надійності систем та обладнання. Запропонований підхід включає апріорний аналіз на стадії проектування, що дозволяє виявити потенційно слабкі місця в конструкції судна, а також апостеріорний аналіз, який базується на обробці реальних експлуатаційних даних для оцінки фактичної надійності. Визначено ключові середньостатистичні показники, такі як середній час безвідмовної роботи (MTBF) та середній час до відновлення (MTTR), а також кількісні характеристики, включаючи інтенсивність відмов і функцію щільності ймовірності часу до відмови. Результати дослідження демонструють важливість регулярного моніторингу та аналізу даних про відмови, порівняння показників з нормативними вимогами, ідентифікації компонентів з низькою надійністю та впровадження превентивних заходів. Запропонований комплексний підхід до оцінки надійності функціонування систем та обладнання суден сприяє підвищенню безпеки та ефективності експлуатації морських суден, забезпечуючи всебічну оцінку надійності на всіх етапах життєвого циклу судна.

Ключові слова: Оцінка надійності, морські судна, середній час безвідмовної роботи (MTBF), середній час до відновлення (MTTR), інтенсивність відмов, функція щільності ймовірності, апріорний аналіз, апостеріорний аналіз.

UDC 629.362

DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-170-183

DEVELOPMENT OF COMPREHENSIVE RELIABILITY ASSESSMENT METHOD FUNCTIONING OF SHIP SYSTEMS AND EQUIPMENT

Konstantin Koryakin

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Safety,
ORCID ID: 0000-0003-2388-645X

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

© Корякін К.С., 2024

Abstract. *This article considers the method of assessing the safety of a ship's voyage based on quantitative indicators of the reliability of systems and equipment. The proposed approach includes an a priori analysis at the design stage, which allows identifying potential weak points in the ship's design, as well as an a posteriori analysis, which is based on the processing of real operational data to assess the actual reliability. Key statistical averages such as mean time between failures (MTBF) and mean time to recovery (MTTR) are determined, as well as quantitative characteristics including failure rate and time-to-failure probability density function. The results of the study demonstrate the importance of regular monitoring and analysis of failure data, comparison of indicators with regulatory requirements, identification of components with low reliability and implementation of preventive measures. The proposed comprehensive approach to assessing the reliability of the functioning of ship systems and equipment contributes to increasing the safety and efficiency of the operation of sea vessels, providing a comprehensive assessment of reliability at all stages of the ship's life cycle.*

Keywords: *Reliability assessment, marine vessels, mean time between failures (MTBF), mean time to recovery (MTTR), failure rate, probability density function, a priori analysis, a posteriori analysis.*

Вступ. Актуальність проблеми забезпечення надійності та безпеки функціонування систем та обладнання суден. Забезпечення надійності та безпеки морських суден є критично важливим завданням для морської галузі. З розвитком технологій і впровадженням автоматизованих систем управління та цифрових обчислювальних пристроїв, судна стають все більш складними. Кожен компонент судна будь якої технічної системи судна відіграє важливу роль у забезпеченні його функціонування та безпеки, і відмова навіть одного елемента може мати серйозні наслідки. Зростання складності систем та збільшення кількості компонентів підвищують ймовірність відмов під час експлуатації, що вимагає розробки ефективних методів оцінки надійності та безпеки.

Окрім технічних аспектів, надійність функціонування систем та обладнання і безпека морських суден мають також важливе економічне значення. Зниження частоти відмов та відповідно простоїв суден сприяє підвищенню ефективності їх використання, зменшенню витрат на технічне обслуговування та ремонт, а також запобіганню аварійним ситуаціям, що можуть призвести до значних матеріальних збитків та людських втрат.

Мета та завдання статті. Метою даної статті є розробка та впровадження методу оцінки безпеки рейсу морських суден на основі кількісних показників надійності їхніх систем та обладнання. Для досягнення цієї мети передбачено вирішення наступних завдань:

1. Розглянути основні принципи та підходи до апріорного та апостеріорного аналізу надійності.
2. Оцінити кількісні показники надійності систем та обладнання морських суден.
3. проаналізувати результати випробувань та експлуатаційних даних для виявлення ключових факторів, що впливають на надійність функціонування систем та обладнання суден.

