

Корякін К.С.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИБЛІДІВ ТА СИСТЕМ

Зростання кількості суден, їх розмірів та швидкості призводить до збільшення інтенсивності руху і потребує підвищення безпеки плавання. Надійність всіх суднових технічних засобів важлива для забезпечення безпеки плавання. Автори вважають, що це є важливою передумовою для вирішення проблеми надійності суднових систем. Стаття присвячена проблемі зниження надійності суднових систем, пристроїв та суден внаслідок безперервного ускладнення їх технічного обладнання. Незважаючи на надійність комплектуючих елементів, вузлів та приладів, безперервне ускладнення суднових технічних засобів призводить до зниження загальної надійності системи. Одним із факторів, який спричиняє зниження надійності, є вихід з ладу основного обладнання через специфічні умови експлуатації суден. Це може створити аварійну обстановку і призвести до серйозних наслідків, включаючи людські жертви. Оскільки морські транспортні судна перебувають далеко від берегових баз, вони не можуть розраховувати на швидку допомогу з боку судноремонтних підприємств. Загальний контекст статті полягає в пошуку рішень та заходів, які можуть покращити надійність суднових систем та забезпечити безпеку плавання. Аналізуючи проблему зниження надійності та використовуючи резервування агрегатів, автори прагнуть сприяти розвитку безпечної та надійної морських перевезень.

Ключові слова. *безперервний працездатний стан, надійність, суднові системи, резервування, дублювання, аварійна обстановка, безпека плавання, технічні пристрої, ризик аварій.*

Постановка проблеми. *Зростання кількості суден, їх розмірів та швидкості призводить до збільшення інтенсивності руху і потребує підвищення безпеки плавання. Надійність всіх суднових технічних засобів важлива для забезпечення безпеки плавання, що є важливою передумовою для вирішення проблеми надійності суднових систем.*

Мета статті *полягає у дослідженні проблеми зниження надійності суднових систем та пропозиції шляхів її вирішення для забезпечення безперебійної роботи суднового устаткування та підвищення безпеки плавання. Основним фокусом є використання резервування (дублювання) агрегатів як підходу для забезпечення неперервності роботи судна та зменшення ризику аварійних ситуацій. Метою є пропонування технічних рішень та рекомендацій, що сприятимуть підвищенню надійності суднових систем та забезпеченню безпеки плавання в умовах зростаючого транспортного потоку та ускладнених умов експлуатації суден.*

Основний текст. *Надійність устаткування одна із основних показників процесу експлуатації. За визначенням надійність ця властивість об'єкта зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування. Як відомо, надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкта та умов його експлуатації складається з поєднань властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереження, що визначає необхідність*

кількісно оцінювати рівень надійності, визначати залежність надійності від режимів використання та умов експлуатації.

Електронна компонентна база для застосування на судах суттєво відрізняється від загальнопромислової електроніки. Відмінності наведено у таблиці 1:

Таблиця 1. Аспекти ввідмінності суднової від загальнопромислової електронної компонентної бази

Аспект	Суднова електронна компонентна база	Загальнопромислова електронна компонентна база
Функціональна номенклатура	До 1500 найменувань	Менш ніж 1500 найменувань
Серійність протягом життєвого циклу	Мала серійність	Велика серійність
Вимоги безвідмовності	Напрацювання до відмови 10 ⁹ годин і більше	Напрацювання до відмови 410000 і менше годин
Температурний діапазон	Від мінус 60 до плюс 125 °С	Від 0 до плюс 45 °С
Довговічність експлуатації	Не менше 15 років	Від 10 000 до 100 000 годин

Комплекс таких жорстких вимог передбачає очевидним облік впливу режимно-часових процесів деградації параметрів електронних компонентів на кількісні оцінки стійкості електронної апаратури тривалого функціонування.

Гарантію відповідності електронно-компонентної бази заданим вимогам можуть дати лише безпосередні випробування електронних компонентів та функціональних блоків на надійність. При з одного боку, ймовірність безвідмовної роботи таких приладів та систем виявляється близькою до одиниці, що вимагає непомірно більших обсягів вибірок, що висуваються на випробування, з іншого боку, час, протягом якого гарантується ця ймовірність, велике, і, якщо навіть здійснювати безпосередні випробування, отримана інформація безнадійно відставатиме від темпів просування приладів та систем до замовника. Тому найчастіше практична можливість переконатися у виконанні жорстких вимог до встановлення компонентів та блоків в апаратуру стає проблематичною.

