

УДК 629.542

І.В. Трофименко, О.В. Данік, Ю.Є. Шапран

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКА НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ АГРЕГАТІВ

У статті проведений аналіз характеристик процесу експлуатації агрегатів систем автоматичного управління. За результатами аналізу розроблені вимоги до математичної моделі процесу технічної експлуатації агрегатів обрано клас моделі та метод моделювання, що дозволило розробити формалізований опис процесу технічної експлуатації одиничного агрегату систем автоматичного управління. За результатами аналізу обрано модель прогнозування показника надійності агрегатів та спосіб статистичного контролю рівня надійності.

Ключові слова: системи автоматичного управління, статистичний контроль, рівень надійності, суднове обладнання, модель прогнозування.

Вступ

Постановка проблеми. Основною метою контролю надійності агрегатів систем автоматичного управління 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 долю невизначеності стосовно термінів безпечної та ефективної експлуатації обладнання.

Одним з важливих етапів контролю надійності є прогнозування відповідних показників.

Формулювання мети статті. Тому, вважаємо за доцільне у статті провести аналіз характеристик процесу експлуатації агрегатів систем автоматичного управління. За результатами цього аналізу розробити вимоги до математичної моделі процесу технічної експлуатації агрегатів, обрати клас моделі та метод моделювання, що дозволило б зробити формалізований опис процесу технічної експлуатації одиничного агрегату систем автоматичного управління.

За результатами аналізу обґрунтувати модель прогнозування показника надійності агрегатів та спосіб статистичного контролю рівня надійності.

Аналіз останніх досліджень. У науково-технічній літературі [1–4] достатньо добре описані як методи прогнозування, що засновані на моделюванні досліджуваних процесів, так і методи екстраполяції наявної інформації. Для прогнозування показників надійності агрегатів систем автоматичного управління застосовуються, як правило, методи другої групи. Серед них найбільш зручними для використання є методи лінійної регресії. Але, аналіз результатів застосування даних методів свідчить про те, що точність прогнозних даних не перевищує 50–60 % [5]. Це може бути пояснено тим, що прогнозований показник надійності представляється у вигляді функції або календарного терміну експлуатації за періодами (місяці,

кварталами, роки), або наробітку, величина якого за періодами експлуатації змінюється випадково.

Оскільки за результатами обробки інформації про несправності та інформаційних бюлетенів про надійність дані подані у вигляді дискретної часової послідовності, яку прийнято називати часовим (динамічним) рядом, то в якості основного методу прогнозування надійності доцільно використовувати методи статистичного аналізу часових рядів (ЧР).

Часовим рядом називається окрема реалізація випадкового процесу, яка містить скінченну множину значень $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ величини $x(t)$, що спостерігається, отриманих у дискретні моменти часу t_1, t_2, \dots, t_n . При цьому, класичне представлення часового ряду передбачає постійність періоду дискретизації $\Delta t = t_n - t_{n-1}$.

Багато методів аналізу часових рядів реалізовано за допомогою програми Excel, проте значно великими можливостями в цьому плані володіють статистичні пакети типу SAS, SUSTAT, SPSS, STSC, STATISTICA, Minitab, WinSTAT, STADIA, ЭВРИСТА, ОЛИМП [5–8].

Для аналізу часових рядів застосовуються моделі [5–8]: АРІМК (ARIMA) Бокса – Дженкінса і автокореляції; перервані часові ряди; експоненційне згладжування; сезонна декомпозиція; сезонне коректування; аналіз розподілених лагів; одномірний аналіз Фур'є; крос-спектральний аналіз; швидке перетворення Фур'є та інші.

Як і більшість інших видів аналізу, аналіз часових рядів передбачає наявність у даних систематичної складової (що зазвичай містить декілька компонент) і випадкового шуму (похибки), який ускладнює виявлення регулярних компонент. Більшість методів дослідження часових рядів включають різноманітні способи фільтрації шуму, що дозволяють більш чітко відрізнити регулярну складову.

Більшість регулярних складових часових рядів належать до двох класів: вони є або трендом або сезонною складовою. Тренд являє собою загальну

систематичну лінійну або нелінійну компоненту, яка може змінюватися з часом. Сезонна складова-це компонента, що повторюється періодично.