4. Розробити рекомендації щодо підвищення надійності та безпеки морських суден на основі отриманих даних;

Методи оцінки надійності морських суден можна поділити на два основні типи – апріорні та апостеріорні:

1. Апріорні методи оцінки надійності використовуються на стадії проектування суден. Вони базуються на ймовірнісних характеристиках надійності різних структурних елементів судна, що дозволяє виявити потенційно слабкі місця конструкції та внести необхідні корективи ще до початку виробництва. Апріорний аналіз допомагає порівняти різні структурні схеми судна та обрати найбільш надійні з них.

2. Апостеріорні методи оцінки надійності проводяться на основі статистичної обробки експериментальних даних, отриманих під час тестування та експлуатації суден. Ці методи дозволяють оцінити досягнутий рівень надійності, аналізуючи дані про працездатність та відновлюваність систем. Апостеріорний аналіз забезпечує більш точну оцінку реальної надійності роботи систем та обладнання судна в умовах експлуатації.

Використання обох типів методів дозволяє отримати повну картину надійності морських суден на всіх етапах їх життєвого циклу, від проектування до експлуатації, та розробити ефективні стратегії для підвищення безпеки та зменшення ризиків відмов.

Апріорний аналіз надійності є важливою складовою процесу проектування морських суден. Він передбачає оцінку надійності на етапі розробки судна, до його фактичного виготовлення та випробування. Основною метою апріорного аналізу є ідентифікація потенційно слабких місць у конструкції судна та розробка заходів для підвищення його надійності ще на стадії проектування. Табл. 1 відображає основні концепції, які використовуються в апріорному аналізі надійності функціонування обладнання морських суден.

Таблиця 1

Основні концепції апріорного аналізу

Концепція	Опис
Ймовірнісний підхід	Використання ймовірнісних методів для оцінки надійності компонентів та систем судна, визначення ймовірності відмов.
Системний підхід	Аналіз надійності на рівні всієї системи судна, врахування взаємодії між компонентами та впливу відмов одного елемента на інші.
Проактивний підхід	Виявлення та усунення потенційних проблем до їхнього виникнення в процесі експлуатації, проведення аналізів і тестувань на етапі проектування.

Використання ймовірнісних характеристик надійності є ключовим елементом апріорного аналізу. Цей підхід дозволяє детально оцінити надійність різних елементів судна, визначити їхні слабкі місця та вжити необхідних заходів для підвищення загальної надійності системи та дозволяє проводити всебічний

аналіз надійності різних елементів в системах судна, виявляти ті, які потребують додаткової уваги або удосконалення, та забезпечувати високу надійність і безпеку експлуатації морських суден.

Ймовірність безвідмовної роботи є однією з основних характеристик, що використовується в оцінці надійності. Вона визначає ймовірність того, що конкретний елемент судна буде працювати без відмови протягом заданого періоду часу. Це дозволяє інженерам та дизайнерам передбачити, наскільки надійно працюватиме елемент під час експлуатації, та планувати заходи для підвищення його надійності.

Інтенсивність відмов визначає частоту відмов для конкретних елементів судна. Цей показник дозволяє оцінити, як часто можуть виникати відмови у певного компонента, що є важливим для планування технічного обслуговування та ремонтних робіт. Висока інтенсивність відмов може вказувати на необхідність удосконалення конструкції або вибору більш надійних матеріалів.

Розподіл часу до відмови моделює ймовірність відмови компонентів судна на основі даних про їхню експлуатацію. Цей розподіл дозволяє зрозуміти, як змінюється ймовірність відмови з часом, що є важливим для прогнозування терміну служби компонентів та планування їхньої заміни.

Методи аналізу слабких місць конструкції на стадії проектування дозволяють систематично підходити до ідентифікації слабких місць конструкції та розробки заходів для підвищення надійності та включають наступні:

1. Аналіз режимів відмов та їх наслідків (FMEA). Метод, який дозволяє визначити потенційні режими відмови компонентів судна та оцінити їхній вплив на загальну надійність системи.

2. Аналіз дерева відмов (FTA). Графічний метод, який використовується для визначення та аналізу логічних взаємозв'язків між можливими відмовами компонентів судна.