Усі дослідження надійності спрямовані на вирішення наступних трьох проблем: оцінка та прогнозування надійності приладів та систем на етапах проектування (апостеріорні методи); експериментальна оцінка показників надійності, тобто підтвердження проектного рівня надійності за результатами випробувань чи експлуатації (апостеріорні методи) та вжиття заходів щодо досягнення та забезпечення заданого рівня надійності шляхом оптимізації стратегії технічного обслуговування, резервування, обсягу запасних частин тощо. (Оптимізаційні завдання).

Пошук способів отримання інформації про надійність приладів та систем за більш короткі терміни і по можливості, якщо це апостеріорні методи, на меншій кількості зразків, що випробовуються, призвів до ідеї розробки методів прискореної оцінки, що включають апостеріорні (розрахункові), апостеріорні (експериментальні) і комбінованих методів. Згаданим методам необхідний достовірний критерій, що дозволяє інтерпретувати результати дослідів у сфері поширення.

Такий критерій можна отримати на основі теорії, що описує процеси деградації приладів та систем. Однак теоретичні роботи в галузі прискореної оцінки надійності базуються або на теорії прогнозування, або на закономірностях та постулатах фізичного характеру, що описують окремі сторони процесів деградації та руйнувань. При цьому не враховується, що об'єкти дослідження є продукцією виробництва та ті зміни, які відбуваються в них у процесі випробувань та є причинами ненадійності, закладеними технологією

виробництва. Усе це висуває розробку вероятно-фізических основ прискореної оцінки надійності у низку найважливіших завдань у сфері надійності. Від вирішення цього питання залежить реалізація вимог до надійності елементів та вузлів, що диктуються потребами транспорту.

Умовно у проблемі надійності можна вибрати два напрями: забезпечення надійності та її розрахунок (контроль). Перше ґрунтується на вирішенні традиційних конструкторських та технологічних завдань зі створення високоякісних приладів та систем та правильної їх експлуатації, друге пов'язано, в основному, із застосуванням спеціальних математичних методів. Оскільки існуючі системи, що розробляються, призначаються для експлуатації протягом тривалого часу для забезпечення їх безвідмовності проводяться спеціально-профілактичні роботи, об'єднані в систему профілактичного технічного обслуговування.

До теперішнього часу в теорії та практиці надійності найбільшого розвитку набув напрямок, заснований на використанні тільки імовірнісних концепцій (теорія ймовірності). У цьому випадку відмови розглядаються як деякі абстрактні випадкові події, а різноманітні фізичні стани приладів та систем звільняються до двох станів: справності та несправності. У ході експлуатації системи також можуть виявлятися та усуватися помилки. Якщо при їх виправленні не вносяться нові помилки або менше, ніж усувається, то в ході експлуатації надійність системи безперервно зростає. Чим інтенсивніше проводиться експлуатація, тим інтенсивніше виявляються помилки і зростає надійність. Методологія отримання кінцевих результатів про надійність приладів та систем відповідно до вірогідної (статистичної) теорії полягає в тому, що на підставі випробувань або експлуатації отримують статистику відмов, приладів та систем. Далі, використовуючи відомі статистичні критерії згоди, вибирають найбільш підходящу модель розподілу випадкових величин, розроблену в теорії ймовірностей (експоненційну, нормальну, Вейбулла, логарифмічно нормальне та ін), і приймають її як теоретичну модель розподілу ймовірностей безвідмовної роботи (моделі надійності) виходячи з якої визначають необхідні кількісні показники надійності. Оцінка (розрахунок) надійності систем здійснюється шляхом обчислення ймовірностей працездатних станів елементів (Рис.1);

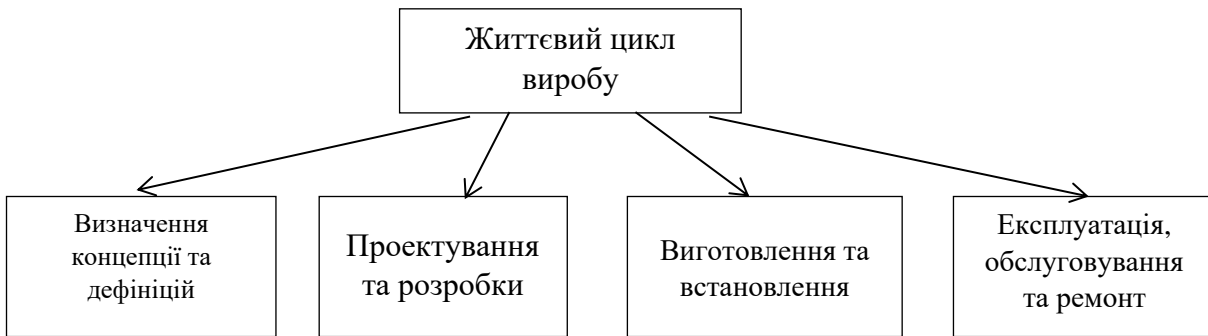


Рисунок 1 - Стадії життєвого циклу виробу.

