

ПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

В. В. Кузнецов, А. П. Шевцов

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Анотація: Ресурс роботи теплопередавальних елементів суднових енергетичних установок визначає надійність їх роботи на протязі заданого проміжку часу. Представлена оцінка ресурсу елементів установки у вигляді імовірності безвідмовної роботи. Показано вплив коефіцієнтів варіації на загальне значення імовірності, обґрунтовані можливості підвищення показника імовірності безвідмовної роботи до 4,1 % абс.

Ключові слова: енергетична установка, надійність, теплопередавальний елемент, ресурс, запас міцності.

RELIABILITY DESIGN ANALYSIS OF THE HEAT-TRANSFER ELEMENTS OF MARINE POWER PLANTS

V. Kuznetsov, A. Shevtsov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract: Service life of heat-transfer elements of marine power plants determines the reliability of their operation during a given period of time. The evaluation of the plant elements resource through the probability of no-failure operation is presented. The influence of variation coefficients on the total probability value is shown, the possibility of increasing the probability of no-failure operation up to 4.1 % abs is substantiated.

Keywords: power plant, reliability, heat-transfer element, resource, assurance factor.

Аналіз відмов та несправностей теплопередавальних елементів енергетичних установок, отриманих у процесі експлуатації, свідчить, що незважаючи на достатній запас міцності, що приймається при проектних розрахунках, відбуваються їх поломки й аварії. Пояснюється це тим, що існуючі методи розрахунку не враховують цілий ряд факторів, що спостерігаються під час експлуатації. Головними з них можна виділити: розсіювання граничних напружень і механічних властивостей конструкційних матеріалів і поступову їх зміну під час експлуатації під дією змінних теплових навантажень; велике розсіювання ресурсу деталі при дії змінних напружень; появу раптових навантажень від непередбачених причин, що викликають повторні пластичні деформації; мала початкова в'язкість матеріалу деталі і наступне її зменшення в процесі експлуатації до величини, що відповідає можливості крихкої руйнації [1].

Таким чином, ресурс елемента можна оцінити імовірністю безвідмовної роботи P , тобто імовірністю того, що міцність деталі буде перевищувати на протязі часу експлуатації величину напружень матеріалу, викликаних тепловими навантаженнями.

Метою представленої роботи є оцінка зміни ресурсу теплопередавальних елементів енергетичних установок при їх проектуванні або модернізації.

В загальному вигляді для елементів, що функціонують заданий час, навантаження або напруження матеріалу, що викликане тепловими навантаженнями, можуть бути представлені у вигляді імовірної величини – амплітуди діючих напружень σ_a – розподіл яких відомий для всього інтервалу часу, що розглядається, та температур, за яких працює теплопередавальний елемент, а характеристика міцності деталі – допустимих напружень $[\sigma]$, розподіл яких відомий для фіксованого моменту часу та розподілу температур. Тоді імовірність неруйнації в обмеженому інтервалі часу можна розрахувати як

$$P_{i,t} = P([\sigma] - \sigma_a \geq 0) \quad (1)$$

Розрахунок імовірності неруйнації $P_{i,t}$ для фіксованих моментів часу здійснюється на визначенні композиції законів розподілу характеристик теплового навантаження і міцності [1].

Якщо міцність деталі $[\sigma]$ і навантаження незалежні і густина імовірності цих величин буде розподілена по нормальному закону, то густина імовірності різниці

$$\overline{M} = [\sigma] - \sigma_a \geq 0$$

за правилами композиції законів розподілу також буде розподілена за нормальним законом з параметрами $(\overline{M}, S_m^2)$, де $\overline{M}$ – середнє значення M , S_m – середнє квадратичне відхилення величини M , що визначаються відповідно як

$$\overline{M} = [\sigma] - \overline{\sigma}_a; \quad S_m^2 = S_{[\sigma]}^2 + S_a^2 \quad (2)$$