3. Статистичний аналіз даних. Використання статистичних методів для аналізу історичних даних про відмови подібних суден та їх компонентів.

Апріорний аналіз надійності широко застосовується в морській інженерії для різних завдань, що сприяє підвищенню безпеки та ефективності експлуатації суден та є потужним інструментом, який дозволяє значно знизити ризик відмов під час експлуатації суден. Завдяки цьому методу можна підвищити безпеку та ефективність систем та обладнання морських суден, забезпечуючи їхню надійність на всіх етапах життєвого циклу.

Наприклад проектування нових суден є одним з ключових напрямів застосування апріорного аналізу. Використовуючи цей метод, інженери-суднобудівники можуть оцінити надійність функціонування систем та обладнання суден ще на стадії їх розробки. Це дозволяє виявити потенційні проблеми та слабкі місця до початку будівництва судна, що мінімізує ризик відмов під час його експлуатації.

Модернізація існуючих суден також виграє від апріорного аналізу. При плануванні змін та модернізацій існуючих суден, апріорний аналіз допомагає оцінити ефективність запропонованих удосконалень та дозволяє виявити, чи зменшаться ризики відмов завдяки модернізації, та визначити оптимальні шляхи покращення надійності судна.

Оцінка нових компонентів також є ще одним важливим аспектом застосування апріорного аналізу. Перед впровадженням нових компонентів та систем на судах, апріорний аналіз дозволяє оцінити їхню надійність. Це забезпечує впевненість у тому, що нові елементи не стануть джерелом додаткових ризиків та сприятимуть підвищенню загальної надійності судна.

Апостеріорний аналіз надійності проводиться після фактичного впровадження та експлуатації систем морських суден. Цей аналіз базується на статистичній обробці даних, отриманих під час тестування та реальної експлуатації. Основною метою апостеріорного аналізу є оцінка реального рівня надійності систем та компонентів судна, виявлення можливих проблем та розробка заходів для їх усунення. Таблиця 2 відображає основні концепції апостеріорного аналізу надійності, які використовуються для оцінки надійності систем морських суден на основі фактичних експлуатаційних даних.

Таблиця 2

Основні концепції апостеріорного аналізу

Концепція	Опис
Емпіричний підхід	Використання фактичних даних, отриманих під час експлуатації суден, для оцінки надійності.
Статистичний аналіз	Обробка та аналіз зібраних даних за допомогою статистичних методів для виявлення закономірностей та тенденцій у відмовах.
Постійний моніторинг	Безперервний збір даних про працездатність систем для своєчасного виявлення та усунення відмов.

Статистична обробка експериментальних даних є ключовим елементом апостеріорного аналізу надійності. Вона включає збір даних про всі випадки відмов та несправностей під час експлуатації судна, класифікацію цих даних за типами, часом виникнення та умовами експлуатації, а також аналіз розподілу за допомогою статистичних методів для визначення розподілу часу до відмови, інтенсивності відмов та інших показників. Цей процес дозволяє отримати точні кількісні показники надійності та виявити закономірності, що сприяють виникненню відмов, що є важливим для покращення надійності та ефективності систем судна.

Оцінка досягнутого рівня надійності включає порівняння фактичних показників надійності з нормативними вимогами для аналізу їх відповідності встановленим стандартам та вимогам. Також проводиться оцінка тенденцій шляхом вивчення змін показників надійності з часом для виявлення тенденцій до їх покращення або погіршення. Ідентифікація проблем здійснюється через виявлення компонентів або систем, що демонструють низький рівень надійності, та визначення причин цих відмов. Цей етап дозволяє зробити висновки про ефективність впроваджених заходів та визначити напрями для подальшого вдосконалення.

Методи аналізу даних про працездатність та відновлюваність систем дозволяють детально дослідити характеристики працездатності та відновлюваності систем, що сприяє підвищенню загальної надійності судна і включають:

1. Аналіз часових рядів: Використання методів аналізу для дослідження змін у показниках надійності з часом.

2. Регресійний аналіз: Використання регресійних моделей для виявлення залежностей між різними факторами та показниками надійності.

3. Аналіз відновлюваності: Оцінка часу та ефективності відновлення систем після відмов, визначення середнього часу до відновлення (MTTR).

Апостеріорний аналіз надійності знаходить широке застосування в практиці морської інженерії. Експлуатаційне тестування є одним з основних прикладів використання апостеріорного аналізу.

Цей метод дозволяє оцінити надійність нових моделей суден або систем після їх впровадження, використовуючи фактичні дані, зібрані під час експлуатації та допомагає виявити можливі проблеми на ранніх етапах та вжити необхідних заходів для їх усунення.

Аналіз аварій є ще одним важливим напрямом застосування апостеріорного аналізу. Після виникнення аварій чи інцидентів проводиться ретельне розслідування причин на основі даних про відмови, зібраних під час експлуатації. Це дозволяє зрозуміти, що саме спричинило аварію, та розробити стратегії для запобігання подібним подіям у майбутньому.

Оптимізація технічного обслуговування також виграє від використання апостеріорного аналізу. Результати цього аналізу можуть бути використані для вдосконалення процедур технічного обслуговування та планування ремонтних робіт. Це дозволяє зменшити кількість відмов і збільшити ефективність експлуатації суден.

Середньостатистичні показники надійності є основними метриками, що використовуються для оцінки надійності систем та обладнання морських суден. Одним з найважливіших середньостатистичних показників є середній час безвідмовної роботи (MTBF – Mean Time Between Failures).

Середній час безвідмовної роботи (MTBF) – це середній час, протягом якого система або компонент працює без відмови. Розрахунок: MTBF розраховується як відношення загального часу роботи системи до кількості відмов за цей період

$$MTBF = \frac{T}{N'}$$

де T – загальний час роботи системи,

N' – кількість відмов.

Серед інших середньостатистичних показників середній час до відновлення (MTTR – Mean Time To Repair): середній час, необхідний для відновлення системи після відмови

$$MTTR = \frac{\sum T_{repair}}{N_{failure}}$$

де $\sum T_{repair}$ – загальний час, витрачений на ремонт,

$N_{failure}$ – кількість відмов.

Коефіцієнт готовності (Availability): відношення часу, протягом якого система є працездатною, до загального часу

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи (Reliability) або ймовірність того, що система працюватиме без відмови протягом заданого часу

$$R(t) = e^{-\lambda t},$$

де λ – інтенсивність відмов,
 t – час.

Додатково функція накопиченої ймовірності (Cumulative Distribution Function)

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Щодо кількісних характеристик надійності то вони дозволяють глибше зрозуміти поведінку системи під час її експлуатації.

Інтенсивність відмов (Failure Rate) – це частота виникнення відмов за одиницю часу

$$\lambda(t) = \frac{dN(t)}{dt},$$

де $N(t)$ – кількість відмов до часу t .

Функція щільності ймовірності часу до відмови (Probability Density Function) – Функція щільності ймовірності часу до відмови (t) описує ймовірність того, що відмова системи станеться в інтервалі часу від t до $t + \Delta t$:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt},$$

де $F(t)$ – функція розподілу ймовірності часу до відмови.

Функція розподілу ймовірності часу до відмови (Reliability Function) – ймовірність того, що система працюватиме без відмови до моменту часу t

$$R(t) = 1 - F(t).$$

Для прикладу розглянемо систему, яка має наступні дані про відмови. Загальний час роботи системи (T): 5000 годин, Кількість відмов (N): 20, час до кожної відмови (години): [200, 450, 700, 850, 1050, 1250, 1500, 1700, 1950, 2150, 2300, 2550, 2750, 2950, 3150, 3400, 3600, 3800, 4000, 4200].

Таблиця 3

Методика розрахунку кількісних показників надійності

Етап	Опис
Збір даних	Фіксація всіх відмов системи, а також часу їх виникнення.
Аналіз даних	Визначення кількості відмов, загального часу роботи системи та часу відновлення після відмов.
Розрахунок середньостатистичних показників	Використання формул для розрахунку MTBF, MTTR, коефіцієнта готовності та ймовірності безвідмовної роботи.
Визначення кількісних характеристик	Розрахунок інтенсивності відмов, функції щільності ймовірності та функції розподілу часу до відмови.
Аналіз результатів	Порівняння отриманих показників з встановленими стандартами та нормативами, виявлення тенденцій та слабких місць.