Видалення тренду в часовому ряді, якій містить велику похибку здійснюється за допомогою згладжування. Для цього застосовуються такі методи згладжування: ковзаюче середнє; методу найменших квадратів, зважених відносно відстані; методу негативного експоненційно зваженого згладжування; бікубічних сплайнів.

Багато монотонних рядів можуть бути приближені лінійною функцією. Якщо ж є явна нелінійна компонента, то дані слід спочатку перетворити, щоб усунути нелінійність. Зазвичай для цього використовують логарифмічне, експоненційне або поліноміальне перетворення даних.

Модель АРКС (ARMA — Autoregression and Moving Average) передбачає моделювання двох видів процесів: процесу авторегресії і процесу ковзаючого середнього [1–3]. У загальному вигляді модель авторегресії та ковзаючого середнього описується рівнянням:

$$\sum_{j=0}^q \varphi(j)x(n-j) = \sum_{k=0}^s \mu(k)\varepsilon(n-k), \quad (1)$$

де $x(n)$ – значення випадкової величини x , що відповідає n -му спостереженню;

$x(n-j)$ – значення випадкової величини x , що відповідають попереднім j спостереженням ($j = \overline{0, q}$; $q = 1, 2, 3, \dots$);

$\varphi(j)$ – параметри авто регресії;

$\varepsilon(n)$ – значення випадкової складової, що відповідає n -му спостереженню випадкової величини x ;

$\varepsilon(n-k)$ – значення випадкової складової, що відповідають попереднім k спостереженням ($k = \overline{0, s}$; $s = 1, 2, 3, \dots$); випадкової величини x ;

$\mu(k)$ – параметри ковзаючого середнього.

Якщо $s=0$, то вираз (1) називається рівнянням авторегресії. Якщо $q=0$, то вираз (1) називають рівнянням ковзаючого середнього.

Таким чином, результати аналізу основних методів та моделей прогнозування дозволяють обрати для вирішення задачі показника надійності агрегатів метод статистичного аналізу часових рядів з використанням моделі авторегресії та ковзаючого середнього [8–11].

Вибір способу статистичного контролю

Як було зазначено вище, основним джерелом підтримання справності агрегатів систем автоматичного управління на даний час є поетапне продовження індивідуального терміну служби судна. Але, характерною особливістю продовження термінів служби є орієнтація головним чином на технічний стан корпусу, його систем та силових установок.

Проте, у складі конструкції судна є велика частка обладнання, яке не передбачає використання відповідних засобів контролю та діагностики в умовах експлуатації, та має індивідуальні терміни переходу у граничний стан. При цьому, термін переходу у граничний стан є випадковою величиною, характеристики якої неможливо визначити дослідним шляхом у сучасних умовах експлуатації.

Своєчасне виявлення моментів виникнення деградаційних процесів, що визначають терміни переходу у граничний стан та є індивідуальними для кожного типу виробів, є основною метою контролю рівня надійності агрегатів систем автоматичного управління на даному етапі експлуатації.

Зазначені обставини призводять до необхідності використання результатів статистичного контролю надійності агрегатів систем автоматичного управління.

Як відомо [1–8], статистичний контроль надійності технічних систем передбачає використання того чи іншого методу (або сукупності методів) оцінювання показників надійності за експериментальними даними. Запропоновані у більшості робіт методи оцінювання показників надійності поділяють на дві групи: параметричні і непараметричні.

Дані методи рекомендовані до використання для встановлених державними стандартами планів спостережень (випробувань) на надійність [8; 12]. При цьому розглядаються також випадки використання як повних, так і цензурованих вибірок статистичних даних різного обсягу про відмови та несправності об'єктів.

Але, сучасні умови експлуатації суден характеризуються тим, що величини наробітку за періодами експлуатації мають випадковий характер, що відповідає нестабільним умовам спостережень [5; 8; 11]. Тому, “реальний план” спостережень не відповідає жодному, встановленому стандартам.

З точки зору прикладної статистики, рекомендовані методи не забезпечують робастність оцінок показників надійності, що отримуються за статистичними даними про відмови та несправності агрегатів систем автоматичного управління в указаних умовах експлуатації. Під робастністю оцінок показників надійності розуміється їх стійкість по відношенню до впливу випадкових викидів, що містяться у реальних статистичних даних [1; 8–10].

Альтернативним способом статистичного контролю в даних умовах є спосіб, що базується на використанні процедур перевірки статистичних гіпотез.

