
**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

УДК 629.5.016

Богом`я В.І., Кучерук Н.В.

**АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПЛЕКСІВ
ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

У статті проведено аналіз техніко-економічних показників ефективності процесу експлуатації технічних комплексів (ТК), а також здійснено порівняльний аналіз існуючих підходів та методів їх оцінки.

Під ефективністю будь-якої технічної системи розуміють ступінь повноти реалізації задачі, що поставлена перед нею, та величину витрат, пов'язаних з її реалізацією при визначених умовах експлуатації та інтервалу часу [1,2]. Ефективність характеризується інтенсивністю свого прояву, міру якої називають показником ефективності [3]. Таким чином показник ефективності W є мірою ступеню відповідності реального результату Y , результату, що вимагається (мети) Y_e . В свою чергу, виходячи з мети підсистеми відновлення бортового обладнання [4], досягнення мети процесу ТО і Р, а значить і процесу технічної експлуатації (ПТЕ) комплексів геодезичного обладнання (КГО) пов'язано з витратами різноманітних ресурсів: матеріальних C , трудових T_r , фінансових F , часових T тощо. Тому при оцінці ефективності процесу відновлення об'єктів ТК необхідно враховувати, крім цільового результату g , й витрати різноманітних ресурсів (C , T_r , F , T), що мали місце при виконанні операцій. Звідси слідує, що показники ефективності експлуатаційних режимів об'єктів КГО повинні мати техніко-економічний характер [4,5].

Таким чином, реальний результат Y процесу відновлення КГО, що досліджується, являє собою R -мірний вектор характеристик результату ПТЕ, що включає відповідні групи компонент $R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$:

$$Y^{(R)} = (g^{(r_1)}, C^{(r_2)}, T_r^{(r_3)}, F^{(r_5)}, \dots). \quad (1)$$

Тобто, результат, що вимагається, також повинен бути представлений вектором ціліполювання,

$$Y_e^{(R)} = (g_e^{(r_1)}, C_e^{(r_2)}, T_{r_e}^{(r_3)}, F_e^{(r_5)}, \dots), \quad (2)$$

що задає межі допустимих значень відповідних показників $Y^{Україна}$ реального результату процесу експлуатації, що досліджується.

Для опису відповідності між Y і Y_e використовують деяку числову функцію ρ на множині результатів процесу відновлення, що розглядається, і що є функцією відповідності [4]:

$$\rho = \rho (Y(u), Y_e), \quad u \in U,$$

де U – множина варіантів організації процесу відновлення, що являють собою систему

правил управління технічним станом об'єктів КГО протягом їх технічного обслуговування або режимів ремонту, що безпосередньо визначають перелік (обсяг) вид та періодичність операцій відновлення.

Показники при оцінюванні ефективності процесу технічної експлуатації КГО, а отже і процесу функціонування системи відновлення, як правило, умовно розділяють на показники технічної ефективності та показники економічної ефективності [1-6,8].

Показники технічної ефективності. У відповідності до мети функціонування системи ремонту під ефективністю системи відновлення КГО будемо розуміти її спроможність підтримувати на заданому рівні готовність КГО до виконання завдань за призначенням.

Чисельні дослідження, що присвячені оцінці ефективності процесу технічної експлуатації КГО [1-6], доводять, що готовність комплексів до застосування значною мірою визначається надійністю. Причому під надійністю в залежності від мети дослідження розуміється сполучення таких складових як: безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність та збережуваність.

Основною вимогою при виборі показника ефективності є відповідність показника меті дослідження [8,9], а метою даного дослідження є удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту КГО, тому згідно рекомендацій [8] в якості основного показника маємо обрати один з показників надійності.

Всі складові надійності оцінюються за допомогою кількісних характеристик. У практиці оцінки надійності об'єктів КГО використовуються показники, що приведено у табл. 1 [1,9]. Як видно з табл. 1, одиничні показники надійності характеризують одну з властивостей технічного об'єкту (наприклад, безвідмовність) в той час як комплексні показники характеризують декілька властивостей.

