

Богом'я В.І., Трофименко А.О.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Проблема вдосконалення системи технічної експлуатації об'єктів водного транспорту набула надзвичайно високої актуальності протягом останніх двох десятиліть. У статті проведено аналіз особливостей функціонування системи експлуатації й ремонту, як системи управління технічним станом. Проаналізовано особливості управління надійністю техніки, можливі шляхи нормування надійності для здійснення її контролю в процесі експлуатації. Проведено аналіз закордонного досвіду застосування стратегії технічної експлуатації об'єктів за станом з контролем рівня надійності. Проведено аналіз особливостей методичного забезпечення високого рівня експлуатації засобів водного транспорту в сучасних умовах.

На основі результатів проведеного аналізу виявлено невідповідність у практиці між тим, що, з одного боку, для флоту України експлуатація за технічним станом поза межами встановлених термінів служби є перспективною; й тим, що, з іншого боку, наявна інформація про технічний стан і надійність, методи її оброблення та аналізування не забезпечують прийняття достатньо обґрунтованих рішень щодо організації експлуатації за технічним станом.

Також виявлено невідповідність у теорії між тим, що, з одного боку, наявний науково-методичний апарат статистичного оцінювання та контролю показників надійності більшою мірою відповідає умовам розробки та виробництва техніки, з іншого боку, – експлуатація суден флоту України характеризується впливом різноманітних специфічних факторів (змінна інтенсивність експлуатації за періодами, випадковість величини сумарного наробітку однотипних виробів тощо).

У межах широкої наукової й практичної проблеми забезпечення безпечної та ефективної експлуатації суден за технічним станом виділено актуальне наукове завдання щодо вдосконалення методичного забезпечення управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності за нестабільних умов спостережень.

***Ключові слова:** система технічної експлуатації, засоби водного транспорту, надійність, науково-методичне забезпечення експлуатації, характеристики експлуатації.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Розвиток експлуатації суден протягом останніх двох десятиліть призвів до різкого зростання вартості створення суден і, як наслідок, до збільшення експлуатаційних витрат, зростання матеріальних, часових і трудових затрат на технічне обслуговування й ремонт (ТО і Р). Відомо, що вартість ТО і Р за весь період експлуатації судна в кілька разів перевищує вартість його розробки та виробництва. У зв'язку з цим зрозуміла актуальність удосконалення системи ТО і Р суден як системи управління їх технічним станом.

Інтенсивний розвиток техніки у ХХ столітті суттєво підвищив вимоги щодо зменшення ваги й габаритів технічних систем за одночасного збільшення їх продуктивності й навантажувальних характеристик. За цих умов проблема забезпечення надійності об'єктів набувала все більшої актуальності. Її вирішення здійснювалося за двома основними напрямками [1]:

удосконалення фізико-хімічних властивостей конструкційних матеріалів, що дало можливість розробити матеріали, які витримують не тільки значні механічні навантаження, а

й мають високу стійкість до зношування й здатність до опору зовнішнім і внутрішнім руйнівним факторам;

дослідження процесів функціонування машин і механізмів в експлуатації, що визначило створення статистичної концепції теорії надійності, яка дала можливість одержати ймовірнісну оцінку надійності складних об'єктів під час проектування й забезпечити одержання кількісних характеристик надійності, зокрема й судових технічних засобів.

В останньому випадку статистичні дані про відмови та несправності технічних об'єктів виконують функцію зворотного зв'язку та інформують про помилки проектування, виробництва й експлуатації суден.

На початку 1980-х років для аналізу процесів функціонування технічних систем суден та прогнозування можливого розвитку цих процесів у передбачуваних умовах експлуатації почали впроваджуватися інформаційні технології (сукупність засобів і способів одержання, передавання і представлення інформації про технічний стан об'єкта). Розвиток методів технічної експлуатації агрегатів засобів водного транспорту на базі інформаційних технологій передбачає високій рівень формалізації процедур аналізу вихідної інформації, тобто якісно інший рівень організації інформаційного середовища, що, у свою чергу, передбачає не тільки оброблення інформації про параметри робочого процесу й подання інформації в словесно-рекомендувальній формі (інтелектуальний радник оператора), а й використання спеціальних діагностичних приладів і апаратури, що дає можливість визначати поточний технічний стан обладнання й прогнозувати зміни технічного стану.

Згідно з [2] головною метою функціонування системи ТО і Р є управління технічним станом виробів упродовж їх терміну служби або ресурсу до списання. Управління технічним станом виробів у системі ТО і Р з контролем рівня надійності зводиться до управління рівнем надійності певної сукупності однотипних виробів, у системі ТО і Р з контролем параметрів – до управління технічним станом кожного конкретного виробу

Серед важливих завдань у напрямку вдосконалення системи ТО і Р є вдосконалення системи збирання, оброблення та аналізування інформації про технічний стан обладнання суден [3]. Ознаками технічного стану, як відомо, можуть бути (відповідно до прийнятої стратегії ТО і Р): значення наробітку, значення діагностичного параметра, значення показника надійності.

Відомо, що у складі конструкції судна є велика частка обладнання, яке не передбачає використання відповідних засобів контролю й діагностики в умовах експлуатації та має індивідуальні терміни переходу в граничний стан [4, 5]. При цьому термін переходу в граничний стан є випадковою величиною, характеристики якої неможливо визначити дослідним способом у сучасних умовах експлуатації.

Своєчасне виявлення моментів виникнення деградаційних процесів, що визначають терміни переходу в граничний стан та є індивідуальними для кожного типу виробів, – основна мета контролю рівня надійності техніки на цьому етапі експлуатації.

Зазначені обставини призводять до необхідності використання результатів статистичного контролю надійності агрегатів засобів водного транспорту.