На весь життєвий цикл об'єкта розробляється програма забезпечення надійності, що є документом, що встановлює комплекс взаємопов'язаних організаційно-технічних вимог та заходів, що підлягають проведенню на певних стадіях життєвого циклу об'єкта та спрямовані на забезпечення заданих вимог до надійності та (або) підвищення надійності. Така програма розробляється як єдиного документа чи вигляді окремих документів на стадіях розробки, виробництва та експлуатації. Програми забезпечення надійності є основним документом, що дозволяє здійснити комплексний підхід до вирішення завдань забезпечення надійності з урахуванням інтересів усіх сторін (постачальника, споживача) на всіх стадіях життєвого циклу об'єктів. Програма забезпечення надійності спрямована на аналіз, підтвердження, контроль та підтримання рівня надійності, встановленого у нормативно-технічних документах та залежить від проектних рішень, специфічних обмежень та вимог. Важливим фактором є визначення правильних вимог до надійності, оскільки, як правило, немає точної інформації про надійність

складових виробу, що розробляється. Тому як метод прискореної оцінки надійності на стадії висування рекомендують використовувати методи імітаційного моделювання (на основі інформації про аналоги і прототиби об'єкта та їх складові), статистичного моделювання та наближеного апіорного розрахунку.

Особливу важливість мають завдання, які забезпечують безвідмовність, довговічність та ремонтпридатність об'єкта. Випробувальна стратегія має забезпечувати оцінку достовірності ризиків постачальника та споживача. На стадії виготовлення об'єкта використовують методи прискорених форсованих випробувань (визначальних і контрольних), і навіть методи прогнозування.

На стадії експлуатації, обслуговування та ремонту об'єкт застосовується за призначенням, обслуговується та ремонтується. Заходи щодо забезпечення надійності повинні концентруватися на зборі експлуатаційної інформації, оцінці та аналізі даних про несправності та відмови, стратегії технічного обслуговування та ремонту, забезпечення запасними частинами. розрахунку та прискорених випробувань.

На рисунку 2 наведено класифікацію методів оцінки надійності, які формально, виходячи зі способу отримання вихідної інформації про об'єкт, поділяються на апостеріорні (методи прискорених випробувань, методи прогнозування), апіорні (методи моделювання та методи розрахунку) та апіорно - апостеріорні (комбіновані), що представляють собою поєднання ознак як апіорних, і апостеріорних методів (розрахунково-експериментальні методи), рис.2;