Таблиця 1

Основні показники надійності

Властивість	Показник	Позначення
Одиничні		
Безвідмовність	Імовірність безвідмовної роботи	$P(t)$
	Інтенсивність відмов	$\lambda(t)$
	Параметр потоку відмов	$\omega(t)$
	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	$T_{\gamma\%}$
Ремонтпридатність	Імовірність відновлення	P_e
	Інтенсивність відновлення	$\mu(t)$
	Середня тривалість відновлення	T_v
Збережуваність	Середній термін збережуваності	T_z
	Гамма-відсотковий термін збережуваності	$T_{\gamma\%}$
Комплексні		
Безвідмовність та ремонтпридатність	Коефіцієнт готовності	K_z
	Коефіцієнт оперативної готовності	K_{oz}
	Коефіцієнт технічного використання	K_{mv}

Основними показниками безвідмовності невідновлювальних об'єктів у відповідності з ДСТУ 2862 – 94 є імовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середній наробіток об'єкту до відмови.

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ є імовірністю того, що в межах заданого наробітку відмова не виникне, тобто об'єкт, почав працювати у момент часу $t = 0$, буде працювати безвідмовно протягом часу t :

$$P(t) = P(\xi > t) = 1 - F_{\xi}(t),$$

де ξ – випадковий наробіток об'єкта до відмови;

$F_{\xi}(t)$ – функція розподілу наробітку об'єкта до відмови.

В якості характеристики середньої кількості відмов, що очікуються у малому проміжку часу для відновлювальних об'єктів використовують параметр потоку відмов $\omega(t)$, що для стаціонарного ординарного потоку відмов визначають за формулою:

$$\omega(t) = 1/T_0,$$

тобто $\omega(t)$ – математичне очікування кількості відмов об'єкта з відновленням в одиницю часу для сталого процесу експлуатації.

Зазвичай в теорії надійності, як правило, не розрізняють інтенсивність і параметр потоку відмов, внаслідок того, що потік відмов фізично є завжди ординарним. Тому, параметр потоку відмов асимптотично дорівнює імовірності відмов у інтервалі Δt [2,4].

Одним з кількісних показників безвідмовності об'єктів, що відновлюються, є середній наробіток на відмову:

$$T_0 = \frac{T}{M[n(t)]},$$

де $M[n(t)]$ – математичне очікування кількості відмов за заданий період наробітку T .

Одиничні показники надійності мають своєрідний “технологічний” характер: вони необхідні для використання в розрахунках комплексних (оперативних) показників надійності об'єкта [2-7]. Слід відмітити, що за статистичним матеріалом ці параметри розраховуються за наробітком судна без врахування тривалості простою на проведення операцій з ТО і Р.

Для врахування тривалості періодів відновлення та обслуговування розраховуються комплексні показники надійності. До них відносяться коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності та коефіцієнт технічного використання [3,4,8,9].

Для будь-яких розподілів наробітку між відмовами та часу відновлення можна доказати, що стаціонарний коефіцієнт готовності дорівнює:

$$K_g = \frac{M(T_0)}{M(T_0) + M(T_v)}, \quad (3)$$

де $M(T_0)$ – середній час знаходження КГО в справному стані;

$M(T_v)$ – середній час відновлення КГО.

Залежність $K_g(t)$ від часу часто називають нестационарним коефіцієнтом готовності (функцією готовності). Отримати вираз для нестационарного коефіцієнта готовності в

аналітичному вигляді досить складно і в загальному випадку [5]:

$$K_e(t) = P(t) + \int_0^t P(t-\tau) \cdot \omega_e(\tau) dt,$$

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

Поряд з коефіцієнтом готовності при дослідженні впливу методів та режимів технічного обслуговування на ефективність процесу технічної експлуатації застосовують коефіцієнт технічного використання K_{me} , який дорівнює відношенню математичного очікування (МО) інтервалу часу перебування об'єкта в 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 $M(T_{np})$:

$$K_{me} = \frac{M(T_0)}{M(T_0) + M(T_{np})},$$

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

Показники економічної ефективності. Наступним завданням є вибір показника, що дає кількісну оцінку того, якою ціною досягнуто те чи інше значення стаціонарного коефіцієнта готовності для обраного варіанту організації системи відновлення u , $u \in U$.

За кордоном, починаючи з 70-х років у практиці проектування та експлуатації судових комплексів знайшов застосування метод оцінки ефективності концепцій, що розроблюються за показником “вартість життєвого циклу” [3-5]. Під вартістю життєвого циклу системи конкретного типу розуміється інтегральні дисконтовані витрати на її розробку, виробництво та експлуатацію.