Основною метою контролю надійності в сучасних умовах експлуатації є своєчасне виявлення моментів виникнення деградаційних процесів, обумовлених дією різноманітних факторів. Моменти початку процесів деградації є випадковими та індивідуальними для кожного типу виробів, що вносить певну частку невизначеності стосовно термінів безпечної та ефективної експлуатації обладнання суден.

Аналіз практичної діяльності щодо організації та здійснення контролю надійності обладнання суден свідчить про невідповідність прийнятого підходу до контролю рівня надійності умовам експлуатації обладнання. Підхід, що є, заснований на порівняльному аналізі експлуатаційних даних про відмови та несправності обладнання з відповідними даними за попередні періоди експлуатації [6, 7]. Це не дає можливості зробити якісні висновки про фактичний рівень надійності виробів відносно її певного граничного рівня.

Альтернативним може бути підхід до оцінювання рівня надійності, який враховує [8, 9]:

-
- вплив інтенсивності експлуатації на величину показників надійності;
 - змінну кількість та сумарний наробіток однотипних суден, що їх використовують за призначенням у різні періоди експлуатації;
 - граничні рівні надійності складових елементів функційних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання цієї проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячено цю статтю

Водночас, як свідчить аналіз науково-технічної літератури [10, 12, 13], загальноприйнятим залишається підхід до оцінювання показників надійності технічних виробів (інтенсивності відмов, параметра потоку відмов) як функції наробітку за різних законів розподілу часу між відмовами. Виняток становлять такі вироби, для яких характерним параметром під час оцінювання надійності є календарний термін зберігання. Державними стандартами України регламентовано методи статистичного оцінювання показників за різних планів випробувань (спостережень) [11, 12, 18]. Але реальні умови експлуатації технічних виробів не відповідають планам випробувань на надійність, встановленим стандартом. Зазначені плани випробувань на надійність не враховують випадкового характеру зміни (нестабільність) умов спостережень, що є притаманним для процесу експлуатації.

У [14–17], [19], [20] наведено загальні підходи до організації й проведення статистичного контролю надійності, моделі, схеми управління надійністю у загальному вигляді. Проте чітко обґрунтованих рекомендацій щодо порядку вибору й обчислення величин, які є складниками наведених моделей, не надано.

Отже, в межах широкої наукової й практичної проблеми вдосконалення системи ТО і Р обладнання суден виділяється актуальне наукове завдання – вдосконалення методичного забезпечення управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності у разі нестабільних умов спостережень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою роботи є забезпечення нормативного рівня надійності агрегатів засобів водного транспорту в умовах експлуатації.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі часткові завдання:

1. провести аналіз особливостей удосконалення процесу технічної експлуатації засобів водного транспорту у сучасних умовах;
2. провести аналіз стану та перспектив розвитку науково-методичного забезпечення управління технічним станом обладнання суден;
3. розробити статистичну імітаційну модель управління технічним станом як процесу технічної експлуатації агрегатів засобів водного транспорту;
4. удосконалити науково-методичне забезпечення управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності при нестабільних умовах спостережень, а саме: удосконалити процедури статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів засобів водного транспорту з урахуванням впливу інтенсивності експлуатації та удосконалити процедури статистичного контролю рівня надійності агрегатів засобів водного транспорту при нестабільних умовах спостережень;
5. розробити пропозиції щодо забезпечення нормативного рівня надійності агрегатів засобів водного транспорту в сучасних умовах експлуатації.

Об’єкт дослідження – процес управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності.

Предмет дослідження – науково-методичне забезпечення управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;

Під технічною експлуатацією суден розуміється сукупність заходів з технічного використання, технічного обслуговування і ремонту, що забезпечують безпечну експлуатацію суден, запобігання забрудненню навколишнього середовища, ефективне технічне використання і справний стан суден [4–8]. Технічна експлуатація суден реалізується як виробнича, організаційна, науково-технічна діяльність суднових екіпажів, берегових підрозділів судновласників, судноремонтних підприємств, науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій.

Технічне використання – сукупність заходів, що забезпечують роботу справних суднових конструкцій, суднових технічних засобів і суден в цілому за призначенням, з техніко-економічними показниками, передбаченими проектом судна або заданими судновласником.

Технічне обслуговування – сукупність заходів, що забезпечують підтримання справного стану суднових конструкцій, суднових технічних засобів і суден в цілому без виведення суден з експлуатації.

У процесі технічної експлуатації суден відбуваються: об'єктивний процес зміни технічного стану суднових конструкцій і суднових технічних засобів та суб'єктивні процеси технічного використання, технічного обслуговування і ремонту.

Організаційно-технічною основою процесу технічної експлуатації техніки є система технічної експлуатації. Важливою складовою системи технічної експлуатації є система технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), яка являє собою сукупність взаємодіючих об'єктів, засобів ТО і Р, інженерно-технічного персоналу та відповідної програми ТО і Р.

В програмі ТО і Р відображається прийнята для того чи іншого об'єкта експлуатації стратегія ТО і Р. Загально прийнятими є такі стратегії ТО і Р: за наробітком; за станом з контролем параметрів; за станом з контролем рівня надійності. Порівняльна характеристика стратегій ТО наведена у таблиці 1.1.

Метою функціонування системи ТО і Р є управління технічним станом виробів на протязі їх терміну служби або ресурсу до списання, яке дозволяє забезпечити:

- заданий рівень готовності виробів до використання за призначенням та їх працездатність в процесі використання;
- мінімальні витрати часу, праці та коштів на виконання ТО і Р виробів.