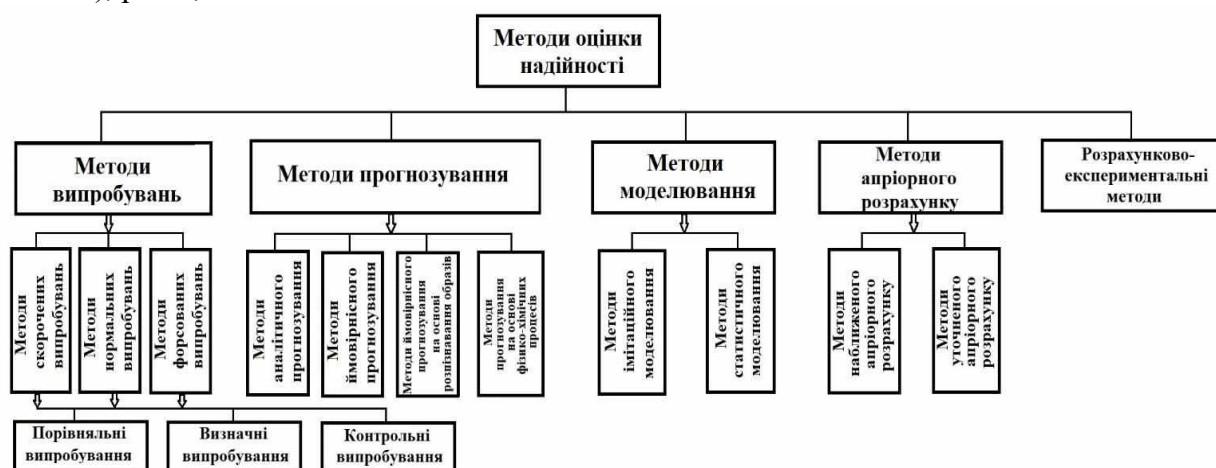


Рисунок 2 – Класифікація методів оцінки надійності

Прогнозування надійності полягає в спостереженні прямих (визначальних) чи непрямих прогнозуючих параметрів. Прогнозувати можна або за результатами завершених спостережень вибірки приладів та систем, або дослідити надійність виробу у процесі роботи. Ця обставина набуває особливої важливості для приладів та систем, які виготовляються в одиничній чи невеликій кількості примірників та виконують відповідальні функції. Для них неприпустимою є оцінка надійності за статистикою відмов (особливо це стосується високонадійних приладів та систем із надмірною структурою).

У межах класифікації методів прогнозування надійності існують такі способи:

- пряме прогнозування;
- Зворотне прогнозування;
- прогнозування вперед;
- прогнозування у теперішньому;
- прогнозування назад;
- Індивідуальне прогнозування;
- групове прогнозування

Для вирішення завдань надійності найчастіше використовується перша група.

Щоб обґрунтувати вибір того чи іншого методу прогнозування, необхідно мати можливість кількісно оцінити його якість. Кожен метод повинен супроводжуватись певним значенням показника якості.

Математичне моделювання дозволяє в деяких випадках передбачити надійність виробу в дуже стислий термін. Методи математичного моделювання надійності можна поділити на дві основні групи:

- методи статистичного моделювання;
- методи імітаційного моделювання.

Методи статистичного моделювання використовують із дослідження поведінки вибірки приладів та систем у процесі випробувань на надійність. Дані методи ґрунтуються на використанні генератора випадкових чисел, розподілених за заданим законом розподілу. Як випадкова величина найчастіше вибирається час до відмови виробу. Статистичне моделювання дозволяє імітувати будь-який план випробувань і отримувати всі статистичні оцінки досліджуваної вибірки приладів та систем, що «відмовили». Перехід до кількісних показників надійності здійснюється безпосередньо через статистичні оцінки при непараметричних методах оцінки надійності, або шляхом обчислення параметрів теоретичних розподілів відмов.

Методи імітаційного моделювання (машинного експерименту) використовують із дослідження поведінки складних приладів та систем чи систем у заданому, котрий іноді реальному масштабі часу. За результатами моделювання поведінки виробу проводять статистичну обробку результатів його функціонування, на підставі якої одержують оцінки показників надійності.

Оцінка надійності методами апріорного розрахунку використовується на етапі проектування чи модернізації виробу. Такі методи засновані на апріорній інформації про об'єкт досліджень, а саме:

- структурна схема надійності;
- склад, номенклатура та показники надійності елементів;
- режими роботи елементів;
- умови експлуатації виробу, тощо.

За цільовим призначенням розрізняють апріорні розрахунки на стадії проектування або на стадії експлуатації (розрахунки, що констатують). Головним призначенням методів апріорного розрахунку надійності є:

- порівняльний аналіз різних конструктивних та схематичних варіантів виробу на стадії його проектування н відпрацювання;
- орієнтовна оцінка надійності виробу на етапі розробки технічного завдання та етапах технічного проектування;
- орієнтовна оцінка надійності складного виробу на етапі відпрацювання дослідного зразка для обґрунтування розподілу вимог до надійності складових частин виробу та орієнтовної оцінки комплекту запасних частин та термінів технічного обслуговування та ремонту.

Розрахунково-експериментальні методи використовують для визначення показників надійності однотипних елементів та складових частин, що входять до складу виробу. Експериментальна оцінка може проводитись як методами прискорених випробувань, так і за результатами підконтрольної експлуатації.

Розрахунково-експериментальні методи дозволяють оцінити ступінь адекватності і уточнити оцінки, отримані методами апріорного розрахунку.

Представлений підхід до методів для прискореної оцінки надійності дозволяє застосувати системний підхід на основі базової теоретичної моделі надійності - розподілу напрацювання до відмови та об'єднати існуючі та знову розроблювані апріорні, апостеріорні та комбіновані методи з метою скорочення часу отримання інформації про надійність виробу.