Умовою міцності при імовірності неруйнації P , що характеризується квантилем u_p , буде вираз [2]

$$M_p = \overline{M} + u_p S_m = 0 \quad (3)$$

З рівняння (3) квантиль визначиться як

$$u_p = -\frac{\overline{M}}{S_m}$$

Підставляючи замість $\overline{M}$ і S_m їх значення з рівняння (2), отримано

$$u_p = \frac{[\sigma] - \overline{\sigma}_a}{\sqrt{S_{[\sigma]}^2 + S_a^2}} \quad (4)$$

Для подальшого перетворення останнього рівняння введені наступні коефіцієнти:

$$n_{np} = \frac{[\sigma]}{\sigma_a};$$

– запасу міцності

– варіації $\theta_{[\sigma]} = \frac{S_{[\sigma]}}{[\sigma]}$ та $\theta_a = \frac{S_a}{\sigma_a}$.

Тоді, з урахуванням зазначених коефіцієнтів, рівняння для розрахунків квантілю (4) можна представити у вигляді

$$u_p = \frac{1 - n_{\text{пр}}}{\sqrt{n_{\text{пр}}^2 \theta_{[\sigma]}^2 + \theta_a^2}} \quad (5)$$

Розрахувавши квантіль u_p , по таблицях [2, 3] знаходять імовірність P неруйнування теплопередавальних елементів.

Для оцінки зміни ресурсу теплопередавальних елементів енергетичних установок у вигляді імовірності безвідмовної роботи P прийняті вихідні дані, що відповідають показникам газотурбінних та дизельних енергетичних установок [4–16] щодо діапазонів змін коефіцієнтів варіації у рівняннях (5). Матеріал поверхонь теплопередачі Ст12К, коефіцієнти запасу міцності $n_{\text{пр}}$ та допустимі напруження для якого визначені за даними [17, 18].

Аналіз отриманих результатів показує, що більший вплив на імовірність безвідмовної роботи оказують коливання коефіцієнту $\theta_{[\sigma]}$, що призводить до підвищення імовірності безвідмовної роботи у межах 2,9...4,1 %. Вочевидь, це викликано постійно діючими тепловими навантаженнями в обраному інтервалі температур, а також прийнятому при проектних розрахунках значеннях коефіцієнту запасу міцності. Досягнення більших значень імовірності можливе за рахунок зниження температурного рівня, в якому працюють теплопередавальні елементи, що в свою чергу призведе до підвищення значень допустимих напружень $[\sigma]$.