Основні функції щодо організації технічної експлуатації суден флоту України, як відомо, покладено на Регістр Судноплавства України. У відповідності до Статуту Регістру і з урахуванням освоєння нових робіт та послуг, Регістр здійснює свою діяльність за наступними напрямками:

- класифікація морських суден, суден змішаного і внутрішнього плавання, малих суден, окрім спортивних, військових суден і малих риболовних суден, класифікація плавучих бурових установок, морських стаціонарних платформ і інших об'єктів;
- ухвалення проектно-технічної документації і технічне спостереження за побудовою, переобладнанням, модернізацією і ремонтом суден, судових механізмів, обладнання, пристроїв, холодильних установок, контейнерів, випробуванням і виготовленням судових виробів з оформленням відповідних документів;
- технічне спостереження за судами, що експлуатуються, шляхом проведення первинного і періодичних освідчень, видача документів про придатність суден до плавання, здійснення обліку суден з веденням Регістрової книги;
- технічне спостереження за обладнанням з попередження забруднення з суден, обмір морських суден, суден змішаного і внутрішнього плавання, сертифікація судових матеріалів і виробів, визнання і сертифікація підприємств;
- освідчення суден і судового обладнання, обмір суден згідно вимог міжнародних конвенцій у відповідності з повноваженнями, наданими Регістру судноплавства України Адміністраціями України і низкою іноземних держав – сторін міжнародних конвенцій;

Порівняльна характеристика стратегій технічного обслуговування

Характеристика	Стратегії технічного обслуговування		
	за наробітком	за станом	
		з контролем параметра	з контролем рівня надійності
Забезпечення безпеки експлуатації	Встановленням ресурсу, в межах якого відмова малоімовірна	Контроль параметрів з метою виявлення передвідмовного стану	Забезпечується резервуванням, дублюванням
Ознаки технічного стану виробу	Значення наробітку	Значення параметра, що контролюється	Значення показників надійності
Гранично – допустимий стан	Виробіток ресурсу	Передвідмовний стан	Відмова
Залежність інтенсивності відмов від часу	Функціональна залежність	1.Суттєвий розкид 2.У деяких випадках є функціональна залежність	Суттєвий розкид
Спосіб управління надійністю (безвідмовністю)	Зміна величини ресурсу	Зміна попереджувального допуску на параметри	Виконання конструктивно – технологічних доробок або профілакт. заходи
Спосіб відновлення працездатності	Зміна елементів, які виробили ресурс	Регулювання параметрів, заміна елементів із передвідмовним станом	Заміна відмовивших елементів
Спосіб визначення моменту заміни	Виробіток міжремонтного ресурсу	Контроль (індикація, реєстрація) передвідмовного стану	Індикація (реєстрація) відмови
Періодичність контролю	Визначається встановленим ресурсом	Визначається інтенсивністю зміни ТС та розвитку передвідмовного стану	Визначається рівнем надійності, ступенем резервування.
Функціональна значливість	Впливає на безпеку експлуатації	Впливає на безпеку експлуатації	Не впливає на безпеку експлуатації
Контролепридатність	Можливість контролю функціонування перед використанням	Можливість контролю працездатності за параметрами (попереджуваними допусками), локалізації прогнозуємої відмови	Можливість контролю функціонування та локалізації відмови
Відсоток використання	6...10%	15...31%	65...75%

-
- освідчення суднохідних компаній, суден і портів на відповідність вимогам Міжнародного кодексу з управління безпекою і Міжнародного кодексу з охорони суден і портових засобів у відповідності з повноваженнями, наданими Регістру судноплавства України Адміністраціями України низкою іноземних держав;
 - технічне спостереження за суднохідними гідротехнічними спорудами і гідротехнічними спорудами портів, суднобудівних і судноремонтних заводів в експлуатації незалежно від їх форм власності, ведення Реєстру гідротехнічних споруд, що знаходяться під технічним наглядом Регістру судноплавства України;
 - технічне спостереження за проведенням промірних робіт на акваторіях і підхідних каналах до портів, суднобудівних і судноремонтних заводів на суднохідних шляхах України;
 - сертифікація систем управління (менеджменту) якістю в системі сертифікації Регістру судноплавства України і в міжнародній системі незалежної сертифікації SIC (System of Independent Certification) тощо.

Одним з головних завдань, покладених на Регістр Судноплавства України, без вирішення якого неможливо повноцінна реалізація його діяльності, є розробка власних Правил, Керівництв та іншої нормативної документації. Для виконання цього завдання Регістр Судноплавства України у 2002 році розробив і затвердив концепцію, яка встановлює основні напрямки і порядок розробки нормативних документів. Здійснюючи класифікацію всіх без виключення суден і плавзасобів, Регістр Судноплавства України розробив Правила для багатьох типів суден різного призначення. Для забезпечення розширення своєї діяльності Регістр Судноплавства України розробив "Правила класифікації, побудови і обладнання плавучих бурових установок і морських стаціонарних платформ". На сучасному етапі Регістр Судноплавства України має повний комплект власних Правил класифікації й побудови морських суден, суден змішаного і внутрішнього плавання, малих суден, а також Керівництво з технічного нагляду за побудовою суден, виготовленням матеріалів і виробів і Правила освідчення цих суден.

Закордонний досвід застосування стратегії технічної експлуатації за станом з контролем рівня надійності. Процедура статистичного контролю надійності техніки

За даними закордонних компаній, стратегія ТО і Р за наробітком застосовується для 6...10% виробів, стратегія з контролем параметрів – для 15...31%, з контролем рівня надійності – для 63...75% [18, 19].

Головною перевагою стратегії ТО і Р з контролем рівня надійності є її економічність. Вона досягається шляхом зменшення обмінного фонду приладів і агрегатів, зменшення витрат на ремонт, підвищення терміну їх служби, зменшення трудовитрат на заміну та контроль (при використанні сучасних засобів контролю).