Статистичною гіпотезою називають будь-яке твердження про вид або властивості розподілу випадкових величин, що спостерігаються в експерименті. Такі твердження робляться на підставі теоретичних міркувань або статистичних досліджень інших спостережень.

Якщо для досліджуваного явища (процесу, ситуації тощо) формульована та чи інша гіпотеза (основна або нульова H_0), то задача полягає у тому, щоб сформулювати таке правило, яке дозволяло б за результатами відповідних спостережень за статистичними даними прийняти або відхилити цю гіпотезу. Правило, згідно якого гіпотеза H_0 приймається або відхиляється, є статистичним критерієм перевірки гіпотези H_0 .

У процесі перевірки гіпотези H_0 можна прийти до правильного рішення або зробити помилку першого роду-відхилити H_0 тоді, коли вона є вірною, або помилку другого роду-прийняти H_0 тоді, коли вона є хибною. Тобто, помилка першого роду має місце тоді, якщо точка y потрапляє до критичної області L_1 , на той час, коли гіпотеза H_0 є вірною, а помилка другого роду – коли $y \in L_0$, але гіпотеза H_0 є хибною (вірною є альтернатива H_1).

Ймовірності помилок першого (α) та другого (β) роду можна виразити через функцію потужності $L(\theta)$ критерію L_1 :

$$L(\theta) = L(L_1; \theta) = P_\theta (y \in L_0), \quad \theta \in \Theta.$$

$$\text{А саме: } \alpha = L(\theta), \quad \theta \in \Theta_0 \quad \text{та} \quad \beta = 1 - L(\theta), \quad \theta \in \Theta_1.$$

Відомим є спосіб статистичного контролю надійності технічних систем, заснований на використанні методу послідовного аналізу, запропонованого А. Вальдом [1–4]. Даний метод передбачає послідовне у ході випробувань використання процедур перевірки статистичних гіпотез за критерієм Вальда. Але, особливістю даного методу є те, що за результатами аналізу може бути прийняте одне з наступних трьох рішень:

а) припинити випробування, тому, що є підстава вважати, що технічний виріб задовольняє вимогам щодо надійності;

б) припинити випробування, тому, що є підстава вважати, що технічний виріб не задовольняє вимогам щодо надійності;

в) продовжити випробування, тому, що немає підстав для висновку про надійність виробу.

Дана особливість обумовлена тим, що попередньо встановлюються два рівні надійності (верхній та нижній) за показником фактичної кількості відмов для даного обсягу вибірки. Так, якщо отримана в результаті чергового етапу випробувань фактична кількість відмов знаходиться між двома встановленими значеннями при заздалегідь заданих ймовірностях помилок першого α та другого β роду, це відповідає прийняттю рішення за варіантом в). Крім цього, для встановлення двох рівнів надійності використовується, як правило, заздалегідь відома величина ймовірності відмови виробу. При цьому верхня та нижня межі кількості відмов для даного обсягу вибірки визначаються за умови біноміального або гіпергеометричного розподілів. Внаслідок зазначе-

них особливостей метод послідовного аналізу є більшою мірою пристосований для умов виробництва ніж експлуатації агрегатів систем автоматичного управління. Тому, найбільш доцільним для умов експлуатації агрегатів систем автоматичного управління є використання способу статистичного контролю надійності, який базується на перевірці статистичних гіпотез за параметричним критерієм Неймана-Пірсона у класичній інтерпретації [1–4].

Статистичними гіпотезами у даному випадку є наступні:

гіпотеза H_0 , яка полягає у тому, що при даному значенні фактичної кількості відмов n_ϕ агрегатів систем автоматичного управління j -го типу за i -й період експлуатації параметр n_{H_0} закону розподілу величини кількості відмов n дорівнює статистичній оцінці деякої заданої (очікуваної) кількості відмов $\hat{n}_s \geq 0$ для даного контрольного періоду;

гіпотеза H_1 , яка полягає у тому, що при даному значенні фактичної кількості відмов n_ϕ агрегатів систем автоматичного управління j -го типу за i -й період експлуатації параметр n_{H_1} закону розподілу величини кількості відмов n перевищує \hat{n}_s ($n_{H_1} > \hat{n}_s$, у загальному випадку $n_{H_1} \neq \hat{n}_s$).