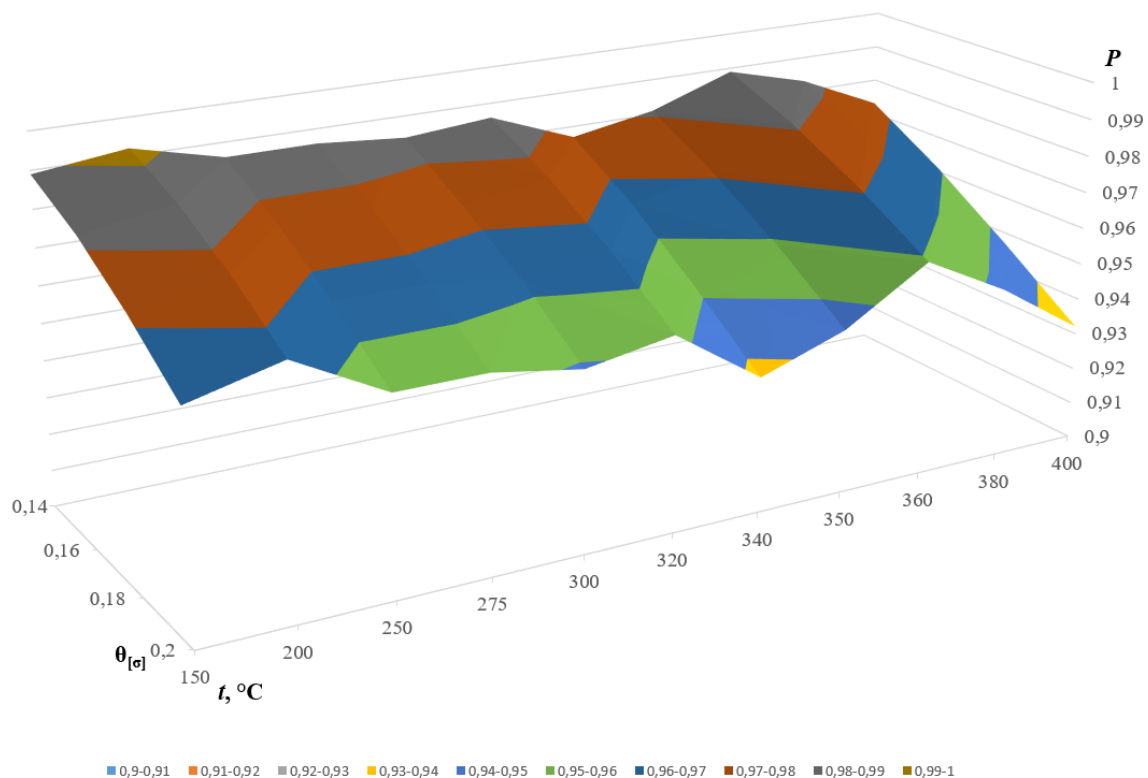


Рисунок 1 – Результати оцінки зміни імовірності безвідмовної роботи за умови $\theta_a = \text{const} = 0,15$

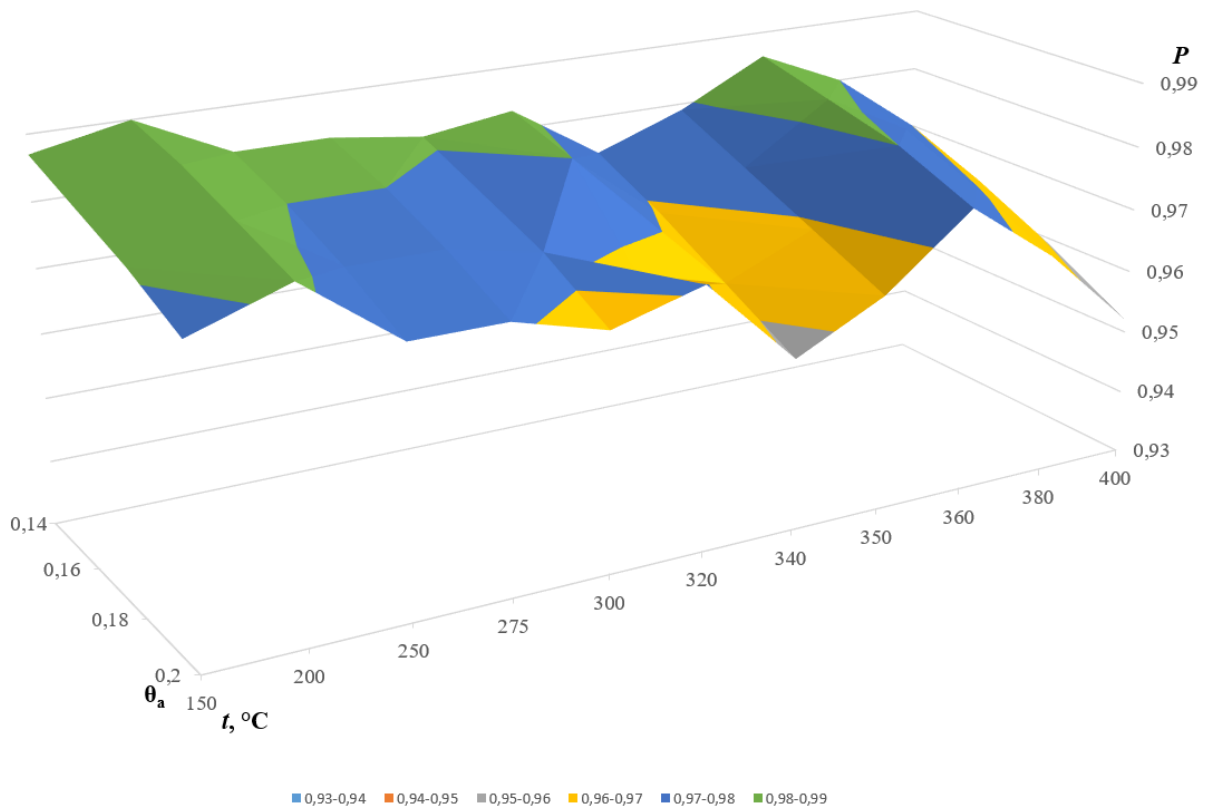


Рисунок 2 – Результати оцінки зміни імовірності безвідмовної роботи за умови $\theta_{[c]} = \text{const} = 0,15$

Зміна амплітудних значень навантажень призводить до підвищення імовірності безвідмовної роботи у межах 1,0...1,8 % абс., що показує незначний вплив короточасних теплових навантажень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Астахов С. В., Ватипко Б. А., Холяво Л. П. Оценка надежности судовых механизмов при проектировании и эксплуатации. Л.: Судостроение, 1979. 200 с.
2. Решетов Д. Н. Работоспособность и надежность деталей машин. М.: Высшая школа, 1974. 206 с.
3. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М. Советское радио, 1968. 288 с.
4. Reliable gas turbines: веб-сайт. URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/gas-turbines.html> (дата звернення: 03.02.2022).
5. ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект»: веб-сайт. URL: <https://zmturbines.com/ru/serial-production/engines/> (дата звернення: 03.02.2022).
6. MT30 Marine Gas Turbine: веб-сайт. URL: www.rolls-royce.com/products-and-services/defence/naval/gas-turbines/mt30-marine-gas-turbine.aspx (дата звернення: 03.02.2022).
7. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI 2018. URL: <https://mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/waste-heat-recovery-system.pdf> (дата звернення: 03.02.2022).

8. Marine engine programme. MAN Energy Solutions 2015-2020. URL: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/marine-engine-programme> (дата звернення: 03.02.2022).
9. Marine Diesel Engines and Generator Sets: веб-сайт. URL: https://www.cat.com/en_US/by-industry/marine.html (дата звернення: 03.02.2022).
10. Engines for commercial marine: веб-сайт. URL: <https://www.mtu-solutions.com/au/en/applications/commercial-marine/commercial-marine-solutions.html> (дата звернення: 03.02.2022).
11. Marine defense: naval engines: веб-сайт. URL: <https://www.mtu-solutions.com/cn/en/applications/defense/marine-defense-solutions.html> (дата звернення: 03.02.2022).
12. RTA and RT-flex low-speed engines: веб-сайт. URL: <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/rta-and-rt-flex-low-speed-engines> (дата звернення: 03.02.2022).
13. Diesel engines: веб-сайт. URL: <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines> (дата звернення: 03.02.2022).
14. Marine Engine: веб-сайт. URL: http://www.hyundai-engine.com/engine/engine02_01.asp (дата звернення: 03.02.2022).
15. Reliable Mitsubishi Marine Engines: веб-сайт. URL: <https://engine-genset.mhi.com/marine-engines> (дата звернення: 03.02.2022).
16. Анкудинова М. С., Ларин Е. А., Сандалова Л. А. Методы расчета и учета показателей надежности котла-утилизатора при выборе рациональных параметров схем отопительных ПГУ. Вестник СГТУ. 2015. № 2 (79). С. 133–141.
17. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1988. Т. 5.: Проектный анализ надежности / Под ред. В. И. Патрушева и А. И. Рембезы. 316 с.
18. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Ред. Совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1988. Т. 7.: Качество и надежность в производстве / Под ред. И. В. Апполонова. 280 с.

Кузнецов Валерій Валерійович к.т.н., доцент кафедри «Технічна теплофізика і суднові паровиробні установки» Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3678-595X>; valeriy.kuznetsov@nuos.edu.ua.

Шевцов Анатолій Павлович д.т.н., професор Навчально-наукового центру морської інфраструктури Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8692-6458>; anatoliy.shevtsov@nuos.edu.ua.