

Маранов О.В.

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ АНАЛІЗУ РЕСУРСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛИСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ СУДНА

Метою статті є підвищення якості оцінки та підвищення ресурсу експлуатації конструкцій судна за рахунок автоматизації процесу аналізу ресурсу експлуатації листових конструкцій судна. Ресурс експлуатації листових конструкцій суден має велику актуальність в сучасній морській індустрії. Зі зростанням світового морського транспорту та важливості безпеки судноплавства оцінка та керування ресурсом стали ключовим аспектом забезпечення надійності та тривалої експлуатації суден. Ретельне та систематичне вивчення стану листових конструкцій, визначення залишкового терміну служби та планування технічного обслуговування стають критичними для запобігання аваріям, забезпечення безпеки на морі та економії ресурсів. При цьому треба зазначити, що автоматизований аналіз ресурсу експлуатації судових листових конструкцій відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки суден, збереженні ресурсів і підвищенні ефективності в морській індустрії. Основним результатом статті є метод автоматизації процесу аналізу ресурсу експлуатації листових конструкцій судна. Запропонований метод включає в себе кілька кроків, включаючи обґрунтування ймовірнісної моделі зносу, вибір найкращого розподілу для оцінки стану конструкцій, вимірювання остаточних товщин листових елементів корпусу судна та розрахунок їхнього ресурсу експлуатації. Автоматизація цього процесу дозволяє покращити точність оцінки та забезпечити оптимальний регламент обслуговування, що, в свою чергу, може підвищити тривалість служби судна та зменшити ризики аварій. Для подальших досліджень можливі такі напрямки: розширення моделі для вивчення інших видів дефектів та їх впливу на ресурс листових конструкцій, вдосконалення методу через розробку більш точних методів вимірювання та аналізу стану конструкцій, впровадження сучасних технологій, таких як датчики та штучний інтелект, для поліпшення автоматизації та точності аналізу, а також розгляд додаткових факторів, які впливають на ресурс конструкцій судна, таких як швидкість судна, погодні умови, солоність води тощо. Загальна мета таких подальших досліджень полягає в подальшому підвищенні безпеки морських перевезень, збільшенні тривалості служби суден та оптимізації управління їх ресурсами.

Ключові слова: ресурс експлуатації, листові конструкції, автоматизація аналізу, безпека судноплавства, ймовірнісна модель зносу, метод автоматизації, термін служби, надійність, безвідмовність, технічний стан, засіб водного транспорту, безвідмовність, відмова, технічний стан, засіб водного транспорту, процес, експлуатація, суднове обладнання.

Постановка проблеми. Ресурс експлуатації листових конструкцій суден має велику актуальність в сучасній морській індустрії. Зі зростанням світового морського транспорту та важливості безпеки судноплавства оцінка та керування ресурсом стали ключовим аспектом забезпечення надійності та тривалої експлуатації суден. Ретельне та систематичне вивчення стану листових конструкцій, визначення залишкового терміну служби та планування технічного обслуговування стають критичними для запобігання аваріям, забезпечення безпеки на морі та економії ресурсів.

Аналіз ресурсу експлуатації листових конструкцій суден сьогодні має велике значення в морській індустрії. Зі зростанням глобальної торгівлі та збільшенням обсягів морського транспорту виникає все більше серйозних завдань забезпечення безпеки та надійності

судноплавства. Підтримання в гарному стані листових конструкцій, таких як корпус, палуби та інші елементи судна, є необхідною частиною забезпечення цієї безпеки. Ефективний аналіз ресурсу експлуатації допомагає запобігати аваріям, оптимізувати витрати на обслуговування та збільшувати термін служби суден. При цьому використання автоматизованих систем та передових технологій в цій галузі зменшує вплив людського фактору та забезпечує точніший та оперативний моніторинг, що робить це поняття критично важливим для сучасної морської індустрії.

Автоматизований аналіз ресурсу експлуатації судових листових конструкцій має важливе значення в сучасній суднобудівній індустрії з таких причин:

1. Підвищення безпеки: автоматизований аналіз дозволяє більш точно і систематично оцінювати стан листових конструкцій судна, що сприяє виявленню потенційних проблем і зменшенню ризику аварій та подій на морі.

2. Оптимізація обслуговування: автоматизовані системи моніторингу та аналізу ресурсу експлуатації судових листових конструкцій дозволяють оптимізувати графіки технічного обслуговування та ремонту, що дозволяє знизити витрати й уникнути несподіваних зупинок судна.

3. Підвищення терміну служби: завдяки автоматизованим технологіям можна більш ефективно управляти ресурсом експлуатації судових конструкцій, що може призвести до збільшення терміну служби судна і зменшення необхідності в капітальних ремонтах.

4. Збереження часу і ресурсів: автоматизований аналіз дозволяє проводити моніторинг і аналіз більш оперативно і точно, що сприяє більш ефективному використанню людських ресурсів і часу.

5. Відповідність нормативам і стандартам: багато морських нормативів і стандартів вимагають регулярного моніторингу та оцінки стану судових конструкцій. Автоматизований аналіз допомагає дотримуватися цих вимог більш ефективно і точно.

Отже, автоматизований аналіз ресурсу експлуатації судових листових конструкцій відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки суден, збереженні ресурсів і підвищенні ефективності в морській індустрії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених досліджують шляхи оцінки та підвищення ресурсу експлуатації різноманітних конструкцій судна, наприклад, які визначені в роботах [1 - 8].

Наприклад, в статті [1] розглядається аналіз надійності обладнання судна на основі даних з технічного обслуговування, надається методика прогнозування надійності конструктивних елементів.

У статті [2] розглядається аналіз надійності морських систем та обладнання на основі методу аналізу режимів відмов та їх наслідків, описується методика прогнозування надійності за конструктивними показниками елементів на етапі проектування.

У статті [3] визначено, що морські турбіни (Marine current turbines (MCTs)) поступово привертають більший інтерес від галузі та багатьох дослідницьких ініціатив завдяки своєму потенціалу як новому світовому енергетичному ресурсу. Проте деякі технологічні проблеми, зокрема виявлення несправностей лопаток MCTs, все ще потребують подальшого прогресу для їх успішного впровадження. Фактично, виробництво електроенергії, ймовірно, поступово погіршується через несправності лопаток, а потім викликає руйнівні перешкоди при підключенні морського генератора струму до мережі. Виявлення несправностей лопаток MCTs залишається складною проблемою через складність підводного середовища. Схоже, що такі прикріплення, як планктон чи біопокриття, можуть суттєво впливати на лопатку турбіни, оскільки вони можуть викликати різні несправності дисбалансу. У статті розглядаються різні типи несправностей лопаток в умовах хвиль та турбулентності. Також розглядаються поточні методи виявлення несправностей лопаток, включаючи багатодоменні підходи. Дослідження показує, що вбудовані методи виявлення несправностей на основі датчиків, які використовують

фазові струми та напруги на обмотках генератора, забезпечують декілька переваг для виявлення несправностей лопаток МСТs.

Метою статті є підвищення якості оцінки та підвищення ресурсу експлуатації конструкцій судна за рахунок автоматизації процесу аналізу ресурсу експлуатації листових конструкцій судна.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для оцінки тривалості служби елементів корпусу судна доцільним є використання терміну "строк служби". Нормативи, які регулюють знос, встановлюються з метою забезпечення безпеки, оскільки параметри, що досягають критичних значень, можуть призвести до аварій. Отже, при оцінці тривалості служби елементів корпусу судна було б доцільно використовувати термін "встановлений строк служби", який може бути довший, ніж строк служби судна у разі мінімального зносу розглянутої зони. Проте для об'єктивного визначення довговічності найбільш доцільним буде використовувати показник ресурсу експлуатації елемента з урахуванням ймовірнісного характеру зносу для визначення недосягнення межового стану з встановленою ймовірністю.

Основні вимоги до методу автоматизації процесу аналізу ресурсу експлуатації листових конструкцій судна повинні враховувати:

- взаємозв'язок строку служби елементів корпусу судна з експлуатаційно-ремонтним періодом;
- сприяння запобіганню виникненню аварійних ситуацій у міжремонтний період експлуатації;
- правила визначення показників надійності з урахуванням фізичного та ймовірнісного (недетермінованого) характеру процесів старіння та ушкоджень корпусних конструкцій судна;
- правила вибору законів та параметрів розподілу ймовірностей для основних процесів старіння корпусу, таких як зноси;
- можливість використання експлуатаційної та ремонтної документації для отримання необхідної інформації під час проведення розрахунків;
- застосування в інженерній практиці.

Ключовим завданням у розробці автоматизованого методу є обґрунтування ймовірнісної моделі зносу, яка характеризується відповідним законом розподілу ймовірностей для недосягнення межового стану. Найбільш трудомісткою частиною є визначення ймовірнісного закону та параметрів розподілу, тому велике значення має вивчення апроксимуючих властивостей різних двопараметричних розподілів. Запропонований підхід в статті базується на використанні відносної системи координат.

$$\tau = \frac{t}{t_g}, \quad (1)$$

де τ – поточне значення незалежної змінної розподілу;

t – її математичне сподівання, отримане шляхом порівняння відносних ресурсів експлуатації для розподілів, таких як нормальний, логарифмічно нормальний, Вейбула, гамма-розподіл, рівномірний та двопараметричний експоненціальний закони з урахуванням довірчих інтервалів.

Встановлено, що розподіл Вейбула має найкращі апроксимуючі властивості та може бути рекомендований для всіх випадків автоматизованої обробки інформації [9]

$$\frac{t}{t_g} = \frac{1}{K(b)} \left(\ln \frac{1}{\gamma} \right)^{\frac{1}{b}}. \quad (2)$$

Це твердження (див. вираз 2) підтверджує вибір розподілу Вейбула для визначення ресурсів експлуатації елементів корпусу судна за середньою стійкістю до зносу та її коефіцієнтом варіації. Цей розподіл зручний для практичного використання, оскільки не є дискретним і багато інших розподілів є його частковими випадками

$$\gamma(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (3)$$

де, a – параметр масштабу;

b – параметр форми.

При цьому

$$b = f(V), \quad (4)$$

де, V – коефіцієнт варіації.

Вибір розподілу з найкращими апроксимуючими властивостями не є достатнім для побудови ймовірнісної моделі ушкодження. У розглянутому методі враховується процес старіння з лінійною характеристикою, який описується через середню стійкість до зносу та розподіл Вейбула

$$t_{\gamma} = \frac{H_p - H_y}{K(b)} c_g \left(\ln \frac{1}{\gamma} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (5)$$

де b – параметр форми;

$K(b)$ – коефіцієнт параметра масштабу;

c_g – середня стійкість до зносу;

H_p – максимально допустимий розмір;

H_y – установчий розмір;

γ – встановлена ймовірність недосягнення межового стану.

Цей вираз показує, що ресурс прямо залежить від стійкості до зносу c :

$$t_{\gamma} = c(H_p - H_y), \quad (6)$$

і, отже, підпорядковується тому ж закону, що й стійкість до зносу.

Після визначення розподілів недосягнення межового стану (або розподілів ймовірності безвідмовної роботи), виникає завдання визначення ресурсів експлуатації елементів корпусу.

У рамках цього дослідження розглядається один вид пошкоджень корпусних конструкцій судна – знос. Таким чином, акцент робиться на моделях пошкоджень листових конструкцій при зносі.

Основне завдання полягає у визначенні ресурсу експлуатації елементів корпусу судна. У рамках цього методу запропоновано використовувати лінійну функцію зношування такого виду:

$$I(t) = vt, \quad (7)$$

де I – знос (зміна товщини листа) протягом часу t ;

v – швидкість зносу.

В якості вхідних даних методу прийняті вимірювання остаточних товщин S_i елементів корпусу судна через певний період його експлуатації t_i .

Знаючи товщину елемента на момент будівництва S_0 , можна розрахувати швидкість його зносу:

$$v_i = \frac{S_0 - S_i}{t_i} \quad (8)$$

або використовувати величину, обернену до швидкості зносу – стійкість до зносу:

$$c_i = \frac{1}{v_i}. \quad (9)$$

Тоді

$$c_i = \frac{t_i}{S_0 - S_i}. \quad (10)$$

Отже, ми отримуємо вибірку сукупність v_i або c_i , обсягом вибірки N .

Надійність подальших автоматизованих розрахунків в значній мірі залежить від точності вимірювань та попередньої підготовки статистичної інформації.