На рис. 1 представлено графіки, побудовані на основі розрахунків кількісних показників надійності, дають важливу інформацію про поведінку системи з плином часу.

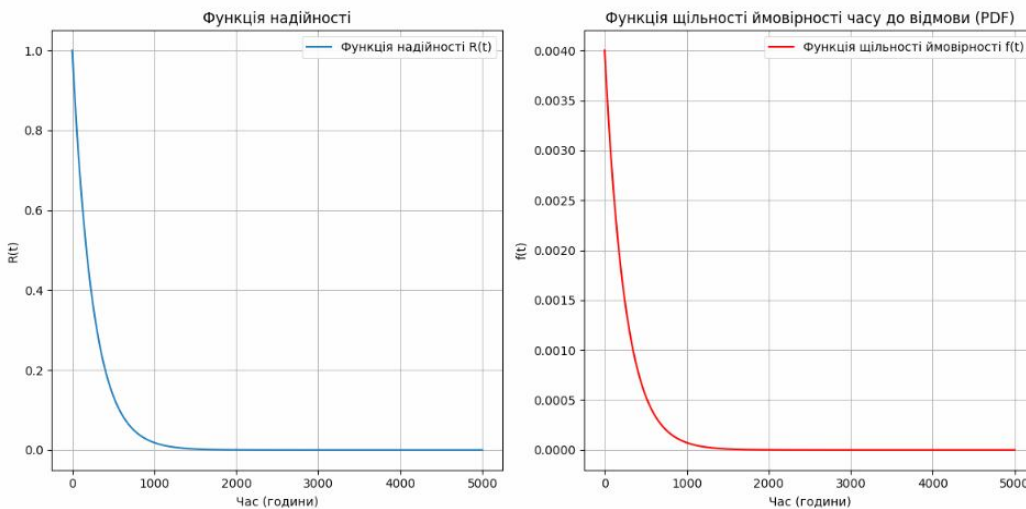


Рис. 1. Функція надійності (зліва)
та функція щільності ймовірності часу до відмови (справа).

1. Графік функції надійності $R(t)$ рис. 1 (зліва) показує ймовірність того, що система буде працювати без відмови до заданого часу t . Тобто чим більше часу t проходить, тим менша ймовірність безвідмовної роботи системи. Це очікувано,

оскільки з часом збільшується ризик відмови компонентів системи. Така функція надійності корисна для прогнозування часу, протягом якого система буде працездатною та допомагає у плануванні технічного обслуговування та заміни компонентів для запобігання відмовам.

2. Графік функції щільності ймовірності часу до відмови (*PDF*) на рис. 1 (справа) показує ймовірність того, що система вийде з ладу у заданий момент часу t . Вона відображає розподіл часу до відмови та спадає експоненційно, що вказує на те, що з часом знижується ймовірність відмови у конкретний момент часу. Це типова поведінка для багатьох технічних систем. Така візуалізація допомагає ідентифікувати періоди, коли ймовірність відмови є найвищою що важливо для визначення критичних моментів, коли необхідно провести технічне обслуговування або перевірку системи.

Прогнозування надійності за допомогою графіка функції надійності дозволяє оцінити, як довго система може працювати без відмови, що є важливим для планування експлуатації та обслуговування. Використовуючи дані з графіка *PDF*, можна планувати технічне обслуговування у моменти з найвищою ймовірністю відмов, що запобігає несподіваним поломкам і підвищує загальну надійність системи та надає візуальне уявлення про надійність системи, що в свою чергу допомагає аналізувати ефективність поточних процедур обслуговування та вносити корективи для їх покращення.

Для здійснення достовірного аналізу надійності систем морських суден важливо мати якісні та кількісні дані про відмови. Ці дані мають включати точну інформацію про час виникнення відмов, умови експлуатації під час відмови, тип відмови та час відновлення системи. Висока якість даних дозволяє більш точно оцінити надійність систем, тоді як недостовірні або неповні дані можуть призвести до неправильних висновків та неефективних рішень. Оцінка якості даних включає точність тобто перевірку наявності помилок у записах про відмови, забезпечення того, що всі відмови були задокументовані та перевірку достовірності даних шляхом порівняння з іншими джерелами інформації.