Провідними закордонними суднобудівними фірмами було розроблено ряд методик щодо оцінки вартості ЖЦ КГО на підставі математичних моделей, що дозволяють розрахувати вартісні показники на електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ). Як правило, показник вартості життєвого циклу використовується в якості цільової функції для оптимізації процесів розробки, виробництва та експлуатації об'єктів КГО на етапі її створення [7]. Він являє собою комплексний показник, що дає змогу найбільш повною мірою врахувати витрати та ефекти на всіх стадіях життєвого циклу.

Оскільки КГО не є виробничою сферою і не дають позитивного економічного ефекту в результаті свого функціонування, то для оцінки економічної ефективності функціонування системи експлуатації доцільно використовувати лише ті показники, що відображають величину різних видів витрат (матеріальних C , енергетичних E , трудових T_r , фінансових F та ін.), поданих у тому або іншому вигляді (абсолютному, відносному, питомому, приведенному), на досягнення певного результату [1,5].

У [1-5] запропоновано оцінювати економічну ефективність процесу технічної експлуатації об'єктів КГО у параметрах вартості та трудомісткості TO і P .

Питома трудомісткість TO $T_{r num}^{TO}$ (коефіцієнт трудомісткості TO) – є математичне очікування сумарних трудовитрат на проведення технічного обслуговування об'єкта КГО за визначений період експлуатації до математичного очікування наробітку об'єкта за цей період [3-5]:

$$T_{r_{num}}^{TO}(T) = \frac{M \left[\sum_{i=1}^N T_{r_{TOi}} \right]}{M \left[\sum_{i=1}^I t_{0i} \right]},$$

де $T_{r_{TOi}}$ – трудовитрати на проведення i -го ТО; N – кількість робіт з ТО за період експлуатації, що розглядається; t_{0i} – наробіток об'єкта в складі КГО у i -му циклі експлуатації.

З урахуванням введених вище позначень, отримаємо:

$$T_{r_{num}}^{TO}(T) = \frac{M \left[\sum_{j=1}^J T_{r_{O.Обс.j}} + \sum_{k=1}^K T_{r_{П.Обс.k}} + \sum_{p=1}^P T_{r_{Диагн.p}} + \sum_{f=1}^F T_{r_{Зб.f}} \right]}{M \left[\sum_{i=1}^I t_{0i} \right]}, \quad (4)$$

де для періоду експлуатації комплексів, що розглядається: $T_{r_{O.Обс.j}}$ – трудовитрати на j -е оперативне обслуговування; $T_{r_{П.Обс.k}}$ – трудовитрати на k -е періодичне обслуговування; $T_{r_{Диагн.p}}$ – трудовитрати на виконання робіт з p -го діагностування об'єкта; $T_{r_{Зб.f}}$ – трудовитрати на виконання робіт з ТО при f -ому збереженні.

Питома трудомісткість ремонтів $T_{r_{num}}^{PEM}$ (коефіцієнт трудомісткості ремонтів) – це математичне очікування сумарних трудовитрат на проведення всіх видів ремонтів об'єктів КГО за визначений період експлуатації до математичного очікування наробітку об'єкта за той же період [4,6]:

$$T_{r_{num}}^{PEM}(T) = \frac{M \left[\sum_{h=1}^H T_{r_{Виднh}} + \sum_{v=1}^V T_{r_{Пл.Рем.v}} \right]}{M \left[\sum_{i=1}^I t_{0i} \right]}, \quad (5)$$

де $T_{r_{Виднh}}$ – трудовитрати на усунення на h -ї несправності або відмови;

$T_{r_{Пл.Рем.v}}$ – трудовитрати v -го планового ремонту.

Очевидно, що представлені показники $T_{r_{num}}^{TO}$ і $T_{r_{num}}^{PEM}$, в параметрах вартості ТО будуть відповідати питомій вартості технічного обслуговування $C_{num}^{TO}(T)$ та питомій вартості ремонтів об'єкта СК $C_{num}^{PEM}(T)$ відповідно.

Для комплексної оцінки процесу технічної експлуатації об'єктів КГО з точки зору їх економічної ефективності незалежно від прийнятої стратегії ТО і Р використовують

показник питомих витрат процесу технічної експлуатації $C_{num}^{ПТЕ}$ як відношення математичного очікування витрат процесу технічної експлуатації об'єкта за період експлуатації, виражених в параметрах вартості або трудомісткості, до математичного очікування наробітку об'єкта за той же період, і який з урахуванням прийнятих позначень набуває вигляду

$$C_{num}^{ПТЕ}(T) = M \left[\sum_{j=1}^J C_{O.Обс.j} + \sum_{k=1}^K C_{П.Обс.k} + \sum_{h=1}^H C_{Відн.h} + \sum_{v=1}^V C_{Пл.Рем.v} + \sum_{z=1}^Z C_{Дор.z} + \sum_{p=1}^P C_{Діагн.p} + \sum_{w=1}^W C_{Трп.w} + \sum_{f=1}^F C_{Зб.f} + \sum_{q=1}^Q C_{Оч.q} \right] / M \left[\sum_{i=1}^I t_{0,i} \right]. \quad (6)$$