Відповідно до [1–4; 9], гіпотеза H_1 є альтернативною по відношенню до H_0 , якщо виконуються наступні умови:

$$\frac{P_{n_{H_1}} \{n \leq n_\phi\}}{P_{n_{H_0}} \{n \leq n_\phi\}} \geq A; \quad (2)$$

$$A = \frac{1-\beta}{\alpha}, \quad (3)$$

де $P_{n_{H_1}} \{n \leq n_\phi\}$ – ймовірність того, що кількість відмов за контрольний період експлуатації не перевищуватиме фактичну кількість відмов n_ϕ при параметрі закону розподілу n_{H_1} ; $P_{n_{H_0}} \{n \leq n_\phi\}$ – ймовірність того, що кількість відмов за контрольний період експлуатації не перевищуватиме фактичну кількість відмов n_ϕ при параметрі закону розподілу n_{H_0} ; α – ймовірність помилки першого роду; β – ймовірність помилки другого роду.

Величину

$$\frac{P_{n_{H_1}} \{n \leq n_\phi\}}{P_{n_{H_0}} \{n \leq n_\phi\}} \geq W(n_\phi, n_{H_1}, n_{H_0})$$

називають статистикою критерію правдоподібності Неймана – Пірсона або коефіцієнтом відношення ймовірностей.

У свою чергу гіпотеза H_0 може бути визнана альтернативною по відношенню до H_1 при виконанні умов [3–4; 10]:

$$\frac{P_{n_{\text{н}}} \{n \leq n_{\phi}\}}{P_{n_{\text{н0}}} \{n \leq n_{\phi}\}} \geq B; \quad (4)$$

$$B \geq \frac{\beta}{1-\alpha}. \quad (5)$$

Таким чином, результати аналізу особливостей статистичних даних про відмови та несправності агрегатів систем автоматичного управління, що отримуються в умовах експлуатації при нестабільних умовах спостережень, результати аналізу основних способів статистичного контролю надійності дають змогу вибрати спосіб, що базується на використанні процедур перевірки статистичних гіпотез про параметр закону розподілу кількості відмов за критерієм Неймана-Пірсона з урахуванням нестабільності умов спостережень.

Математична постановка завдань дослідження

У відповідності до формалізованого представлення процесу технічної експлуатації агрегатів систем автоматичного управління здійснимо математичну постановку часткових завдань дослідження:

1. Сформуувати вихідну множину режимів технічного обслуговування і ремонту U агрегатів систем автоматичного управління за інформацією, що є у наявності.

2. Виділити суттєві фактори Λ , що визначають умови протікання процесу технічної експлуатації агрегатів систем автоматичного управління за інформацією, що є у наявності.

3. Побудувати математичну модель H , що ставить у відповідність множинам режимів технічного обслуговування і ремонту U і факторів Λ множину результатів процесу технічної експлуатації $Y^{<R>}(u)$. Здійснити машинну реалізацію моделі $H(\phi): U \times \Lambda \rightarrow Y^{<R>}$, що дозволяє оцінити значення різних часткових характеристик $y_i(u)$ результату $Y^{<R>}$ для кожного режиму $u \in U$ [11–12].

У відповідності до формалізованого представлення процесу технічної експлуатації агрегатів систем автоматичного управління, як процесу зміни станів e_i у множині E , представимо оператори переходу ϕ і виходу H у вигляді відповідностей:

$$\phi: E \times U \times T \times \Lambda \rightarrow E(T); \quad (6)$$

$$H: E \times U \times T \times \Lambda \rightarrow Y(T), \quad (7)$$

де T – час експлуатації агрегатів.

З точки зору реалізації математичної моделі оператори ϕ та H мають дозволяти визначати траєкторії $E(T)$, $Y(T)$ цілком, а також будь-які фрагменти цих траєкторій. При цьому кожна точка траєкторії $E(T)$ станів системи і траєкторії його результатів $Y(T)$ повинні характеризувати для деякого моменту часу $t \in T$ стан $e(t) \in E$ та значення характеристик $y_i(t)$ результату $Y^{<R>}$ процесу, що розглядається.

Конкретний вигляд обох траєкторій повинен визначатися множиною вхідних впливів, реалізованих за період експлуатації T (усі або деякі складові входу можуть залежати від часу $t \in T$), початковим станом e_0 процесу і операторами ϕ та H .

4. За результатами моделювання (планування та проведення факторного експерименту) при отриманих значеннях вектору $Y^{<R>}$ результату експерименту кількісно оцінити вплив інтенсивності експлуатації K_1 за календарний період часу T_e на величину статистичної оцінки параметру потоку відмов \hat{z} агрегатів систем автоматичного управління.

5. З використанням статистичних оцінок параметра потоку відмов, отриманих з урахуванням кількісної оцінки впливу інтенсивності експлуатації K_1 за календарний період часу T_e побудувати часовий ряд значень показника $\hat{z}_1(t), \hat{z}_2(t), \dots, \hat{z}_n(t)$ для дискретних моментів часу t_1, t_2, \dots, t_n з постійним періодом дискретизації $\Delta t = t_n - t_{n-1}$. Для побудованого часового ряду оцінок параметра потоку відмов $\hat{z}_1(t), \hat{z}_2(t), \dots, \hat{z}_n(t)$ ідентифікувати параметри обраної моделі авторегресії та ковзаючого середнього для прогнозування часового ряду. Удосконалити методику статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів систем автоматичного управління з урахуванням впливу інтенсивності експлуатації.

6. У відповідності до обраної імовірнісної моделі потоку відмов сукупності однотипних агрегатів систем автоматичного управління у вигляді складового розподілу Пуассона, обраного способу статистичного контролю надійності, що базується на використанні процедур перевірки статистичних гіпотез за параметричним критерієм Неймана-Пірсона, удосконалити методику статистичного контролю надійності бортового обладнання з урахуванням нестабільних умов спостережень.

Висновки

1. У статті проведено аналіз існуючих моделей, що описують процеси функціонування складних технічних систем, досліджено характеристики процесу експлуатації агрегатів систем автоматичного управління.

2. За результатами аналізу розроблені вимоги до математичної моделі процесу технічної експлуатації агрегатів систем автоматичного управління, обрано клас моделі та метод моделювання. Це дозволило розробити формалізований опис процесу технічної експлуатації одиничного агрегату систем автоматичного управління.

3. Обрано ймовірнісну модель потоку відмов сукупності однотипних агрегатів систем автоматичного управління з урахуванням особливостей експлуатації засобів водного транспорту у сучасних умовах.

4. За результатами аналізу обрано модель прогнозування показника надійності агрегатів систем автоматичного управління та спосіб статистичного контролю рівня надійності.

Список літератури

1. Рабочая книга по прогнозированию / [Араб-Оглы Э.А., Бестужев-Лада И.В., Гаврилов Н.Ф. и др.]; под ред. И.В. Бестужева-Лады. – М.: Мысль, 1982. – 430 с.
2. Хеннан Э. Многомерные временные ряды / Э.Дж. Хеннан; пер. с англ. А.С. Холево. – М.: Мир, 1974. – 576 с.
3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон; пер. с англ. И.Г. Журбенко и В.П. Носко. – М.: Мир, 1976. – 756 с.
4. Гаскаров Д.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д.В. Гаскаров, Т.А. Голинкевич, А.В. Мозгалевский. – М.: Советское радио, 1974. – 224 с.
5. Иванович В.В. Прогнозування безвідмовності обладнання засобів водного транспорту методами статистичного аналізу часових рядів / В.В. Иванович, О.Ю. Ільїн, С.М. Кучерук // Водний транспорт. – К.: КДАВТ, 2013. – Вип. 2 (17). – С. 218-223.
6. Навігаційне забезпечення управління рухом суден: навч. посіб. / В.І. Богом'я, В.С. Давидов, В.В. Доронін, Д.П. Пашков, І.В. Тихонов. – Вид. 1-е. – К.: ДВВП Компас, 2012. – 336 с.
7. Тюрин Ю.П., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере / Ю.П. Тюрин, А.А. Макаров. – М.: Инфра-М, 2003. – 544 с.
8. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
9. Мусорін О.О. Особливості аналітичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах / І.В. Трофименко, О.О. Мусорін, Ю.С. Шапран // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – К.: ДУІКТ, 2017. – № 1. С. 23-29.
10. Тимошук О.М. Безперервне планування як інструмент комплексного управління суміжними видами транспорту / О.М. Тимошук, Т.О. Войченко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Економіка і управління». – 2013. – Вип. 26. – С. 17-22.
11. Лавріненко В.Ф. Математична модель функціональних систем суднового обладнання / Л.М. