

Корякін К.С.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РІВНЯ НАДІЙНОСТІ СУДНОВОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Інтенсифікація використання морського флоту призводить як до збільшення його чисельності, так і до зростання інтенсивності судноплавства на морських шляхах, а особливо у вузькостях, на підходах до морських портів та їх акваторіях. У зв'язку з цим останні двадцять років морський транспорт захопили глобалістські світові процеси модернізації та уніфікації систем забезпечення безпеки мореплавства (систем радіозв'язку, навігації, екологічної та пожежної безпеки тощо). У свою чергу, складність, відповідальність та унікальність завдань, які вирішує радіоелектронна апаратура на морському транспорті в даний час, визначають до них високі вимоги, важлива роль серед яких належить кількісним вимогам щодо надійності. Багатогранність та складність експлуатації ускладнюють створення однозначних рекомендацій щодо експлуатації суднової радіоелектроніки. В даній статті розглядається, що таке експлуатаційна надійність, яка модель аналізу надійності використовується для визначення запасу міцності радіоелектронних систем і які компоненти її складають, проаналізовано вплив експлуатаційних факторів на надійність судових радіолокаційних станцій.

Ключові слова: експлуатаційна надійність, радіолокаційні системи, судові системи, безпека плавання, уніфікація систем, методи теорії надійності, процес технічної експлуатації.

Вступ. На сьогоднішній день морський транспорт є складовою світових трансконтинентальних та інтермодальних транспортних коридорів, що забезпечують економічну інтеграцію країн у світовому співтоваристві, займаючи третє місце за вантажообігом після залізничного та трубопровідного транспорту. Він істотно впливає на світову економіку, оскільки є повноправним учасником світового ринку транспортних послуг і здійснює великомасштабні (по тоннажу та дальності) перевезення за більш низьких цін порівняно з іншими способами транспортування. Існуюча на сьогоднішній день тенденція веде до подальшого збільшення числа судових радіоелектронних засобів, а також зростання їх технічної складності. Це пов'язано з тим, що відмова одного з навігаційних технічних пристроїв може призвести до катастрофічних наслідків [5].

Розвиток сучасної радіоелектронної апаратури характеризується значним збільшенням її складності та зростанням важливості розв'язуваних функціональних завдань. Ускладнення зумовлює необхідність підвищення гарантії своєчасності та правильності вирішення завдань [20]. Ці чинники визначили необхідність розробки наукових засад експлуатації радіоелектронної апаратури.

У широкому значенні слово "експлуатація" означає систематичне використання людиною продуктивних сил. У технічному плані експлуатацію можна розглядати як процес використання (управління) оператором об'єкта задля досягнення заданого результату. Як процес експлуатація має характеризуватись часом та місцем дії [16, 17].

Процес експлуатації охоплює період існування об'єкта з його виготовлення. Закінчення експлуатації об'єкта визначається його граничним станом, тобто станом, при якому його подальша експлуатація повинна бути припинена через непереборне порушення вимог безпеки,

або непереборне догляд заданих параметрів за встановлені межі, або непереборне зниження ефективності експлуатації нижче за допустиму, або необхідність проведення середнього або капітального ремонту (ознаки граничного стану задаються нормативно-технічною документацією на об'єкт). Так як об'єкт експлуатується в різних умовах, необхідно знати можливі результати впливу цих умов [7, 12]. Крім зовнішніх факторів на поведінку об'єкта впливатимуть особливості його конструювання, виготовлення та налагодження. Важливе значення мають ступінь підготовленості операторів, які експлуатують об'єкт, та його психофізіологічний стан. Дослідження поведінки об'єкта під час експлуатації та оцінка його експлуатаційних якостей становить предмет теорії надійності.

Постановка проблеми. Рівень надійності радіоелектронного устаткування, досягнутий на стадії конструювання та виготовлення, значною мірою визначає ефективність застосування їх у системах забезпечення безпеки мореплавання, причому основне зниження ефективності, тобто, якості виконуваних функцій, у процесі експлуатації пов'язані з зниженням надійності. Виходячи з того, що етап експлуатації радіоелектронної апаратури охоплює тривалий період часу, то під впливом різних зовнішніх факторів, а також швидкого фізичного зношування, внаслідок несприятливих морських умов функціонування (вологість, вібрації, температура та ін.), може відбутися зміна рівня властивостей (значень вихідних параметрів), що визначають якість радіоелектронної апаратури та ефективність їх функціонування.

Мета статті полягає у дослідженні шляхів підвищення рівня експлуатаційної надійності суднових радіолокаційних систем для забезпечення безперебійної роботи суднового обладнання та підвищення безпеки плавання. Метою є пошук технічних рішень та правил експлуатації, що сприяють підвищенню надійності радіолокаційних систем для забезпечення безпеки плавання в складних умовах експлуатації суден.

Основна частина. У процесі експлуатації складних технічних систем важливо знати, яким запасом надійності має система, якою є роль обслуговуючого персоналу у справі підтримки надійності на прийнятному рівні, які блоки, вузли, елементи системи працюють найбільш ненадійно і вимагають проведення в централізованому порядку запобіжних замінів, регулювань або доробок. Сучасна теорія надійності ґрунтується на методах теорії ймовірностей та випадкових процесів, математичної логіки, теорії масового обслуговування та ін. Розрахунки основних показників надійності, засновані на тому, що за певної структури системи та існуючого закону розподілу напрацювання на відмову існують цілком певні залежності між показниками надійності окремих елементів та надійності системи в цілому [3, 13, 14]. При цьому обрана модель аналізу надійності має адекватно відображати функціонування системи в реальних умовах з точки зору досліджуваних властивостей. На стадії проектування системи отримані кількісні характеристики надійності дозволяють сформулювати вимоги до надійності нової апаратури, вибрати найбільш підходящий варіант структури, порівнювати надійність різних елементів і оцінювати їх вплив на надійність всієї системи, розраховувати терміни служби, необхідну кількість запасних деталей, вибрати заходи щодо підвищення надійності (резервування, технічне обслуговування та ремонт та ін.). В процесі експлуатації прийнято говорити про експлуатаційну надійність системи, під якою розуміють властивість системи безвідмовно працювати протягом певного інтервалу часу в заданих умовах експлуатації за дотримання встановлених правилами технічної експлуатації (ПТЕ) заходів технічного обслуговування та поточного ремонту [20].

Теорія ймовірності для побудови моделі експлуатаційної надійності

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 [16]. 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.

У процесі функціонування технічна система, з погляду надійності, проходить три періоди: приробітку, нормального функціонування та старіння. Оскільки елементи радіоелектронних систем мають велике значення напрацювання на поступову відмову (старіння та фізичне зношування обладнання відбувається значніше пізніше, ніж станеться раптова відмова з великою часткою ймовірності або моральне старіння), то для них виправдано і широко застосовується гіпотетичне припущення експоненційного розподілу часу напрацювання системи на відмову що відповідає періоду нормальної експлуатації, на якому в основному в системі відбуваються раптові відмови. Однак, складність взаємодії елементів складних систем та зміна їх властивостей у часі внаслідок експлуатаційних навантажень, призводить до необхідності застосування методів аналізу експлуатаційної надійності, які враховують наявність взаємозв'язку між великим числом факторів, що визначають поведінку системи, що розглядається в процесі її експлуатації в реальних умовах, а також зміни у часі властивостей системи та зовнішнього середовища. Крім цього, необхідно враховувати результат дії зовнішніх випадкових факторів і так званого людського фактора, що є причиною невизначеності у поведінці системи загалом. Такий підхід ефективний для дослідження складних систем, котрим виявляються непридатними традиційні, зазвичай, прикидочные чи орієнтовні методи аналізу надійності, засновані на почерговому вивченні окремих властивостей системи чи окремих явищ, що значно полегшує об'єкт розгляду.

Таким чином, застосування більш повних методів аналізу експлуатаційної надійності складних радіоелектронних систем, що враховують більшу кількість факторів та умов експлуатації, дозволяє з більшою точністю прогнозувати можливі відмови та передбачити всі необхідні заходи забезпечення необхідного високого рівня експлуатаційної надійності складної системи, що у свою чергу зменшує час простою системи та, як наслідок, знижує збитки від аварійності на морському транспорті.

При розробці моделі експлуатаційної надійності суднового радіолокаційного обладнання в тривалому автономному плаванні необхідно враховувати надійність не тільки власне технічних засобів, а й надійності системи технічної експлуатації, що по-новому складається, що здійснюється без виконання традиційних ремонтних процедур, доступних тільки висококваліфікованим фахівцям. Експлуатація суднових радіолокаційних станцій операторами-судноводцями передбачає підхід до відновлення працездатності РЛС, який став можливим в останні десятиліття у зв'язку з розвитком модульної та мікромодульної компонування електронних приладів та розвитком техніки великих інтегральних схем. Що дозволило замінити традиційні ремонтні роботи, що виконуються радіофахівцями, процедурами напіваавтоматичного та автоматичного відновлення роботи РЛС заміною тих чи інших модулів; необхідність та адреса заміни при цьому підказується відповідними системами, які виконують діагностику вбудованими в судновий комплекс РЛС модулями. Це забезпечує зниження вимог до кваліфікації людини-оператора, відповідальної за експлуатацію та відновлення працездатності РЛС, обмежує безпосередньо живу участь оператора-судноводця у пошуку несправності, у знаходженні потрібного рішення, та відновлення втраченої працездатності радіолокаційної системи. Таким чином, один із шляхів підвищення експлуатаційної надійності РЛС досяжний методами значного скорочення часу відновлення вузла РЛС, що відмовив.

Марківська модель аналізу експлуатаційної надійності суднових радіоелектронних засобів

Аналіз причин відмов складних радіоелектронних систем показує, що у реальних умовах функціонування відмови апаратури зазвичай трапляються через відмов елементів, які у результаті впливу зовнішніх несприятливих чинників, і у результаті процесів старіння і зношування, які призводять до поступової деградації основних параметрів систем. Для морського радіообладнання це особливо характерно, так як дія факторів, що дестабілізують, на

швидкість зміни визначальних параметрів, велике, що обумовлено поступовими змінами параметрів тих або інших елементів, що входять до їх складу; поступові відмови можуть бути викликані або занадто великими відхиленнями параметрів елементів, або помилками визначення допусків на ці параметри. Розгляд зміни показників надійності в процесі експлуатації радіоелектронних систем при спільному прояві раптових та поступових відмов можливий за допомогою Марківського процесу, що характеризується дискретним часом та кінцевою множиною станів [12, 14]. У моделях, що базуються на процесі Маркова, передбачається, що кількість дефектів, виявлених у будь-який момент часу, залежить від поведінки системи і представляється у вигляді стаціонарного ланцюга Маркова. При цьому кількість дефектів кінцева, але є невідомою величиною, яка задається для моделі у вигляді константи. Інтенсивність відмов залежить лише кількості дефектів. До цієї групи моделей відносяться: Желінські-Моранди, Шика-Вулвертона, Шантикумера та ін.

Якщо інтервал експлуатації системи, що розглядається, занадто великий в порівнянні з напрацюванням системи на відмову, то не можна знехтувати старінням складових елементів, в такому випадку закон надійності буде істотно відмінний від експоненційного і для аналізу надійності можливо використовувати більш загальну модель марківських неоднорідних процесів з безперервним часом і дискретними станами (див. Рис. 1).

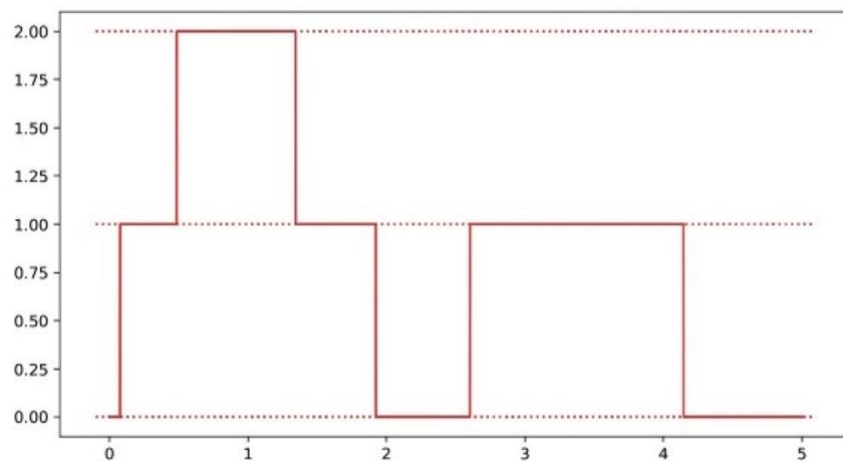


Рисунок 1 - Випадковий процес з безперервним часом та дискретним станом

Модель марківського процесу можна подати у вигляді графа, в якому стани (вершини) пов'язані між собою зв'язками (переходами з i -го стану в j -й стан) (Рис. 2)

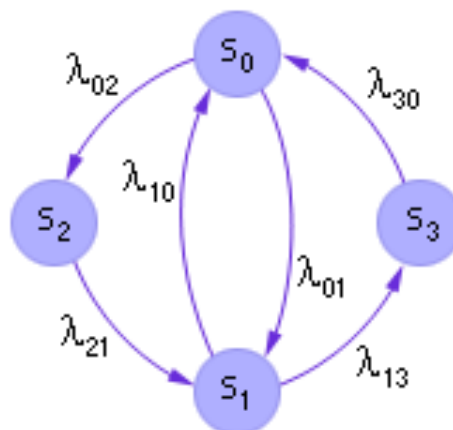


Рисунок 2 - Приклад графа марківського процесу з безперервним часом

Кожен перехід характеризується густиною ймовірності переходу λ_{ij} . За визначенням:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t} \quad (1)$$

де P_{ij} - ймовірність переходу із стану i у стан j за проміжок часу Δt .

У цьому щільність розуміють як розподіл ймовірності у часі. Перехід із i -го стану в j -е відбувається у випадкові моменти часу, що визначаються інтенсивністю переходу λ_{ij} .

Очевидно, система з будь-якого i -го стану може перейти в один із кількох станів $j, j + 1, j + 2, \dots$, пов'язаних з ним переходами $\lambda_{ij}, \lambda_{ij} + 1, \lambda_{ij} + 2, \dots$ і лише в те, перехід у який настане раніше.

Тому із послідовності часів: $t_{ij}, t_{ij} + 1, t_{ij} + 2$ і т. д. треба вибрати мінімальне та визначити індекс j , що вказує, в який саме стан відбудеться перехід.

Динаміка переходу системи з одного стану в інший можна описувати системою диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена.

Методи підвищення експлуатаційної надійності.

Процес старіння технічних систем визначається внутрішніми фізичними процесами, такими як зношування, втома тощо. При цьому як теоретичні розподіли напрацювання до відмови можуть бути використані будь-які безперервні розподіли, що застосовуються в теорії ймовірностей, з монотонно зростаючою функцією інтенсивності в часі.

Важливим фактором підвищення надійності є правильний вибір режимів роботи елементів. Вважається, що оптимальні електричні навантаження елементів не повинні перевищувати 25% номінальних. У менш відповідальних випадках їх можна збільшити до 40% і більше. Застосовувані матеріали повинні мати таку швидкість старіння, яка б забезпечувала нормальну експлуатацію апаратури протягом усього терміну служби і зберігала б необхідні механічні та електричні характеристики.

До експлуатаційної групи підвищення надійності належать чинники, що впливають на надійність РЛС у процесі експлуатації. Вони у свою чергу складаються з груп об'єктивних факторів (вплив довкілля тощо) та групи суб'єктивних факторів, пов'язаних з підготовкою обслуговуючого персоналу, організацією експлуатації і т.п.

При відповідній організації експлуатації можна зменшити вплив як тієї, так і іншої групи факторів на надійність РЛС, що підвищить значення надійності та збільшить напрацювання на відмову.

Для збільшення значення коефіцієнта готовності необхідно проводити заходи, що сприяють:

- а) збільшення часу напрацювання на відмову;
- б) зменшення часу простою.

Слід зазначити, що найпростіше та з достатнім ефектом реалізуються заходи другої групи.

До них необхідно віднести:

- а) підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- б) покращення організації технічного обслуговування;
- в) удосконалення технічних засобів обслуговування;
- г) прогнозування поступових відмов; .
- д) зменшення часу на відшукування та усунення відмов.

Підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу насамперед передбачає поглиблене вивчення конкретної РЛС, особливостей її експлуатації, досвіду експлуатації такого типу апаратури тощо. Це допомагає свідомо експлуатувати апаратуру, найефективніше проводити профілактичні заходи, скорочувати час для відшукування та усунення несправностей.

Поліпшення організації технічного обслуговування передбачає таку організацію, коли мінімальна витрата сил і коштів забезпечив би найбільше значення коефіцієнта готовності.

Сюди входять питання підготовки обслуговуючого персоналу, планування профілактичних робіт (з урахуванням рекомендацій теорії надійності та досвіду експлуатації

РЛС, забезпечення технічними засобами профілактичних робіт (різна дногностична та профілактична апаратура), автоматизація контролю стану радіоелектроніки, плавання запасних елементів і вузлів тощо.

Організація прогнозування поступових відмов дозволяє підвищити можливість безвідмовної роботи протягом часу експлуатації. Вважаючи поступові та раптові відмови взаємнезалежними відповідно до виразу $K_r = \frac{T}{T+T_B}$, де K_r - коефіцієнт готовності, T - напрацювання на відмову та T_B - середній час відновлення можна записати:

$$K_{r.B} = \frac{T_{p\Sigma B}}{T_{p\Sigma B} + T_{n\Sigma B}}; K_{r.п} = \frac{T_{p\Sigma п}}{T_{p\Sigma п} + T_{n\Sigma п}}, \quad (2)$$

де $T_{p\Sigma B}$ і $T_{p\Sigma п}$ - загальний час напрацювання елемента відповідно між раптовими та поступовими відмовами за деякий час експлуатації;

$T_{n\Sigma B}$ і $T_{n\Sigma п}$ - загальний час простою елемента відповідно через раптові та поступові відмови за той же час експлуатації.

На рис. 3 [20] наведено характеристику процесу експлуатації деякого об'єкта протягом певного часу. За цей час в об'єкті мало місце M відмов, з них m поступових і n раптових.

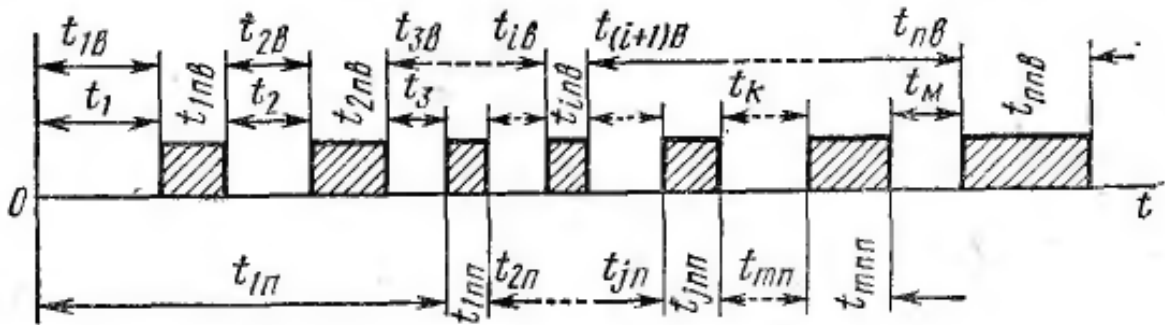


Рисунок 3 - Характеристика процесу експлуатації з урахуванням раптових та поступових відмов.

Для цього випадку можна записати:

$$T_{p\Sigma B} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{iB} = \frac{1}{n} (\sum_{k=1}^M t_k + \sum_{i=1}^m t_{jпп});$$

$$T_{p\Sigma п} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_{jп} = \frac{1}{m} (\sum_{k=1}^M t_k + \sum_{i=1}^n t_{iпв}), \quad (3)$$

де $\sum_{k=1}^M t_k = MT$ - загальний час роботи об'єкта за період експлуатації;

$\sum_{i=1}^m t_{jпп} = mT_{п\Sigma п}$ - загальний час простою об'єкта через поступові відмови за період експлуатації;

$\sum_{i=1}^n t_{iпв} = nT_{н\Sigma B}$ - загальний час простою об'єкта через раптові відмови за період експлуатації.

Підставляючи ці значення вираз 2 і зробивши необхідні перетворення, можна записати:

$$K_{r.B} + K_{r.п} = \frac{MT}{MT + mT_{п\Sigma п} + nT_{н\Sigma B}} + 1 \quad (4)$$

Враховуючи що $K_r = \frac{MT}{MT + mT_{п\Sigma п} + nT_{н\Sigma B}}$ є загальний коефіцієнт готовності, остаточно можна записати:

$$K_r = K_{r.B} + K_{r.п} - 1 \quad (5)$$

Як впливає з виразу (5) прогнозування поступових відмов дозволяє збільшити значення загального коефіцієнта готовності об'єкта.

Оскільки значення коефіцієнта $K_{r.B}$, переважно визначається середнім часом відшукування елементів, що відмовили, то основну увагу необхідно приділяти полегшенню пошуку елемента, що відмовив, а також прогнозуванню можливих відмов (діагностиці). Час відшукування елемента, що відмовив, може коливатися в значних межах - від декількох хвилин до десятків годин. Прогнозування відмов, програмування пошуку елементів, що відмовили дозволяють зменшити цей час у кілька разів.

Якщо врахувати, що поступові відмови становлять до 50% від загальної кількості відмов, можна вважати, що $T_{\Sigma B} = T_{\Sigma П}$. З урахуванням цього вираз (5) набуде вигляду:

$$K_{г.в} = K_{г.п} = 0,5(1 + K_{г}) \quad (6)$$

Вважаючи для складних радіоелектронних приладів, якими є РЛС значення $K_{г} = 0,5 \div 0,9$ можна отримати для коефіцієнта готовності під час прогнозування поступових відмов $K_{г.п} = 0,75 \div 0,95$.

Висновки. Розглянуті методи забезпечення експлуатаційного рівня надійності РЛС. Запропоновано марківську модель, в основі якої лежить неоднорідний марківський процес, для опису функціонування елемента з довільними законами надійності, якщо відновлення елемента, що відмовив, не змінює характеристик його безвідмовності, тобто після відновлення працездатності інтенсивність відмови елемента зберігається такою самою, якою вона була б, якби елемент весь цей час перебував у працездатному стані.

Розглянута модель дозволяє обчислити такі характеристики надійності системи:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- функцію готовності;
- середнє напрацювання до відмови;
- Коефіцієнт готовності;
- напрацювання на відмову;
- Середній час відновлення.

Визначено, що експлуатаційна група факторів містить низку складових, що сприяють підвищенню надійності РЛС, які можуть бути реалізовані як у період проектування та виготовлення апаратури, так і в період її безпосередньої експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. IEC 61508-1:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems -Part 1: General requirements [Text]. – impl. 01.05.2010. – Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2010. – 68 p.
2. Скляр, В.В. Элементы методологии анализа функциональной безопасности информационно-управляющих систем / В.В. Скляр //Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2009. - № 6. - С.75-79.
3. 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.
4. Перроті А. І. Карташов Г. Д. Цретаєв К. М. Основи прискорених випробувань радіоелементів на надійність - М: Рад. радіо, 1968.-224 с.
5. Мищенко И.В. Постановка задачи надежности при транспортировке опасных грузов с учетом внешнего случайного кинематического воздействия / И.В.Мищенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 5. й Харків: Фоліо, 2006.-С. 150-155..
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 Україна, 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. Белов Ф. І., Соловейчик Ф. С. Питання надійності радіоелектронної апаратури. Держенергоізлат. 1961.
13. Вентцель Є. С. Теорія ймовірностей. Фізматгиз, 1962.
14. Гнеденко Б. В. Ідр. Математичні методи теорії надії. "Наука", 1965.
15. Гнеденко Б.В., Беляєв Ю.К., Соловйов А.Д. Математичні методи теорії надійності. -М: Наука, 1965. 524 с.
16. Луцький В. А: Розрахунок надійності та ефективності радіоелектронної апаратури. Вид-во АН УРСР, 1963.
17. Ликов І. А. Основи надійності радіоелектронної апаратури. АРТА ім. Л. А. Говорова, 1962.
18. Надійність радіоелектронної апаратури, «Радянське радно». 1960.
19. Проблеми надійності радіоелектронної апаратури. Пров. з айгл-під ред. Б. Є. Бердичевського. Оборонгиз. 1960.
20. Основи експлуатації радіоелектронної апаратури: Навч. посібник для студентів вузів/А. К. Бикадоров, Л. І. Кульбак, В. Ю. Лавриненко та ін. За ред. В. Ю: Лавріненко. - 2-ге вид, перероб. та дод. – Вищ. школа, 1978. - 320 с..

REFERENCE

1. IEC 61508-1:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1: General requirements [Text]. - impl. 05/01/2010. - Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2010. - 68 p.
2. Sklyar, V.V. Elements of the methodology of analysis of functional security of information-management systems / V.V. Sklyar //Radioelectronic and computer systems. - 2009. - No. 6. - P.75-79.
3. DSTU 8647:2016. Reliability of equipment. Evaluation and prediction of reliability based on the results of tests and/or operation in conditions of a small number of failures. K.: Derzhstandartu Publishing House of Ukraine, 2017. 23 p.
4. Perrotti A. I. Kartashov G. D. Tsretayev K. M. Fundamentals of accelerated reliability tests of radio elements - M: Rad. radio, 1968.-224 с.
5. Myshchenko I.V. Setting the problem of reliability in the transportation of dangerous goods taking into account the external random kinematic impact / I.V. Myshchenko // Problems of emergency situations. Coll. of science Ave. UCC of Ukraine. Vol. 5. ñ Kharkiv: Folio, 2006.-S. 150-155.
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. Azarskov V.N.; Strelnikov, V. P. Reliability of control and automation systems. Kyiv. NAU 2004. 164 p.
8. Strelnikov V.P., Fedukhin A.V, Yakovlev M.F. A probabilistic-physical approach to the calculation of reliability indicators of mechanical units of computing equipment // Mathematical machines and systems. - 1997. - No. 2. - 101-113 с.

9. Fedukhin A.V., Cespedes-Garcia N.V. Refined calculation of reliability of electronic devices based on DN-distribution // Mathematical machines and systems. – 2000. – No. 2, 3. – 170-175 c.
10. Strelnikov V.P., Butenko L.I., Luchanskyi A.M. etc. Methodological 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. Belov F. I., Soloveitchik F. S. Reliability issues of radio electronic equipment. State Energy Ministry. 1961.
13. Wentzel E. S. The theory of probabilities. Fizmatgiz, 1962.
14. Hnedenko B. V. Idr. Mathematical methods of the theory of hope. "Science", 1965.
15. Hnedenko B.V., Belyaev Y.K., Solovyov A.D. Mathematical methods of reliability theory. - M: Nauka, 1965. 524 p.
16. Lutsky V. A.: Calculation of reliability and efficiency of radioelectronic equipment. Edition of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1963.
17. Lykov I. A. Fundamentals of reliability of radio electronic equipment. ARTA named after L. A. Govorova, 1962.
18. Reliability of radio-electronic equipment, "Soviet Council". 1960.
19. Problems of radio electronic equipment reliability. Prov. with eagle-ed. B. E. Berdychevskyi. Oborongiz. 1960.
20. Fundamentals of operation of radio-electronic equipment: Training. a guide for university students/A. K. Bykadorov, L. I. Kulbak, V. Yu. Lavrynenko, and others. Under the editorship V. Yu: Lavrynenko. - 2nd edition, revision. and add. - Higher. school, 1978. - 320 pp.

Koryakin K. S.

ENSURING THE OPERATIONAL LEVEL OF RELIABILITY OF THE SHIP'S RADAR EQUIPMENT

This article examines what operational reliability is, which model of reliability analysis is used to determine the margin of safety of radioelectronic systems and what components make it up, the influence of operational factors on the reliability of shipboard radar stations is analyzed. The intensification of the use of the sea fleet leads both to an increase in its number and to an increase in the intensity of navigation on sea routes, especially in the narrows, on the approaches to sea ports and their water areas. In this regard, the globalist world processes of modernization and unification of maritime safety systems (radio communication, navigation, environmental and fire safety systems, etc.) have taken over maritime transport in the last twenty years. In turn, the complexity, responsibility and uniqueness of the tasks solved by radio-electronic equipment on sea transport at the present time determine high requirements for them, an important role among which belongs to quantitative requirements for reliability. The versatility and complexity of operation make it difficult to create unequivocal recommendations for the operation of ship radio electronics.

Keywords: operational reliability, radar systems, ship systems, navigation safety, unification of systems, reliability theory methods, technical operation process.