

Макаров О.М., Степух В.А., Марченко В.М., Дубинець О.І.

АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

До пріоритетних задач науково-технічного характеру, вирішення яких створює умови до удосконалення процесу експлуатації обладнання, відносяться: впровадження сучасних апаратних засобів, методів та програмно-алгоритмічного забезпечення параметричного контролю і діагностування обладнання, засобів та відпрацьованих технологій застосування методів неруйнівного контролю елементів (агрегатів), у яких в процесі експлуатації виникають відмови.

У статті наведено підхід, який дозволяє здійснити якісну оцінку рівня надійності по відношенню до попередніх періодів експлуатації. При цьому, не враховується вплив на статистичну оцінку показника інтенсивності експлуатації. Статистичні дані про відмови та несправності отримуються при нестабільних умовах спостережень, що значно впливає на точність та достовірність оцінки.

Ключові слова: експлуатація, діагностування, контроль параметрів, метод, аналітичне забезпечення

Серед важливих задач у напрямку удосконалення експлуатації за технічним станом є удосконалення системи збору, обробки та аналізу інформації про технічний стан та надійність суден.

Своєчасне виявлення моментів виникнення деградаційних процесів, що визначають терміни переходу у граничний стан та є індивідуальними для кожного типу виробів, є основною метою контролю рівня надійності техніки на даному етапі її експлуатації. Тому, метою даної статті є наведення особливостей аналітичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах.

Для оцінки надійності технічних виробів використовуються встановлені стандартами показники, що приведені у табл. 1.

З таблиці 1 видно, що одиничні показники надійності (наприклад, ремонтпридатність) характеризують тільки одну із властивостей технічного об'єкту, в той час як комплексні показники характеризують декілька властивостей, і в подальшому будуть використовуватися у якості основних для оцінки ефективності таких складних об'єктів, як судно та його функціональних систем. До цих показників відносяться коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності та коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт збереження ефективності [1].

Коефіцієнт готовності $K_r(t)$ прийнято визначати як імовірність того, що об'єкт буде в працездатному стані в будь-який момент часу, крім запланованих періодів, впродовж яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається [2]. Залежність $K_r(t)$ від часу часто називають нестационарним коефіцієнтом готовності (функцією готовності). Отримати вираз для нестационарного коефіцієнта готовності в аналітичному вигляді досить складно і в загальному випадку він має вигляд [2]

$$K_r(t) = P(t) + \int_0^t P(t-\tau) \cdot \omega_b(\tau) \cdot dt, \quad (1)$$

де $\omega_b(\tau)$ – параметр потоку відновлень.

Основні показники надійності

Властивість	Показник	Позначення
Одиничні		
Безвідмовність	Імовірність безвідмовної роботи	$P(t)$
	Інтенсивність відмов	$\lambda(t)$
	Параметр потоку відмов	$z(t)$
	Середній наробіток до відмови	T_1
	Середній наробіток на відмову	T_0
Довговічність	Середній ресурс	T_n
	Експлуатаційний ресурс (середній строк служби)	T_e
	Гамма-відсотковий строк служби	$T_{\gamma\%}$
Ремонтопридатність	Імовірність відновлення	P_B
	Інтенсивність відновлення	$\mu(t)$
	Середня тривалість відновлення	T_B
Збережуваність	Середній термін збережуваності	T_3

Властивість	Показник	Позначення
Збережуваність	Гамма-відсотковий термін збережуваності	$T_{\gamma\%}$
Комплексні		
Безвідмовність та ремонтпридатність	Коефіцієнт готовності	K_Γ
	Коефіцієнт оперативної готовності	$K_{ог}$
	Коефіцієнт технічного використання	$K_{ТВ}$

Поряд з цим, для будь-яких законів розподілу наробітку між відмовами та часу відновлення можна довести, що стаціонарний коефіцієнт готовності має вигляд

$$K_\Gamma = \frac{M(T_0)}{M(T_0) + M(T_B)}, \quad (2)$$

де $M(T_0)$ – математичне очікування часу знаходження ЛА у справному стані;

$M(T_B)$ – математичне очікування часу відновлення ЛА.

Поряд з $K_\Gamma(t)$ ДСТУ вводять коефіцієнт оперативної готовності $K_\Gamma(t, t + \tau)$ як імовірність того, що об'єкт буде знаходитися у працездатному стані в довільний проміжок часу, крім запланованих періодів, впродовж яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається, та починаючи з цього моменту буде працювати безвідмовно упродовж заданого інтервалу часу τ

$$K_\Gamma(t, t + \tau) = P(t + \tau) + \int_0^t P(t + \tau - x) \cdot \omega_B(x) dx. \quad (3)$$

Для дослідження впливу впроваджених методів та режимів технічного обслуговування і ремонту на ефективність процесу технічної експлуатації застосовують ще один комплексний показник надійності – коефіцієнт технічного використання $K_{\text{ТВ}}$, який дорівнює відношенню математичного очікування (МО) часу перебування об'єкта у працездатному стані за деякий період експлуатації $M(T_0)$ до суми МО часу перебування об'єкта в працездатному стані та сумарного часу простоїв на всіх видах профілактичних та ремонтних робіт

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{M(T_0)}{M(T_0) + M(T_{\text{пр}})}, \quad (4)$$

де $M(T_{\text{пр}})$ – сума математичних очікувань часу простою об'єкта на періодичних, регламентних, сезонних роботах, під час проведення доробок, ремонтів, усунення несправностей тощо.

На практиці у процесі експлуатації військової АТ для оцінки безвідмовності використовуються, як правило, показники інтенсивності відмов, параметру потоку відмов, середній наробіток до відмови, середній наробіток на відмову.

У науково-технічній літературі [3-5] загальноприйнятим вважається підхід до оцінювання показників надійності технічних виробів (інтенсивності відмов, параметру потоку відмов) як функції наробітку при різних законах розподілу часу між відмовами. Методи статистичного оцінювання показників при різних планах випробувань (спостережень) на надійність закріплені у державних стандартах України [6]. Але, як відмічається у [7], реальні умови експлуатації техніки не відповідають жодному плану, встановленому стандартом.

Деякі автори відмічають, що фізичне зношування технічних виробів виникає як під час їх використання за призначенням – зношування 1-го роду, так й під час простоїв (зберігання) – зношування 2-го роду [3,4].

Проведений аналіз літератури свідчить про відсутність чітко обґрунтованих рекомендацій щодо урахування впливу на величину статистичної оцінки показника надійності виробу календарного терміну його експлуатації поряд з наробітком.

Для оцінки рівня надійності (безвідмовності) відновлюваних об'єктів використовують характеристики потоку відмов: параметру потоку відмов \hat{z} або наробітку на відмову \hat{T}_0

$$\hat{z} = \frac{n}{t_{\Sigma}}, \quad \hat{T}_0 = \frac{t_{\Sigma}}{n}, \quad (5)$$

де n – сумарна кількість відмов і пошкоджень, що були виявлені в польоті та на землі за досліджуваний період часу експлуатації τ сукупності однотипних виробів;

t_{Σ} – сумарне напрацювання у польоті сукупності однотипних виробів за той же період часу τ .

Припустимо, що на виріб впливають два незалежних потоки відмов. Перший потік відмов пов'язаний з наробітком, другий – з календарним часом його експлуатації. Обидва потоки є простішими з відповідними інтенсивностями z_1 та z_2 . При цьому виріб являє собою об'єкт зі змінним режимом експлуатації.

З урахуванням наведених припущень в деякій літературі можна знайти наступне граничне співвідношення [8]

$$z_1 + \frac{z_2}{K_I} = z = \frac{1}{T_0}, \quad (5)$$

звідки отримуємо

$$\frac{K_I}{z_1 K_I + z_2} = T_0, \quad (6)$$

Коефіцієнт $0 \leq K_I < 1$ характеризує інтенсивність льотної експлуатації виробу за час T_e і визначається за виразом

$$K_I = \frac{T_e - T_{TO} - T_{відн} - T_{прост}}{T_e} \approx \frac{t}{T_e}. \quad (7)$$

де: T_e – календарний час експлуатації виробу за період (рік, півріччя), год., T_{TO} – середній час ТО виробу за той же період, год., $T_{відн}$ – середній час відновлення виробу за період, год., $T_{прост}$ – середній час простоювання виробів за період без застосування за призначенням, год., t – середній наробіток виробу за період, год.

За своїм змістом K_I схожий на коефіцієнт планованого застосування $K_{ПЗ}$, але останній враховує наробіток, що планується, та не враховує час простоювання без застосування за призначенням.

За допомогою виразу (7) можна виконати якісну та кількісну оцінку впливу інтенсивності експлуатації виробу K_I на показник його надійності (безвідмовності) T_0 .

Якісно з (7) видно, що при збільшенні інтенсивності експлуатації сукупності виробів K_I збільшується чисельник та добуток в сумі знаменника ($z_1 \cdot K_I$), але у зв'язку з тим, що $z_1 < 1$, чисельник зростає швидше, тому оцінка T_0 теж збільшується

$$K_I \uparrow \Rightarrow \frac{K_I \uparrow \uparrow}{(z_1 K_I) \uparrow + z_2} \Rightarrow T_0 \uparrow \quad (8)$$

Навпаки, при зменшенні інтенсивності експлуатації сукупності виробів $K_I \downarrow$ оцінка середнього наробітку на відмову та пошкодження T_0 теж зменшується

$$K_I \downarrow \Rightarrow \frac{K_I \downarrow \downarrow}{(z_1 K_I) \downarrow + z_2} \Rightarrow T_0 \downarrow. \quad (9)$$

Таким чином, статистичний показник надійності змінюється в залежності від інтенсивності експлуатації, хоча реальний рівень надійності при цьому залишається незмінним.