Після збору та обробки даних важливо порівняти отримані показники надійності з встановленими стандартами та нормативами. Це дозволяє оцінити, наскільки система відповідає очікуваним вимогам.

Ключові показники для порівняння включають:

- середній час безвідмовної роботи (MTBF): Порівняння з нормативними значеннями для аналогічних систем;
- інтенсивність відмов: Оцінка відповідності нормативам для конкретного типу системи;
- коефіцієнт готовності: Перевірка, чи відповідає коефіцієнт встановленим стандартам для забезпечення безперервної експлуатації.

Аналіз змін надійності з часом дозволяє виявити тенденції та закономірності, які можуть свідчити про потенційні проблеми або необхідність удосконалення систем.

Одним з важливих аспектів управління надійністю функціонування систем та обладнання суден є ідентифікація компонентів системи, які демонструють низький рівень надійності. Виявлення таких компонентів дозволяє зосередити

зусилля на їх удосконаленні або заміні, що підвищує їх загальну надійність. Для цього використовуються кілька методів:

- аналіз дерева відмов (FTA) дозволяє визначити критичні компоненти за допомогою графічного методу, що виявляє, як різні елементи системи можуть призвести до загальної відмови;

- аналіз режимів відмов та їх наслідків (FMEA) систематично досліджує кожен компонент для виявлення потенційних відмов і оцінки їхнього впливу на загальну систему;

- статистичний аналіз даних про відмови використовує історичні дані для ідентифікації компонентів з високою частотою відмов, що дозволяє виявити тенденції та причини проблем.

Для забезпечення високої надійності систем морських суден необхідно впроваджувати ефективні методи управління надійністю та превентивні заходи. Одним із ключових методів є планування технічного обслуговування, що передбачає регулярне обслуговування та перевірку систем для запобігання відмовам. Превентивне обслуговування включає виконання заходів, спрямованих на запобігання можливим відмовам, на основі аналізу даних.

Моніторинг стану системи за допомогою сучасних технологій дозволяє постійно відстежувати її стан та виявляти потенційні проблеми на ранній стадії. Навчання персоналу через проведення тренінгів та навчальних програм підвищує кваліфікацію і знання щодо управління надійністю, що сприяє більш ефективному виконанню завдань з обслуговування та управління системами судна.

Комплексний підхід до оцінки надійності, який включає як апіорний, так і апостеріорний аналіз, є критично важливим для забезпечення безпеки морських суден. Цей підхід дозволяє врахувати всі етапи життєвого циклу судна, від проектування до експлуатації, та забезпечити всебічну оцінку надійності.

Таблиця 4

Значення комплексного підходу до оцінки надійності

Аспект	Опис
Всеосяжність	Аналіз усіх аспектів надійності на різних етапах життєвого циклу судна.
Прогнозованість	Можливість передбачити потенційні проблеми та вжити превентивних заходів.
Адаптивність	Гнучкість у врахуванні нових даних та удосконалень в технологіях і методах аналізу.
Ефективність	Зниження витрат на ремонт та обслуговування шляхом своєчасного виявлення та усунення потенційних відмов.

Подальші дослідження у сфері надійності морських суден можуть значно покращити ефективність та безпеку експлуатації суден за допомогою різних інноваційних підходів та технологій. Одним з ключових напрямків є розробка нових методів аналізу даних, що включає використання передових аналітичних інструментів та методів машинного навчання для більш точного прогнозування

відмов що дозволить створити більш точні моделі надійності та виявляти потенційні проблеми на ранніх етапах. Впровадження інтелектуальних систем моніторингу, що базуються на ІТ-технологіях та сенсорах, забезпечить постійний моніторинг стану систем у режимі реального часу. Це дасть можливість оперативно реагувати на будь-які відхилення від норми та запобігати відмовам, покращуючи загальну надійність функціонування обладнання суден. Таким чином, основні елементи запропонованого комплексного методу оцінки надійності функціонування систем та обладнання морських суден можна представити в таблиці 5.