Останнім часом все більшого поширення набувають імовірно-фізичні моделі надійності, які можуть успішно замінювати існуючий апарат дослідження та прогнозування

належності. Ймовірно-фізичний підхід заснований на використанні законів розподілу відмов (моделей надійності), що впливають з аналізу фізичних процесів деградації та призводять до відмови. У цьому фізичні процеси деградації розглядаються як випадкових процесів. Цей підхід до дослідження надійності названий ймовірно-фізичним, оскільки він безпосередньо встановлює зв'язок ймовірності досягнення граничного рівня фізичним визначальним параметром, тобто пов'язує значення ймовірності відмови та фізичного параметра, що викликає відмову. Внаслідок цього параметри ймовірнісного розподілу відмов мають певний фізичний зміст. У приладів та систем електронної техніки типу інтегральних схем практично неможливо назвати всі визначальні параметри, що викликають відмови численних компонентів, і тим більше виміряти їх. У такому випадку залишається можливість статистичної оцінки середньої швидкості узагальненого процесу деградації виробу. Однак, безсумнівно те, що в цих виробках протікають фізичні деградації, які визначають відповідну ймовірність руйнування, тобто цим виробам відповідає певна ймовірнісно-фізична модель надійності.

Експериментально доведено, що розбіжність щодо оцінки показників належності приладів та систем залежно від прийнятої теоретичної моделі може становити кілька порядків. Отже вибір тієї чи іншої теоретичної моделі розподілу відмов елементів зрештою визначає відповідну точність розрахункових кількісних показників надійності технічних пристроїв і систем, що розробляються. Правильний вибір теоретичної моделі розподілу відмов високонадійних інтегральних схем, напівпровідникових приладів та систем тощо. виявляється не простим завданням, оскільки для електронних компонентів отримання повних вибірок відмов, навіть у форсованих режимах, неможливо. Вибір теоретичної моделі розподілу відмов у разі може бути здійснено переважно з урахуванням фізичного обґрунтування. Відомо кілька схем формалізації моделей відмов виходячи з аналізу динаміки визначальних параметрів, які призводять до відмовного стану. Однією з перших спроб уявлення процесу поведінки визначального параметра при формалізації моделі параметричних відмов стало уявлення зміни визначального параметра як лінійного закону (рис. 3) [5, 6, 7].

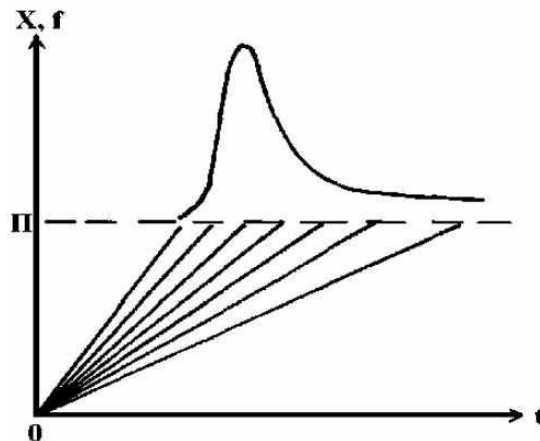


Рисунок 3 – Модель випадкового процесу деградації (віяловий процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (альфа-розподіл)

Розглядаючи стаціонарний процес зношування, також приймається гіпотеза про сильне "перемішування" стаціонарного процесу зношування, при якому зміна дисперсії передбачається пропорційним часом, а розподіл часу напрацювання для великих значень зносу асимптотично нормальним (рис. 4) [5, 6, 7]:

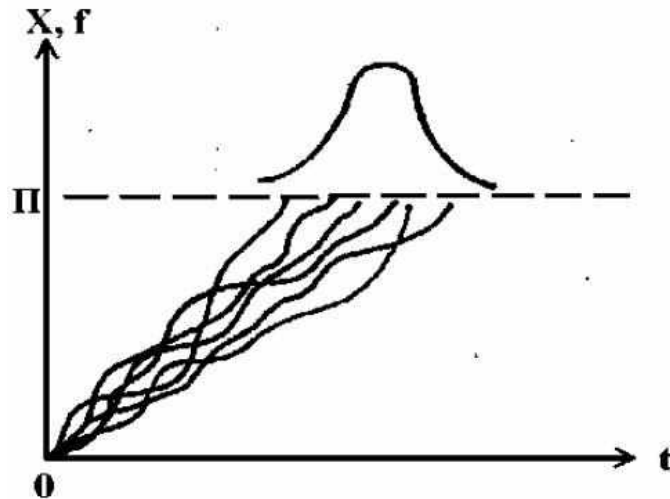


Рисунок 4 – Модель випадкового процесу деградації (сильно “перемішаний” гаусівський процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (нормальний параметричний розподіл)

Аналізуючи різноманітні деградаційні процеси, можна назвати, що вони мають випадкову природу, причому зміна їх значень носить як монотонний, і немонотонний характер. Складні вироби електронної техніки типу інтегральних схем одночасно схильні до дії багатьох процесів. Всі ці процеси, некорельовані та слабкорельовані між собою, формують загальний процес деградації виробу.