Упровадження технічного обслуговування виробів з контролем рівня надійності передбачає вирішення низки задач, у тому числі:

- організацію оперативного збору та обробки інформації про надійність, яка дозволяє визначити фактичні рівні надійності типів виробів, що експлуатуються, за обраними показниками;
- розробку метода встановлення нормативних рівнів надійності для кожного типу виробів;
- організацію оперативного порівняння фактичного рівня надійності з нормативним і виконання аналізу можливих наслідків;
- створення комісій для прийняття рішень про можливість продовження експлуатації виробів того чи іншого типу до відмови та розробки заходів з підтримання рівня їх надійності.

Блок-схема управління процесом технічної експлуатації сукупності однотипних виробів при застосуванні стратегії технічного обслуговування за станом з контролем рівня надійності наведена на рис. 1.

У даному випадку об'єктом управління (ОУ) є сам об'єкт експлуатації (ОЕ), який представлено сукупністю однотипних блоків або агрегатів функціональних систем суден і процес їх технічної експлуатації (ПТЕ). Інформація про надійність об'єктів експлуатації надходить до блоку обробки інформації (БІ), де здійснюються обчислення статистичних характеристик надійності, визначення фактичного рівня надійності R_{ϕ} , накопичення якісної та кількісної інформації з відмов Z , інформації про наробіток об'єктів T і техніко-економічної інформації C .

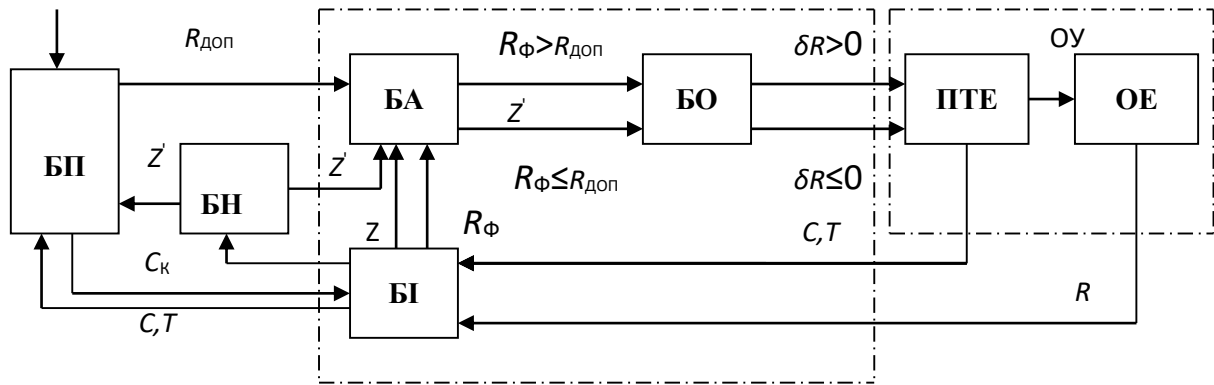


Рис. 1. Блок-схема управління процесом технічної експлуатації сукупності однотипних виробів для стратегії технічного обслуговування за станом з контролем рівня надійності

Оброблена інформація надходить до блоку аналізу (БА). Там здійснюється порівняння кількісних характеристик надійності з допустимими значеннями рівня $R_{\text{доп}}$, а також аналіз якісної інформації про відмови (вид відмови, місце проявлення, наслідки) з накопиченою інформацією за попередні періоди експлуатації Z , яка надходить з блоку накопичення інформації (БН). Блок аналізу спрямовує результати аналізу до оперативного блоку (БО), де вони перетворюються у команди управління, які впливають безпосередньо на процес технічної експлуатації, а через нього – на об'єкт експлуатації.

Результатом аналізу інформації є висновок, чи знаходиться фактичний рівень надійності у межі допуску. Якщо $R_{\phi} > R_{\text{доп}}$, оператор виробляє команду на продовження експлуатації з контролем рівня надійності $\delta R > 0$.

Якщо ж $R_{\phi} \leq R_{\text{доп}}$, то у блоці аналізу відбувається аналіз якісної інформації Z і оператор виробляє команду на заміну процесу експлуатації ($\delta R \leq 0$), а також заходи з подальшої експлуатації δz (призначення додаткових робіт з технічного обслуговування; зміна періодичності контролю надійності та умов експлуатації; виконання конструктивних доробок; тимчасовий перехід на стратегію обслуговування та ремонту за наробітком). Програмний блок (БП) призначений для формування допустимого рівня надійності $R_{\text{доп}}$ в залежності від характеристик наробітку T і економічних факторів C та, в свою чергу, формує для блоку обробки інформації необхідні вимоги для статистичного контролю C_k за обсягом вибірки та періодичністю контролю.

Контроль рівня надійності сукупності однотипних виробів здійснюється статистичними методами. Даним видом контролю охоплюється, як правило, більшість агрегатів і вузлів незалежно від застосованої до них стратегії ТО і Р. Однак, тільки для стратегії ТО і Р з контролем рівня надійності цей вид контролю є основним.

При даній стратегії обслуговування критерієм технічного стану сукупності однотипних виробів є рівень надійності, виражений відповідним показником. Такий показник має нести максимум інформації про технічний стан виробів, бути зручним для проведення оперативного порівнювального аналізу, а також бути критичним до змін процесу технічної експлуатації

сукупності виробів (змін умов експлуатації, рівня відновлення функціональних систем). Такими показниками, можуть бути: параметр потоку відмов λ та число відмов, яке припадає на 1000 годин наробітку K_{1000} [20].