де $C_{O.Обс.j}$ – витрати на j -е оперативне обслуговування;

$C_{П.Обс.k}$ – витрати на k -е періодичне обслуговування;

$C_{Відн.h}$ – витрати на відновлення об'єкту КГО при h -ї несправності або відмови;

$C_{Пл.Рем.v}$ – витрати на проведення v -го планового ремонту;

$C_{Діагн.p}$ – витрати на виконання робіт по p -му діагностуванню об'єкта КГО;

$C_{Дор.z}$ – витрати на виконання z -ї доробки;

$C_{Трп.w}$ – витрати на w -те транспортування (доставку) об'єкта;

$C_{Зб.f}$ – витрати на f -те збереження (період простою в справному стані) об'єктів КГО;

$C_{Оч.q}$ – витрати, що пов'язані з очікуванням СК проведення різноманітних видів ТО.

Як видно з виразу (6), показник $C_{num}^{ПТЕ}$ на відміну від $C_{num}^{ТО}$ і $C_{num}^{Рем}$, дозволяє врахувати в одному показнику перерозподіл витрат процесу технічної експлуатації (ПТЕ) КГО між оперативними, періодичними видами ТО і плановими, позаплановими ремонтами при економічному оцінюванні різних стратегій ТО і Р.

Система відновлення КГО як складова частина системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) має суттєвий вплив на кількісні та якісні характеристики обмінного фонду [4,5]. Тому, при визначенні витрат на відновлення КГО необхідно врахувати витрати системи забезпечення (постачання) на створення, збереження, транспортування та поповнення обмінного фонду.

Таким чином витрати на відновлення КГО під час експлуатації пропонується визначати як сумарні витрати системи відновлення та системи постачання за виразом:

$$M[C_{\Sigma}(T)] = M[C_{\epsilon}(T)] + M[C_{зб}(T)], \quad (7)$$

де $M[C_{\Sigma}(T)]$ – середня сумарна вартість відновлення КГО за період, що розглядається; $M[C_{\epsilon}(T)]$ – середні витрати на відновлення КГО за період, що розглядається; $M[C_{зб}(T)]$ – середні витрати системи забезпечення за період, що розглядається.

Вартість відновлення складних технічних систем, що складаються зі значної кількості блоків, модулів, плат або інших конструктивно-змінних одиниць (КЗО), не враховуючи вартість робіт щодо пошуку та усунення відмови блока в експлуатуючій організації, доцільно оцінювати за допомогою виразу [5]:

$$M[C_{\epsilon}(T)] = \sum_{i=1}^k C_{\delta_i} \cdot (1 - Q_{\epsilon_i}) \cdot M[n_i(T)], \quad (8)$$

де $M[C_{\epsilon}(T)]$ – математичне очікування витрат на відновлення об'єктів за період, що розглядається; C_{δ_i} – закупочна ціна об'єкта (вузол, блок, агрегат) i -го типу; Q_{ϵ_i} – повнота відновлення i -го блока в експлуатуючій організації; $M[n_i(T)]$ – середня кількість замін i -го блока (КЗО) системи за період експлуатації, що досліджується; k – кількість типів КЗО, що підлягають відновленню.

На підставі аналізу існуючих показників ефективності складних технічних систем та мети дослідження пропонується оцінювати вплив системи відновлення КГО на ефективність процесу їх технічного обслуговування і ремонту за допомогою наступних показників [4]: K_c – стаціонарного коефіцієнту готовності; $M[C_{\epsilon\Sigma}(T)]$ – середньої сумарної вартості відновлення КГО за період, що розглядається; $M[n_{\epsilon}(t)]$ – середньої кількості замін (відновлень) об'єктів за визначений період експлуатації.

Таким чином, обрано основні показники ефективності функціонування системи відновлення КГО, які повністю відображають її вплив на ефективність процесу ТО і Р, що експлуатується.

Визначають різні підходи до техніко-економічної оцінки процесу технічної експлуатації об'єктів.