Типові деградації якісно представлені на рис. 5-6. Показані процеси з безліччю реалізацій можуть відповідати одному складному виробу типу інтегральна схема, що має безліч електронних компонентів. Процес деградації приладів та систем електронної техніки поряд з монотонними реалізаціями (механічне руйнування) внаслідок електричних явищ має й немонотонні реалізації, тому у загальному випадку прийнято розглядати деградацію цих приладів та систем як процес із немонотонними реалізаціями (див. рис.5) [5, 6, 7]

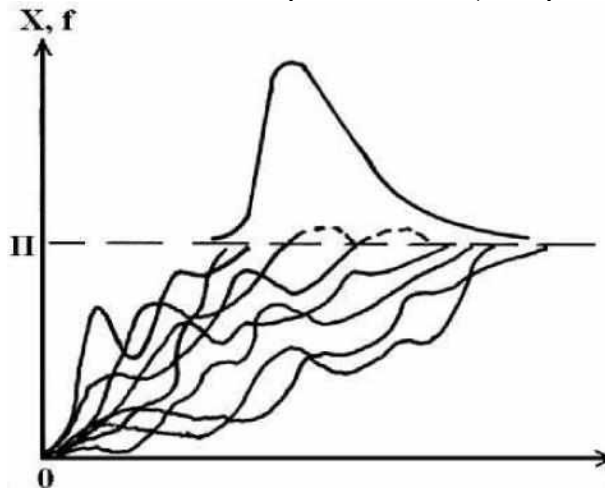


Рисунок 5 – Модель випадкового процесу деградації (марківський немонотонний процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (DN розподіл)

Для компонентів технічних систем, що містять електромеханічні та механічні елементи (контакти реле та роз'ємів, ковзаючі електричні контакти, тощо).

Процес деградації механічних об'єктів внаслідок незворотності процесів руйнування (механічного зношування, втоми, втомного фарбування) прийнято розглядати як процес з монотонними реалізаціями [5, 6, 7].

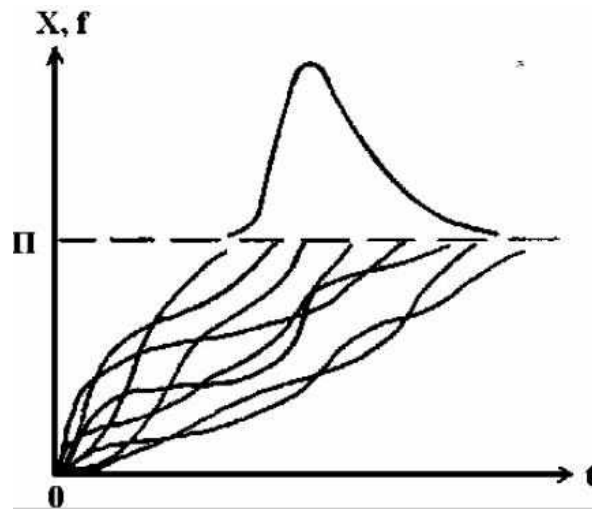


Рисунок 6 – Модель випадкового процесу деградації (марківський монотонний процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (DM розподіл).

Згадані чотири види двопараметричних імовірісно-фізичних моделей відмов (альфа-розподіл, нормальний параметричний, DN-розподіл, DM-розподіл) побудовані на підставі аналізу одного типу процесу деградації – стаціонарного зношування (руйнування) та мають параметри з однаковою фізичною інтерпретацією. Але внаслідок різних схем формалізації висловлювання для законів розподілу відмов, і навіть формальні характеристики цих моделей значно різняться. Дамо порівняльну оцінку цих імовірісно-фізичних моделей відмов.

Як видно візуально, математичні моделі процесів деградації помітно відрізняються (див. рис.3-6), відповідно відрізняються і аналітичні висловлювання для законів розподілу напрацювання до відмови. Моделі аналізованих процесів значно різняться і з фізичної погляду. Ідеалізований випадковий процес (див. рис.3) свідчить про те, що його характеристики повністю визначаються початковим станом (якістю виготовлення зразків), і не залежать від механо-фізико-хімічних процесів деградації, що протікають всередині об'єктів під дією зовнішніх умов та часу. Протилежною у сенсі є модель на рис. 3. Процес із сильно "перемішаними" реалізаціями має швидко загасаючу кореляційну функцію, ті. мало залежить від початкового стану. Марківські моделі (див. рис. 5-6) мають як би узагальнюючі фізичні властивості, частково властиві першій (рис.3) і другий (рис.4) моделям.