Для отримання вихідної інформації про надійність у країнах-виробниках існує налагоджена система збирання та обліку інформації про надійність, яка містить розроблену номенклатуру вихідної інформації, форму її подання та прийняту організацію збирання даних із зазначенням місця одержання та обробки і відповідальних осіб.

Для обробки одержаної інформації використовуються відомі методи математичної статистики: оцінка параметрів розподілу за вибіркою (методи максимальної правдоподібності, моментів та інші), перевірка статистичних гіпотез про закон розподілу наробітку до відмови та інші.

Особливе місце при застосуванні стратегії ТО і Р з контролем рівня надійності посідають вибір і призначення нормативного (допустимого) рівня надійності $R_{\text{доп}}$, який встановлюється для кожного типу виробів.

Для початкового періоду впровадження стратегії ТО виробів з контролем рівня надійності встановлення допустимого рівня $R_{\text{доп}}$ здійснюється на засаді досвіду експлуатації виробів або їх аналогів за попередні 2...3 роки експлуатації. При цьому враховується інформація про надійність виробів, яку мають підприємства-розробники за результатами проведення стендових, ресурсних та заводських випробувань.

Для відстеження фактичних рівнів надійності виробів і своєчасного виявлення зрушень значень показників рекомендується застосовувати три види контролю: щомісячний контроль, щоквартальний контроль і річний облік даних.

Фактичний рівень надійності виробів $R_{\text{ф}}$ визначається відповідно до вибраних показників надійності. При використанні таких показників як параметр потоку відмов λ і кількість відмов, що припадає на 1000 годин наробітку K_{1000} використовують такий спосіб контролю.

Вихідна інформація: кількість відмов виробів, що спостерігається за i -й період експлуатації – $n_{\text{ф}i}$; наробіток сукупності однотипних виробів, які спостерігаються – $t_{\Sigma i}$.

Рівень надійності сукупності однотипних виробів контролюється шляхом порівняння спостерігаємої кількості відмов $n_{\text{ф}i}$ з верхньою межею регулювання надійності (ВМР), яка характеризує припустимий рівень надійності [2, 7].

Кількість відмов n , що спостерігається, має випадковий характер і підпорядкована відомому закону Пуассона з імовірністю P_n рівно n відмов за час $t_{\Sigma k}$ з параметром $\hat{n}_{\lambda k}$:

$$P_n = \frac{(\hat{n}_{\lambda k})^n}{n!} \cdot e^{-\hat{n}_{\lambda k}}, \quad (1)$$

де $\hat{n}_{\lambda k}$ – оцінка кількості відмов однотипних виробів, що очікуються у k -му періоді, визначається за формулою:

$$\hat{n}_{\lambda k} = \hat{z}_{\lambda k} \cdot t_{\Sigma k}. \quad (2)$$

Оцінка заданого рівня параметра потоку відмов у k -му контрольному періоді може бути визначена як середнє значення фактичного параметра потоку відмов за попередні $k-1$ періодів експлуатації:

$$\hat{z}_{\lambda k} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} \hat{z}_{\text{ф}i}}{k-1}. \quad (3)$$

За відсутністю апіорних даних про вид закону розподілу наробітку на відмову $F_{\xi}(t)$, оцінка фактичного параметру потоку відмов визначається за формулою

$$\hat{z}_{\phi_i} = \frac{n_{\phi_i}}{t_{\Sigma_i}}. \quad (4)$$

Тоді імовірність того, що загальна кількість відмов пристроїв за час t_{Σ} не перевищить верхню межу регулювання (ВМР, припустимий рівень) при наявності лише випадкових причин, визначатиметься наступним чином:

$$P_{\text{зад}} = \sum_{n=0}^{\text{ВМР}} \frac{(\hat{z}_{\text{зк}} \cdot t_{\Sigma_k})^n}{n!} \cdot e^{-(\hat{z}_{\text{зк}} \cdot t_{\Sigma_k})}, \quad (5)$$

де $\hat{z}_{\text{зк}}$ – запланований параметр потоку відмов, який являє собою припустимий рівень надійності $R_{\text{доп}}$.

Задавши необхідний рівень $P_{\text{зад}}$, з використанням виразу (5) визначається верхня границя регулювання, яка використовується при контролі рівня надійності.

У закордонній практиці для визначення верхньої границі регулювання приймається $P_{\text{зад}} = 0,975$. Це означає, що випадковий викид за верхню границю не перевищує 2,5%, що вважається малоімовірним. Тому у випадку перевищення спостережуваним числом відмов верхньої границі регулювання припускається наявність невідповідних причин. В цьому випадку проводиться аналіз можливих причин (зняття блоків, розбирання зі всебічним дослідженням технічного стану з виявленням слабких місць у конструкції). Для їх усунення розробляють і здійснюють конкретні заходи.

Крім цього, визначається тенденція зміни показника надійності, який обчислено для контрольного періоду заданої тривалості. Результати контролю рівня надійності оформляються у вигляді щомісячного звіту. У звіті однієї з компаній США, наприклад, для кожного типу виробів міститься така інформація [6, 10, 16]:

- число відмов за звітний місяць;
- верхня границя припустимого числа відмов за місяць;
- параметр потоку відмов за звітний місяць;
- параметр потоку відмов за такий же місяць минулого року;
- параметр потоку відмов за рік, що закінчується на початку звітнього місяця;
- параметр потоку відмов за рік, що закінчується наприкінці звітнього місяця;
- верхній і нижній довірчі інтервали для параметра потоку відмов за рік, що закінчується наприкінці звітнього місяця;
- дані регресивного аналізу значень параметру потоку відмов за останні 6 місяців.