З аналізу літератури, що присвячена техніко-економічній оцінці об'єктів [2,4,6,7], методи, що використовуються в теперішній час для прогнозування показників їх ефективності на різних стадіях життєвого циклу, умовно поділяються на три групи.

1. Методи, що ґрунтуються на зборі статистичної інформації та оцінці фактичних значень показників техніко-економічної ефективності існуючих зразків технічних об'єктів, а також методів екстраполяції і інтерполяції, що ґрунтуються на використанні принципу аналогії для об'єктів, що створюються. В основі цих методів є дослідження взаємозв'язку основних експлуатаційно – технічних характеристик об'єктів-аналогів (прототипів) з показниками техніко-економічної ефективності, екстраполяції та інтерполяції цих зв'язків на параметри об'єктів, що досліджуються.

2. Структурно-логічні методи та схеми прийняття рішення (методи експертизи), що заключаються у визначенні тенденцій зміни показників техніко-економічної ефективності на підставі експертних оцінок. При цьому використовується анкетування, метод виражених оцінок, метричні методи, метод парних оцінок та ін.

3. Методи математичного моделювання, що дозволяють дослідити динаміку показників ефективності при зміні основних експлуатаційно-технічних характеристик об'єктів СК, режимів його ТО і Р, стратегії експлуатації.

Кожний з вказаних методів має свої переваги та недоліки, що й визначають ступінь їх застосовності для прогнозування показників ефективності на тих чи інших стадіях життєвого циклу судна. Найбільш повно вдається дослідити ефективність процесу експлуатації складних технічних систем (СТС) застосуванням аналітичних моделей.

Аналітичні моделі (в дискретній або неперервній формі) процесів функціонування СТС, що використовують апарат теорії відновлення, теорії випадкових процесів, послідовного аналізу, теорії управління запасами, математичного програмування дозволяють вирішувати широке коло задач, що обмежено складнощами обчислювального характеру. Розвиток обчислювальної техніки дозволив сформулювати та реалізувати на ЕОМ більш складні аналітичні моделі процесів експлуатації СТС, що являють собою систему інтегро-диференціальних рівнянь, що зводяться до рекурентних різницевих процедур і

вирішуються числовими методами [8,9].

В аналітичних моделях процес функціонування об'єкта дослідження представляється у вигляді деяких функціональних співвідношень або логічних умов. При цьому найбільш повне дослідження вдається провести при отриманні явних залежностей, що зв'язують шукані показники ефективності з параметрами, що характеризують процес технічної експлуатації, і початковими умовами дослідження.

Проведений аналіз свідчить про те, що найбільш раціональним підходом до оцінки та прогнозування показників техніко-економічної ефективності процесу технічної експлуатації КГО при оцінюванні ефекту від впровадження апаратно-програмних засобів контролю та діагностування його технічного стану (АСК), впливу різних експлуатаційних факторів, режимів ТО і Р, альтернативних стратегій відновлення суднових комплексів є математичне моделювання процесу, що досліджується.

Висновки. Для оцінки ефективності процесу технічної експлуатації суден розроблена та застосовується велика номенклатура показників. Тому для здійснення комплексної оцінки впливу процесу відновлення демонтованого внаслідок відмови обладнання КГО на техніко-економічну ефективність процесу технічної експлуатації необхідно використовувати векторний показник ефективності, що включає в себе ряд часткових показників використання, надійності та економічної ефективності з відокремленням групи загальних, найбільш важливих показників.

Порівняльний аналіз різних методів та підходів показав, що задачу оцінки та прогнозування показників техніко-економічної ефективності процесу технічної експлуатації сучасних КГО в з урахуванням різноманітних експлуатаційних факторів, прийнятої стратегії їх ТО і Р необхідно вирішувати з використанням концепції математичного моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Техничко-економические характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1992. – 232 с.
3. Судостроение и судостроение (статистика, экономика, цены). ЦНИИ им. Акад. А.Н.Крылова. – Вып. 8(35). – СПб, 2006. – 260 с.
4. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 277 с.
5. Волков Л.И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов – М.: Высшая школа, 1981 – 368 с.
6. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
7. 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.
8. Каштанов В.А. Оптимальные задачи технического обслуживания. – М.: Знание, 1981. – 122 с.
9. Стадник А.И. Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством// Лавриненко В.Ф., Стадник А.И., Тарохтей В.П. –К.:КДАВТ, «Водний транспорт», 2014. –Вип.3(21).–С.11–14.