Таким чином, аналіз основних кривих імовірісно-фізичних моделей відмов показує, що моделі, що зіставляються, мають істотно відрізняються закономірності, що визначають кількісні показники надійності.

Прийнята ідеалізація процесу зміни визначального параметра (процесу деградації) і його окремих реалізацій є фундаментом, у якому будується власне прогнозований процес - розподіл часу виходу визначального параметра за граничний рівень.

Адекватність математичних моделей випадкових процесів та реальних процесів деградації визначає адекватність прогнозованого розподілу (часу виходу з ладу досліджуваних об'єктів) реальному розсіюванню відмов генеральної сукупності. У разі адекватності ймовірісно-фізичної моделі відмов може бути оцінена з двох сторін. По-перше, вивченням вихідних ідеальних та реальних процесів деградації та, по-друге, зіставленням прогнозованого теоретичного розподілу та досвідчених даних відмов.

Другий шлях видається більш реальним і важливим з практичної точки зору. Візуальна оцінка представлених на рис.3-6 математичних моделей поведінки визначального параметра в процесі експлуатації, а також їх фізична основа, зазначена вище, вказує на те, що моделі на рис.5-6 ближче за інші до реального процесу зміни визначального параметру. Для більш глибокої перевірки адекватності моделей відмов потрібне вирівнювання експериментальних даних про відмови.

При дослідженні питань забезпечення безперервного працездатного стану судна при недостатній надійності його устаткування, одним із запропонованих підходів для розв'язання цієї проблеми - резервування агрегатів (дублювання). Цей підхід передбачає наявність додаткових копій агрегатів або систем, які можуть бути активовані в разі відмови основних компонентів. Резервування агрегатів має на меті забезпечити безперервну роботу судна, навіть у випадку відмови деяких його складових. Це дозволяє зменшити ризик аварій та забезпечити безпеку плавання. При виявленні відмови основного агрегату, резервний агрегат може бути активований автоматично або за допомогою оператора, щоб забезпечити продовження роботи системи без перерви. Тому такий підхід є одним із способів підвищення надійності суднових систем та зменшення ризику аварійних ситуацій. Цей підхід широко використовується у суднобудуванні та морській промисловості для забезпечення надійності технічних засобів та безперебійної експлуатації суден.

Висновки. Розглянуто методи оцінки надійності суднових навігаційних систем та класифікацію цих методів, наведено способи прогнозування надійності. Для прискорення отримання інформації про надійність виробу на основі базової теоретичної моделі надійності – розподілу напрацювання до відмови визначено можливість об'єднати існуючі апріорні, апостеріорні та комбіновані методи. Розглянуто імовірнісно-фізичні моделі надійності та проведено їх порівняльний аналіз.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 8647:2016. Надійність техніки. Оцінювання і прогнозування надійності за результатами випробувань и/или експлуатації в умовах малої кількості відмов. К.: Видавництво Держстандарту України, 2017. 23 с.
2. Федухін А. В. До питання про прогнозування залишкового ресурсу виробів електронної техніки Інститут проблем математичних машин та систем НАН України, м. Київ, Україна, ISSN 1028-9763. Математичні машини і системи, 2020, № 1
3. Стрельников В. П., Федухін А. В. Оцінка та прогнозування надійності електронних елементів та систем. К.: Логос, 2002. 486 с.
4. Перроті А. І. Карташов Г. Д. Цретаєв К. М. Основи прискорених випробувань радіоелементів на надійність - М: Рад. радіо, 1968.-224 с.
5. David, V.; Marie, F.; Zdeněk, V.; Jakub, G. Degradation Process and Failure Estimation of Drilling System Based on Real Data and Diffusion Process Supported by State Space Models. Measurement 2020, 164, 108076.
6. Ma, J.; Fouladirad, M.; Grall, A. Flexible Wind Speed Generation Model: Markov Chain with an Embedded Diffusion Process. Energy 2018, 164, 316–328 с.
7. Азарсков В. Н.; Стрельников, В. П. Надійність систем управління та автоматики. Київ. НАУ. 2004. 164 с.
8. Стрельников В.П., Федухін А. В, Яковлев М.Ф. Імовірно-фізичний підхід до розрахунку показників надійності механічних вузлів засобів обчислювальної техніки // Математичні машини та системи. – 1997. – № 2. – 101-113 с.
9. Федухін А. В., Сеспедес-Гарсія Н. В. Уточнений розрахунок надійності електронних пристроїв на основі DN-розподілу // Математичні машини та системи. – 2000. – № 2, 3. – 170-175 с.
10. Стрельников В. П., Бутенко Л.І., Лучанський А.М. та ін. Методичні рекомендації щодо експериментальної оцінки показників надійності ЕОМ / - Київ: Ін-т кібернетики АН України, 1987 -61 с.
11. Abinandhitha, R.; Sakthivel, R.; Kong, F.; Parivalla, A. Robust Non-Fragile Boundary Control for Non-Linear Parabolic PDE Systems with Semi-Markov Switching and Input Quantization. Eur. J. Control 2022, 67, 100713.
12. Padgett W J., Wei L.J. Estimation for the three-parameter Inverse Gaussian Distribution // Comm. Stat. - Theor. Meth., ser.A8. 1979. - V/2. -P. 129-137.