У даному випадку контроль за рівнем надійності здійснюється порівнянням величин n_{ϕ} та $n_{\text{ВМР}}$. Виконання нерівності $n_{\phi} < n_{\text{ВМР}}$ є сигналом для продовження експлуатації виробів з використанням стратегії ТО з контролем рівня надійності. При $n_{\phi} \geq n_{\text{ВМР}}$ (перевищення верхньої границі) виріб заноситься до списків з низьким рівнем надійності і стосовно нього розробляються заходи з підвищення надійності.

Наступним етапом перевіряється економічна доцільність впровадження заходів з підвищення надійності. При заперечному висновку розглядаються недоліки об'єкту (конструктивні, технологічні). Якщо в результаті проведення заходів надійність не підвищується, то виріб заноситься у перелік тих, що найчастіше відмовляють. Для цього типу виробів тимчасово призначається інша стратегія технічного обслуговування (за наробітком) і визначається новий режим технічного обслуговування.

Постановка наукового завдання дослідження

Науковим завданням дослідження є удосконалення методичного забезпечення управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності в процесі експлуатації при нестабільних умовах спостережень.

Завданнями дослідження є проведення аналізу особливостей технічної експлуатації агрегатів засобів водного транспорту у сучасних умовах; проведення аналіз стану та перспектив розвитку методичного забезпечення технічної експлуатації агрегатів засобів водного транспорту; розроблення статистичної імітаційної моделі управління технічним станом як процесу технічної експлуатації агрегатів засобів водного транспорту; удосконалення методичного забезпечення управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності в процесі експлуатації при нестабільних умовах спостережень, а саме удосконалення процедури статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів засобів водного транспорту з урахуванням впливу інтенсивності експлуатації та удосконалення процедури статистичного контролю рівня надійності агрегатів засобів водного транспорту при нестабільних умовах спостережень; розроблення пропозицій щодо забезпечення нормативного рівня надійності агрегатів засобів водного транспорту при переході на експлуатацію за технічним станом.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. У статті проведено аналіз особливостей функціонування системи технічного обслуговування і ремонту суден, як системи управління технічним станом.
2. Проаналізовано особливості управління надійністю виробів, можливі шляхи нормування надійності для здійснення її контролю у процесі експлуатації. Проведено аналіз закордонного досвіду застосування стратегії технічної експлуатації за станом з контролем рівня надійності.
3. Проведено аналіз особливостей науково-методичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах. У межах широкої наукової і практичної проблеми удосконалення системи технічної експлуатації виділено актуальне завдання, вирішення якого передбачає проведення наукового дослідження.
4. За результатами проведеного аналізу у відповідності до мети дослідження сформульовано наукове завдання, сутність якого полягає в удосконаленні методичного забезпечення управління технічним станом агрегатів засобів водного транспорту за рівнем надійності при нестабільних умовах спостережень. Зазначене методичне забезпечення об'єднує удосконалену процедуру статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів засобів водного транспорту з урахуванням впливу інтенсивності експлуатації та удосконалену процедуру статистичного контролю рівня надійності агрегатів при нестабільних умовах 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. Іванович В.В., Ільїн О.Ю., Кучерук С.М. Прогнозування безвідмовності обладнання засобів водного транспорту методами статистичного аналізу часових рядів / В.В. Іванович, О.Ю. Ільїн, С.М. Кучерук // Водний транспорт. – К.: КДАВТ, 2013. – Вип. 2 (17). – С. 218–223.
3. Іванович В.В. Методика підвищення ефективності експлуатації морських судів при трансокеанських грузових перевозках/ В.В. Іванович // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: Національний університет оборони України, 2013. – 1(16).–С.32–34.
4. Іванович В.В. Оцінка і прогнозування параметра потоку відмов агрегатів системи автоматичного управління судовими енергетичними установками / В.В. Іванович, В.І. Богом'я // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К.: ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова, 2013. – Вип. 65.– С. 111–116.

5. Барлоу Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан ; пер. с англ. И. А. Ушакова. – М.: Наука, 1985. – 328 с.
6. Barlow R.E. Engineering reliability / Richard. E. Barlow – ASA – SIAM, Philadelphia, USA, 1998. – 196 p.
7. Smith A. M. RCM: gateway to world class maintenance / Anthony M. Smith., Glenn R. Hincheliffe – Elsevier Inc., Burlington, USA, 2004. – 340 p.
8. Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process: NAVAIR 00-25-403. - US Department of Defense Publications. Philadelphia, Pennsylvania, 2005. – 195 p.
9. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх; пер. с англ. Е.Г. Коваленко. - М.: Мир, 1984. - 318 с.
10. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. – М.: Наука, 1965. – 524 с. – (Серия: Физико-математическая библиотека инженера).
11. Блинов Э.К. Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию / Э Блинов, Г. Розенберг. – СПб.: Судостроение, 1992. – 189 с.
12. Анализ надёжности технических систем по цензурированным выборкам / [Скрипник В.М., Назин А.Е., Приходько Ю.Г., Благовещенский Ю.Н.]. – М.: Радио и связь, 1988. – 184 с.
13. Вальд А. Последовательный анализ / Абрахам Вальд. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 330 с.
14. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности / Яков Борисович Шор. – Издательство "Советское Радио", 1962. – 552 с.
15. Стрельников В.П. Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры / В.П. Стрельников // Математичні системи і машини. – 2007. – № 3, 4. – С. 227-238.
16. Трофименко І.В. Визначення перспективних напрямків розвитку навігаційного забезпечення судноводіння з використанням радіолокаційних систем / І.В. Трофименко //Новітні технології. –2017.– Вип. 2(4).– С. 29–42.
17. Карабутов П.Н. Повышение эффективности принятия решений в системе оперативного управления флотом судоходной компании на основе функционального моделирования и адаптивной идентификации: дисс. канд. техн. наук: 05.22.19 / Карабутов Павел Николаевич. – М.: ФБОУ ВПО "Московская государственная академия водного транспорта", 2011. – 182 с.
18. Надійність техніки. Моделі відмов: ДСТУ 3433:96. – [Чинний від 1997-12-05]. – К.: Держстандарт України, 1996.– 46 с.
19. Данік О.В. Моделі та методи аналізу і синтезу системи навігації та управління рухом суден / О.В. Данік // Новітні технології. – 2017. – № 1 (3). – С. 104 – 108.
20. Трофименко І.В. Модель прогнозування показника надійності суднових агрегатів / І.В. Трофименко, О.В. Данік, Ю.Є. Шапран //Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – №. 3(51).– С.78–83.