Розглянемо граничні випадки. Очевидно, що при достатньо високій інтенсивності відбувається швидке вичерпання ресурсу виробу за наробітком, відсутні тривалі простой без застосування за призначенням, тому інтенсивність потоку відмов, пов'язаних з старінням матеріалів $z_2 \rightarrow 0$. В цьому випадку, як видно з виразу (7), маємо

$$T_0 = \frac{1}{z_1}, \quad (10)$$

тобто міжперіодична оцінка дозволяє достатньо точно оцінити реальний рівень надійності та не залежить від зміни інтенсивності застосування.

Інша справа, якщо інтенсивність експлуатації мала [9-10]. В цьому випадку мають місце довготривалі простой без застосування за призначенням, відбувається інтенсивне старіння матеріалів конструкції на етапі, коли досягається вичерпання ресурсу за календарними термінами служби при істотному залишку ресурсу за наробітком. В граничному випадку, коли спостерігаються високі значення z_2 при $z_1 \rightarrow 0$, вираз (7) приймає вигляд

$$T_0 = \frac{K_I}{z_2}, \quad (11)$$

що свідчить про прямопропорційну залежність оцінки показника (6) від інтенсивності експлуатації.

Висновки. Отримані у результаті обробки інформації значення показників надійності за період експлуатації, як правило, порівнюються з відповідними значеннями показників за попередні періоди. Такий підхід дозволяє здійснити якісну оцінку рівня надійності по відношенню до попередніх періодів експлуатації. При цьому, як зазначено вище, не враховується вплив на статистичну оцінку показника інтенсивності експлуатації. Статистичні дані про відмови та несправності отримуються при нестабільних умовах спостережень, що значно впливає на точність та достовірність оцінки. Одним з часткових завдань дослідження є удосконалення методики статистичного контролю надійності агрегатів судового обладнання з урахуванням впливу інтенсивності експлуатації та нестабільних умов спостережень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мясников Ю.Н. Надежность и техническая диагностика судовых энергомеханических систем / Мясников Ю.Н. – СПб: Издательство Федерального государственного унитарного предприятия “Центральный научно-исследовательский институт имени академика А.Н.Крылова”, 2008. – 183 с.
2. Barlow R.E. Engineering reliability / Richard. E. Barlow – ASA – SIAM, Philadelphia, USA, 1998. – 196 p.
3. Smith A. M. RCM: gateway to world class maintenance / Anthony M. Smith., Glenn R. Hincheliffe – Elsevier Inc., Burlington, USA, 2004. – 340 p.
4. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення: ДСТУ 2864 : 94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України , 1995. – 30 с.
5. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860 : 94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України , 1995. – 79 с.
6. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги: ДСТУ 2862:94. – [Чинний від 1994-12-08]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 38 с.
7. StatSoft, Inc. (1999). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
8. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник)/ [Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В.].–Вид.1-е.–К.:ДВВП «Компас», 2012 – 336 с.
9. Стадник А.И. Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством/ В.Ф. Лавриненко, А.И. Стадник, В.П. Тарохтей //Водний транспорт, 2014. –Вип.3(21).–С.11–14.
10. Гудков Д.Н. Системы динамического позиционирования судов как эргатический инструмент повышения безопасности мореплавания / Д.Н. Гудков, И.В. Тихонов// Системы обробки інформації. –2013. – Вип. 8 (115). – С. 32–36.

Макаров А.Н., Степух В.А., Марченко В.М., Дубинець А.И.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К приоритетным задач научно-технического характера, решение которых создает условия для совершенствования процесса эксплуатации оборудования, относятся: внедрение современных аппаратных средств, методов и программно-алгоритмического обеспечения параметрического контроля и диагностирования оборудования, средств и отработанных технологий применения методов неразрушающего контроля элементов (агрегатов), в которых в процессе эксплуатации возникают отказы.

В статье приведены подход, который позволяет осуществить качественную оценку уровня надежности по отношению к предыдущим периодам эксплуатации. При этом, учитывается влияние на статистическую оценку показателя интенсивности эксплуатации.

Статистические данные об отказах и неисправностях получаемые при нестабильных условиях наблюдений, значительно влияет на точность и достоверность оценки.

Ключевые слова: эксплуатация, диагностирование, контроль параметров, метод, аналитическое обеспечение

Makarov O.M., Stepuk VA, Marchenko V.M., Dubinets O.I.

ANALYTICAL PROVISION OF OPERATION SHIPPING EQUIPMENT

Priority tasks of the scientific and technical nature, the solution of which creates conditions for improving the process of equipment operation, include: introduction of modern hardware, methods and software and algorithmic provision of parametric control and diagnostics of equipment, tools and waste technologies, the use of non-destructive control of elements (aggregates), which in the course of operation there are failures.

The article provides an approach that allows for a qualitative assessment of the level of reliability in relation to previous periods of operation. At the same time, the influence on the statistical estimation of the intensity of operation is not taken into account. Statistical data on failures and malfunctions are obtained in unstable conditions of observation, which greatly affects the accuracy and reliability of the assessment.

Key words: exploitation, diagnostics, control of parameters, method, analytical support