Вхідні дані для розрахунку ймовірності недосягнення межового стану та ресурсів експлуатації елементів корпусу судна.

$$\gamma(X, X_g, V) = e^{-\left(\frac{\mu}{a(X_g, V)}\right)^v}, \quad (11)$$

де,

$$V(b) = \frac{\sqrt{G\left(1+\frac{2}{b}\right) - G\left(1+\frac{1}{b}\right)^2}}{G\left(1+\frac{1}{b}\right)}. \quad (12)$$

У першу чергу здійснюються вимірювання остаточних товщин обраних елементів на основі максимально можливої вибірки однотипних судів.

Другим важливим кроком є встановлення зміни досліджуваного параметра. Згідно з вимогами, при допустимій остаточній товщині аркуша (призначеної величини) при загальному зносі визначається виразом

$$[S_i] = m_0 S_0, \quad (13)$$

де, m_0 – коефіцієнт зносу;

S_0 – товщина листа при будівництві.

Отже, строк служби листового конструктивного елемента можна визначити відповідно до виразу.

$$R = \frac{T(1-m_0)}{1-\frac{S_i}{S_0}}. \quad (14)$$

Загальна структура методу автоматизації процесу аналізу ресурсу експлуатації листових конструкцій судна наведена на рис. 1.

Отже, автоматизований аналіз ресурсу експлуатації суднових листових конструкцій є неодмінною частиною забезпечення безпеки судноплавства, скорочення витрат і підвищення ефективності у морській галузі.

Висновки. Запропонований метод автоматизованого визначення ресурсу експлуатації елементів корпусу судна на основі даних про дефекти необхідний для обґрунтування планових строків проведення огляду, накопичення інформації для аналізу технічного стану корпусу судна і коригування вимог до корпусних конструкцій будуються судів. Автоматизація процесу визначення ресурсу експлуатації елементів корпусу судна на основі даних про дефекти дозволяє значно підвищити ефективність і точність оцінки терміну служби подібних судів, знижуючи ризики аварій та оптимізуючи планування регулярного обслуговування

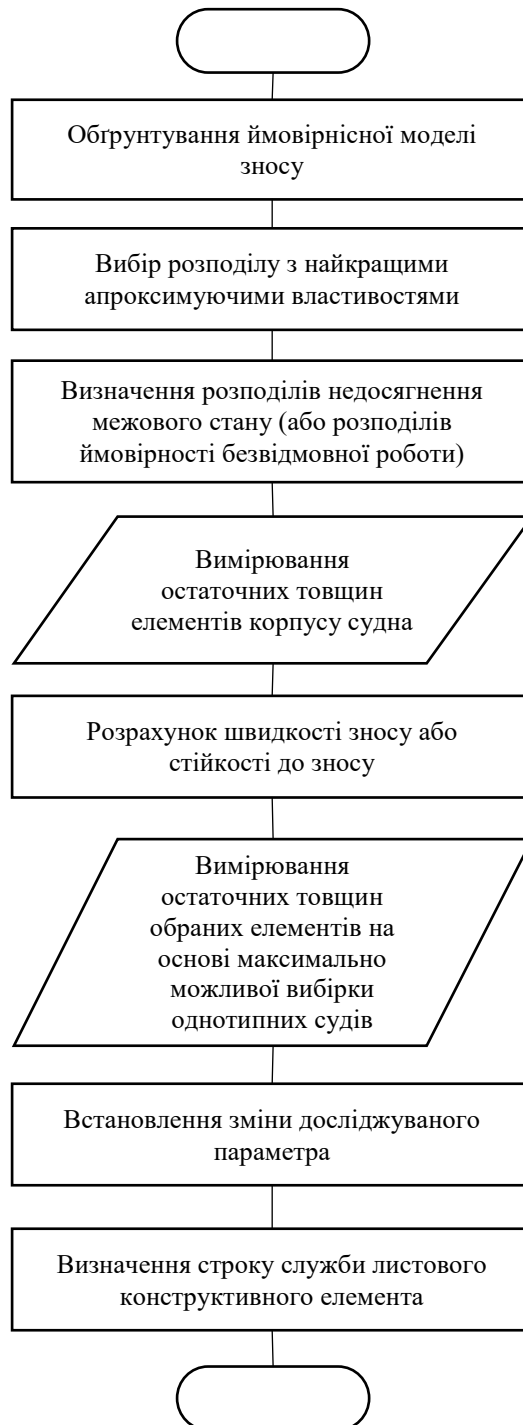


Рисунок 1 – Загальна структура методу автоматизації процесу аналізу ресурсу експлуатації листових конструкцій судна