Таблиця 5

Основні елементи методу оцінки надійності функціонування

Елемент	Опис
Інтеграція апіорного та апостеріорного аналізу надійності	Апіорний аналіз: Проводиться на стадії проектування судна для виявлення потенційно слабких місць у конструкції. Це дозволяє внести необхідні корективи ще до виготовлення судна.
	Апостеріорний аналіз: Базується на реальних даних, отриманих під час експлуатації судна. Він дозволяє оцінити фактичну надійність систем та виявити реальні тенденції і закономірності.
Використання кількісних показників	Середній час безвідмовної роботи (MTBF): Розрахунок середнього часу між відмовами, що дає уявлення про надійність системи.
	Інтенсивність відмов: Оцінка частоти виникнення відмов, що дозволяє виявити компоненти з високим ризиком відмов.
	Функція щільності ймовірності часу до відмови (PDF): Моделювання ймовірності відмови у конкретний момент часу, що допомагає в прогнозуванні та плануванні технічного обслуговування.
Методика розрахунку кількісних показників надійності	Коефіцієнт готовності (Availability): Оцінка відсотку часу, протягом якого система є працездатною, що важливо для забезпечення безперервної експлуатації судна.
	Збір даних: Фіксація всіх відмов системи та часу їх виникнення.
	Аналіз даних: Визначення кількості відмов, загального часу роботи системи та часу відновлення після відмов.
	Розрахунок середньостатистичних показників: Використання формул для розрахунку MTBF, MTTR, коефіцієнта готовності та ймовірності безвідмовної роботи.
	Визначення кількісних характеристик: Розрахунок інтенсивності відмов, функції щільності ймовірності та функції розподілу часу до відмови.

Продовження табл. 5

Елемент	Опис
Регулярний моніторинг та превентивні заходи	Аналіз результатів: Порівняння отриманих показників з встановленими стандартами та нормативами, виявлення тенденцій та слабких місць.
	Постійний моніторинг: Моніторинг систем для своєчасного виявлення та усунення потенційних проблем.
	Планове технічне обслуговування: Впровадження планового обслуговування на основі даних про відмови для запобігання несподіваним відмовам.
	Методи FMEA та FTA: Використання аналізу режимів відмов та їх наслідків (FMEA) і аналізу дерева відмов (FTA) для ідентифікації та усунення критичних компонентів, що мають високий ризик відмов.

Запропонований метод оцінки надійності функціонування систем і обладнання суден відрізняється своєю новизною завдяки інтеграції апіорного та апостеріорного аналізів. Такий підхід дозволяє отримати більш точну та комплексну оцінку надійності систем морських суден, оскільки враховує всі етапи життєвого циклу судна – від проектування до експлуатації. Комплексний підхід також включає використання математичних моделей для прогнозування надійності, що допомагає виявити можливі відмови та планувати технічне обслуговування.

Запропоновані превентивні заходи, такі як регулярний моніторинг стану систем і планове технічне обслуговування, сприяють зниженню ризику відмов та витрат на обслуговування, що, в свою чергу, підвищує безпеку та ефективність експлуатації суден. Таким чином, новизна методу полягає в його комплексності та точності, що забезпечує надійність функціонування систем та обладнання суден на всіх етапах їхнього життєвого циклу та сприяє підвищенню безпеки і ефективності їхньої експлуатації.

Висновки. У цій статті розглянуто методи оцінки безпеки рейсів морських суден на основі кількісних показників надійності систем та обладнання. Основні висновки включають такі положення: апіорний аналіз надійності є важливим етапом проектування, що дозволяє виявити потенційно слабкі місця у конструкції судна ще до його виготовлення. Апостеріорний аналіз надійності базується на обробці реальних даних експлуатації та дозволяє точно оцінити фактичну надійність систем судна. Використання середньостатистичних показників, таких як MTBF і MTTR, а також кількісних характеристик, таких як інтенсивність відмов і функція щільності ймовірності часу до відмови, дозволяє детально оцінити надійність систем. Новизна даного дослідження полягає у комплексному підході до оцінки надійності систем та обладнання морських суден, що включає як апіорний, так і апостеріорний аналіз. У статті також вперше застосовано інтегрований аналіз середньостатистичних показників та кількісних характеристик на основі реальних експлуатаційних даних. Це дозволяє більш точно оцінити надійність систем та розробити ефективні стратегії для підвищення безпеки та ефективності експлуатації морських суден.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Крашенінін Олександр. (2015). ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДХИЛЕНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ І РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАДНАННЯ НА ЇХ НАДІЙНІСТЬ. *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. 1. 10.18664/1994-7852.151.2015.68522.*
2. Корякін Костянтин. (2023). ОГЛЯД МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ. *Vodnij transport. P. 144-154. 10.33298/2226-8553.2023.1.37.16.*
3. Горбань А.В & Довгаль І.І & Крижановська С & Найденов Андрій. (2020). ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ. *Vodnij transport. P. 55-66. 10.33298/2226-8553.2020.3.31.06.*
4. Сьомін О.А & Генералова І.Г & Коломієць О.М & Бажак О.В. (2020). АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБІВ РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ. *Vodnij transport. P. 46-54. 10.33298/2226-8553. 2020. 3.31.05.*
5. Тараненко С.В & С.М Голубєва. (2022). АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СУЧАСНОМУ СУДНОВОМУ ОБЛАДНАННІ. *Vodnij transport. P. 5-12. 10.33298/2226-8553.2022.2.33.01.*
6. Ганношина І.М & Зазірний А.А. (2021). ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПОРТОВОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ. *Vodnij transport. P. 77-86. 10.-33298/2226-8553.2021.2.33.09.*
7. Крашенінін Олександр & Яковлев Сергій & Головка Ярослав. (2023). Оцінювання факторів, що забезпечують надійність роботи системи локомотива. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 28. P. 43-49. 10.18664/ikszt.v28i2.283462.

REFERENCES

1. Krashenin Oлександр. (2015). ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF DEVIATIONS IN THE OPERATIONAL AND WORKING CHARACTERISTICS OF THE EQUIPMENT ON THEIR RELIABILITY. *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. 1. 10.18664/1994-7852. 151 p. 2015.68522.*
2. Koryakin Konstantin. (2023). REVIEW OF THE RELIABILITY ASSESSMENT METHODS OF SHIP NAVIGATION DEVICES AND SYSTEMS. *Water transport. P. 144-154. 10.33298/2226-8553.2023.1.37.16.*
3. Horban A.V & Dovgal I.I & Kryzhanovska S & Naydenov Andriy. (2020). FEATURES OF FORECASTING THE STATE OF VESSEL EQUIPMENT OF RIVER AND SEA TRANSPORT. *Water transport. P. 55-66. 10.33298/2226-8553.2020.3.31.06.*

4. Syomin O.A & Generalova I.G & Kolomiets O.M & Bajak O.V. (2020). ANALYSIS OF THE MATHEMATICAL APPARATUS FOR FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF RIVER AND SEA TRANSPORT EQUIPMENT. *Water transport*. P. 46-54. 10.33298/2226-8553.2020. 3.31.05.
5. Taranenko S.V & S.M Golubeva. (2022). ANALYSIS OF RELIABILITY INDICATORS OF MARINE ELECTRIC ENGINES USED IN MODERN SHIP EQUIPMENT. *Water transport*. P. 5-12. 10.33298/2226-8553.2022.2. 33.01.
6. Hannoshina I.M. & Zazirny A.A. (2021). RESEARCH OF THE RELIABILITY OF ELEMENTS OF THE TECHNICAL EQUIPMENT OF THE PORT HANDLING COMPLEX. *Water transport*. P. 77-86. 10.33298/2226-8553. 2021.2.33.09.
7. Krashenin Olexsandr & Yakovlev Serhiy & Golovko Yaroslav. (2023). Evaluation of factors that ensure the reliability of the locomotive system. *Information and control systems in railway transport*. 28. P. 43-49. 10.18664/iksz.v28i2.283462.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2024

Посилання на статтю: Корякін К.С. Розробка комплексного методу оцінки надійності функціонування систем та обладнання суден // *Вісник Одеського національного морського університету*: Зб. наук. праць, 2024. № 2 (73). С.170-183. DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-170-183.

Article received 24.05.2024

Reference a journal artic: Koryakin K. Development of comprehensive reliability assessment method functioning of ship systems and equipment // *Herald of the Odesa national maritime university*: Coll. scient. works, 2024. № 2 (73). P. 170-183. DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-170-183.