REFERENCE

1. DSTU 8647:2016. Reliability of equipment. Evaluation and prediction of reliability based on the results of tests and/or operation in conditions of low number of failures. K.: State Standard of Ukraine Publishing House, 2017. 23 с.
2. Fedukhin A. V. On the issue of predicting the residual life of electronic equipment products Institute of Mathematical Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ISSN 1028-9763. Mathematical machines and systems, 2020, No. 1
3. Strelnikov V. P., Fedukhin A. V. Estimation and prediction of reliability of electronic elements and systems. K.: Logos, 2002. 486 с.
4. Perroti A. I. Kartashov G. D. Tsretayev K. M. Fundamentals of accelerated tests of radio elements for reliability - Moscow: Sov. radio, 1968.-224 p.
5. David, V.; Marie, F.; Zdeněk, V.; Jakub, G. Degradation Process and Failure Estimation of Drilling System Based on Real Data and Diffusion Process Supported by State Space Models. Measurement 2020, 164, 108076.
6. Ma, J.; Fouladirad, M.; Grall, A. Flexible Wind Speed Generation Model: Markov Chain with an Embedded Diffusion Process. Energy 2018, 164, 316-328 pp.
7. Azarkov, V. N.; Strelnikov, V. P. Reliability of control and automation systems. Kyiv. NAU. 2004. 164 с.
8. Strelnikov V.P., Fedukhin A.V., Yakovlev M.F. Probabilistic-physical approach to the calculation of reliability indicators of mechanical units of computer equipment // Mathematical machines and systems. - 1997. - No. 2. - 101-113 p.
9. Fedukhin A.V., Cespedes-Garcia N.V. Refined calculation of the reliability of electronic devices based on DN-distribution // Mathematical machines and systems. - 2000. - No. 2, 3. - 170-175 p.
10. Strelnikov V.P., Butenko L.I., Luchansky A.M. et al. Methodical recommendations for experimental evaluation of computer reliability indicators / - Kyiv: Institute of Cybernetics of the Academy of Sciences of Ukraine, 1987 -61 p.
11. Abinandhitha, R.; Sakthivel, R.; Kong, F.; Parivalla, A. Robust Non-Fragile Boundary Control for Non-Linear Parabolic PDE Systems with Semi-Markov Switching and Input Quantization. Eur. J. Control 2022, 67, 100713.
12. Padgett W J., Wei L.J. Estimation for the three-parameter Inverse Gaussian Distribution // Comm. Stat. - Theor. Meth., ser.A8. - 1979. - V/2. -P. 129-137.

Koryakin K.S.

REVIEW OF METHODS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF SHIP NAVIGATION EQUIPMENT AND SYSTEMS

The increase in the number of ships, their size and speed leads to an increase in traffic intensity and requires an increase in navigation safety. Reliability of all ship's technical means is important for ensuring safety of navigation. The authors believe that this is an important prerequisite for solving the problem of ship systems reliability. The article is devoted to the problem of reducing the reliability of ship systems, devices and vessels due to the continuous complexity of their technical equipment. Despite the reliability of component parts, assemblies and devices, the continuous complexity of shipboard technical equipment leads to a decrease in the overall reliability of the system. One of the factors that leads to a decrease in reliability is the failure of the main equipment due to the specific operating conditions of ships. This can create an emergency situation and lead to serious consequences, including human casualties. Since maritime transport vessels are far from shore bases, they cannot rely on quick assistance from ship repair facilities. The general context of the article is

to find solutions and measures that can improve the reliability of ship systems and ensure safe navigation. By analyzing the problem of reliability decline and using redundancy of units, the authors aim to contribute to the development of safe and reliable maritime transportation.

Keywords. *continuous serviceability, reliability, ship systems, redundancy, duplication, emergency situation, navigation safety, technical devices, risk of accidents.*