Bogomy V.I., Trofimenko A.O.

IMPROVING THE USE SYSTEM WATER TRANSPORT VEHICLES IN MODERN CONDITIONS

The problem of improving the system of technical operation of water transport objects has become extremely high in the last two decades. The article analyzes the features of operation and repair system operation as a system of control of the technical condition. The peculiarities of reliability management of the equipment are analyzed, possible ways of standardization of reliability for its control in the process of exploitation. The analysis of foreign experience of application of the strategy of technical exploitation of objects as well as control of the level of reliability is carried out. The analysis of features of methodical maintenance of high level of exploitation of water transport facilities in modern conditions is carried out.

Based on the results of the analysis, there was a discrepancy in practice between the fact that on the one hand for the fleet of Ukraine the exploitation of the technical condition outside the established service life is promising; and that on the other hand - the available information on technical condition and reliability, methods of its processing and analysis do not provide acceptance of sufficiently substantiated decisions on organization of operation in a technical condition.

Also, the discrepancy in the theory was found between the fact that, on the one hand, the existing scientific and methodical apparatus for statistical assessment and control of reliability indicators is more in line with the conditions of development and production of equipment, on the other hand - exploitation of Ukrainian fleet vessels is characterized by the influence of various specific factors (variable intensity of operation for periods, randomness of the total value of the same type of products, etc.).

Within the limits of the wide scientific and practical problem of ensuring safe and efficient operation of ships in technical condition, an actual scientific task has been identified regarding the improvement of the methodical provision of the technical condition of the facilities of water transport facilities according to the level of reliability under unstable conditions of observation.

Key words: *system of technical exploitation, means of water transport, reliability, scientific and methodical maintenance of exploitation, characteristics of operation.*

REFERENCES

1. Myasnikov, Yu. (2008). *Nadezhnost i tehničeskaya diagnostika sudovyh energomehanicheskikh sistem [Reliability and technical diagnostics of ship's power-mechanical systems]*, Izdatelstvo Federalnogo gosudarstvennogo unitarnogo predpriyatiya "Centralnyj nauchno-issledovatel'skij institut imeni akademika A.N. Krylova", Sankt-Petersberg, 183 p.
2. Ivanovich, V., Ilyin, O. and Kucheruk, S. (2013). Prognozuvannya bezvidmovnosti obladnannya zasobiv vodnogo transportu metodami statističnogo analizu chasovih ryadiv [Forecasting of the lack of sustainability of water transport operations using statistical methods of series], *Vodnij transport*, No. 2 (17), pp.218–223.
3. Ivanovich, V. (2013). Metodika povyšeniya effektivnosti ekspluatacii morskikh sudov pri transokeanskih gruzovyh perevozkah [Technique of increasing the efficiency of operation of sea-going vessels in transoceanic cargo transportations], *Suchasni informacijni tehnologii u sferi bezpeki ta oboroni*, No.1(16), pp.32–34.
4. Ivanovich, V. and Bogom'ya V. (2013). Ocinka i prognozuvannya parametra potoku vidmov agregativ sistemi avtomatičnogo upravlinnya sudovimi energetičnimi ustanovkam [Estimation and forecasting of the parameter of the failure of the units of the automatic control system of ship power plants], *Zbirnik naukovih prac institutu problem modelyuvannya v energetici im. G. Puhova*, No.65, pp.111–116.
5. Barlow, R. and Proshan F. (1985). *Statističeskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost [Statistical theory of reliability and reliability testing]*, Nauka, Moscow, 328 p.
6. Barlow, R.E. (1998). *Engineering reliability*, ASA – SIAM, Philadelphia, USA, 196 p.
7. Smith, A. M. and Glenn, R. H. (2004)/ *RCM: gateway to world class maintenance*, Inc. Burlington, USA, 340 p.
8. *Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process: NAVAIR 00-25-403* (2005). US Department of Defense Publications. Philadelphia, Pennsylvania, 195 p.
9. Dillon, B. and Singh, Ch. (1984). *Inženernye metody obespečeniya nadezhnosti sistem [Engineering methods to ensure the reliability of systems]*, Mir, Moscow, 318 p.
10. Gnedenko, B.V., Belyaev, Yu.K. and Solovev, A.D. (1965). *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti [Mathematical methods in the theory of reliability]*, Nauka, Moscow, 524 p.
11. Blinov, E. and Rozenberg, G. (1992). *Tehničeskoe obslužhivanie i remont sudov po sostoyaniyu [Technical maintenance and repair of ships by condition]*, Sudostroenie, Sankt-Petersberg, 189 p.

-
12. Skripnik, V.M., Nazin, A.E., Prihodko, Yu.G. and Blagoveshenskij, Yu.N. (1988). *Analiz nadyozhnosti tehniceskikh sistem po cenzurirovannym vyborkam* [Analysis of reliability of technical systems on censored samples], Radio i svyaz, Moscow, 184 p.
 13. Vald, A. (1960). *Posledovatelnyj analiz* [Sequential analysis], Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury, Moscow, 330 p.
 14. Shor, Ya.B. (2007). *Statisticheskie metody analiza i kontrolya kachestva i nadyozhnosti* [Statistical methods of analysis and quality control and reliability], Izdatelstvo Sovetskoe Radio, Moscow, 552 p.
 15. Strelnikov, V.P. (2007). Novaya tehnologiya issledovaniya nadezhnosti mashin i apparatury [New technology to study the reliability of machines and equipment], *Matematichni sistemi i mashini*, No. 3, 4, pp. 227-238.
 16. Trofimenko, I.V. (2017). Vznachennya perspektivnih napryamkiv rozvitku navigacijnogo zabezpechennya sudnovodinnya z vikoristannyam radiolokacijnih sistem [Determination of perspective directions of development of navigational navigation support using radar systems], *Novitni tehnologiyi*, No. 2(4), pp. 29–42.
 17. Karabutov, P.N. (2011). *Povyshenie effektivnosti prinyatiya reshenij v sisteme operativnogo upravleniya flotom sudohodnoj kompanii na osnove funkcionalnogo modelirovaniya i adaptivnoj identifikacii: diss. kand. tehn. nauk: 05.22.19* [Increasing the efficiency of decision-making in the system of operational management of the fleet of the shipping company on the basis of functional modeling and adaptive identification: dissertation of candidate technical sciences], FBOU VPO Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya vodnogo transporta, Moscow, 182 p.
 18. State standard of Ukraine (1996). *Nadijnist tehniki. Modeli vidmov: DSTU 3433:96* [Reliability of technology. Failure models], Derzhstandart Ukrayini, Kyiv, 46 p.
 19. Danik, O.V. (2017). Modeli ta metodi analizu i sintezu sistemi navigaciyi ta upravlinnya ruhom suden [Models and methods of analysis and synthesis of navigation system and vessel traffic control], *Novitni tehnologiyi*, No.1 (3), pp.104 – 108.
 20. Trofimenko, I.V., Danik, O.V. and Shapran, Yu.Ye. (2017). Model prognozuvannya pokaznika nadijnosti sudnovih agregativ [Model of forecasting of reliability index of ship aggregates], *Sistemi ozbrojennya i vijskova tehnika*, No. 3(51), pp.78–83.

Богомья В.И., Трофименко А.О.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Проблема совершенствования системы технической эксплуатации объектов водного транспорта приобрела чрезвычайно высокой актуальности на протяжении последних двух десятилетий. В статье проведен анализ особенностей функционирования системы эксплуатации и ремонта, как системы управления техническим состоянием. Проанализированы особенности управления надежностью техники, возможные пути нормирования надежности для осуществления ее контроля в процессе эксплуатации. Проведен анализ зарубежного опыта применения стратегии технической эксплуатации объектов по состоянию с контролем уровня надежности.

На основе результатов проведенного анализа выявлено несоответствие в практике между тем, что с одной стороны для флота Украины эксплуатация по техническому состоянию за пределами установленных сроков службы является перспективной; и тем, что с другой стороны – имеется информация о техническом состоянии и надежность, методы ее обработки и анализа не обеспечивают принятия достаточно обоснованных решений по организации эксплуатации по техническому состоянию.

Также выявлено несоответствие в теории между тем, что с одной стороны существующий научно–методический аппарат статистического оценивания и контроля показателей надежности в большей степени соответствует условиям разработки и производства техники, с другой стороны - эксплуатация судов флота Украины

характеризуются влиянием различных специфических факторов (переменная интенсивность эксплуатации, случайность величины суммарной наработки однотипных изделий и т.д.).

В рамках широкой научной и практической проблемы обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации судов за техническим состоянием выделена актуальная научная задача по совершенствованию методического обеспечения управления техническим состоянием агрегатов средств водного транспорта по уровню надежности при нестабильных условиях наблюдений.

Ключевые слова: система технической эксплуатации, средства водного транспорта, надежность, научно-методическое обеспечение эксплуатации, характеристики эксплуатации.

Рецензент: д.т.н., профессор Пашков Д.П.,
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

УДК 528.

Иванова Л.И.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

В статье рассматриваются основные направления развития современной инженерной фотограмметрии. Приводятся сведения о техническом оснащении съемочных работ, о методах получения измерительной информации по результатам съемок. Наряду с существующими технологиями рассматривается современное направление съемочных работ – лазерное сканирование.

Ключевые слова: инженерные виды съемок, фотограмметрические съемки, лазерное сканирование, фотографические камеры, цифровые камеры, 3D-камеры.

Введение и историческая справка. Фотограмметрия, как метод бесконтактных измерений объектов, нашла широкое применение при создании топографических карт и планов, а также при решении различных инженерных задач, связанных с выполнением измерительных работ.

Более чем 170-летний период развития фотограмметрии расширил возможности этого метода в различных сферах деятельности человека. По мере развития науки и техники в целом развивались и совершенствовались фотограмметрические методы.

Инженерная фотограмметрия возникла вслед за появлением фотографии (1839 г.) хотя простейшие способы получения перспективных изображений известны за 350 лет до н.э., а теория перспективы разрабатывалась в эпоху Возрождения.

Изначально использовалась наземная фотографическая съемка для решения задач архитектуры, при изысканиях железных дорог, при попытках составления топографических планов. Но несовершенство технических средств получения и использования фотоснимков ограничивало их применение.

С появлением летательных аппаратов активизировалась работа по совершенствованию съемочных камер, разрабатывались и совершенствовались обрабатывающие приборы, уделялось внимание теоретическим основам фотограмметрии как наземной, так и воздушной. Профессор Урмаев Н.А., в 1937г. доказал, что формулы наземной фотограмметрии есть частный случай общих уравнений воздушной фотограмметрии. Методы инженерной