ЛІТЕРАТУРА

1. T. Xu, Y. Qian, Z. Hu and C. Dandan, "Reliability analysis of ship equipment based on maintenance data," 2014 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-2014 Hunan), Zhangjiajie, China, 2014, pp. 530-535, doi: 10.1109/PHM.2014.6988229.
2. Zhang, P.; Gao, Z.; Cao, L.; Dong, F.; Zou, Y.; Wang, K.; Zhang, Y.; Sun, P. Marine Systems and Equipment Prognostics and Health Management: A Systematic Review from Health Condition Monitoring to Maintenance Strategy. *Machines* 2022, 10, 72. <https://doi.org/10.3390/machines10020072>.

3. Xie, T.; Wang, T.; He, Q.; Diallo, D.; Claramunt, C. A review of current issues of marine current turbine blade fault detection. *Ocean. Eng.* 2020, 218, 108194.
4. Nian, F. Viewpoints about the prognostic and health management. *Chin. J. Sci. Instrum.* 2018, 39, 1–14.
5. Lan, F.; Jiang, Y.; Wang, H.Y. Performance Prediction Method of Prognostics and Health Management of Marine Diesel Engine. In *Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation*, Shanghai, China, 20–21 September 2020; IOP Publishing: Bristol, UK, 2020; Volume 1670.
6. Volponi, A.J.; Brotherton, T.; Luppold, R.; Simon, D.L. Development of an Information Fusion System for Engine Diagnostics and Health Management. In *Proceedings of the AIAA 1st Intelligent Systems Technical Conference*, Chicago, IL, USA, 20–22 September 2004.
7. Lee, J.; Wu, F.; Zhao, W.; Ghaffari, M.; Liao, L.; Siegel, D. Prognostics and health management design for rotary machinery systems—Reviews, methodology and applications. *Mech. Syst. Signal. Pr.* 2014, 42, 314–334.
8. Rao, X.; Sheng, C.; Guo, Z.; Yuan, C. A review of online condition monitoring and maintenance strategy for cylinder liner-piston rings of diesel engines. *Mech. Syst. Signal Process.* 2022, 165, 108385.
9. Zheng Ming, Yang Yi and Zheng Yu, "Estimating parameters in Weibull distribution by grouped data", *University Journal of Applied Mathematics: Edit A*, vol. 18, no. 3, pp. 303-310, 2003.

Maranov O.

METHOD FOR AUTOMATING THE ANALYSIS OF THE SERVICE LIFE OF SHEET STRUCTURES OF A SHIP

The aim of the article is to enhance the quality of assessment and increase the service life of ship structures through the automation of the service life analysis process of sheet structures. The service life of sheet structures of vessels is highly relevant in the modern maritime industry. With the growth of global maritime transportation and the importance of maritime safety, the assessment and management of service life have become key aspects in ensuring the reliability and extended service life of vessels. Thorough and systematic examination of the condition of sheet structures, determination of the remaining service life, and maintenance planning have become critical for preventing accidents, ensuring maritime safety, and conserving resources. It is worth noting that automated analysis of the service life of sheet structures plays a pivotal role in enhancing ship safety, resource preservation, and efficiency in the maritime industry. The primary outcome of the article is a method for automating the analysis of the service life of sheet structures of a ship. The proposed method involves several steps, including the establishment of a probabilistic wear model, selection of the best distribution to assess the state of structures, measurement of final thicknesses of sheet elements in the ship's hull, and calculation of their service life. Automating this process improves the accuracy of assessment and ensures an optimal maintenance schedule, which, in turn, can increase the vessel's service life and reduce the risk of accidents. For future research, several possible directions are outlined, including expanding the model to examine other types of defects and their impact on the service life of sheet structures, improving the method through the development of more precise measurement and analysis techniques, integrating modern technologies such as sensors and artificial intelligence to enhance automation and analysis accuracy, and considering additional factors affecting the service life of ship structures, such as ship speed, weather conditions, water salinity, and more. The overarching goal of these further investigations is to further enhance maritime safety, prolong vessel service life, and optimize resource management.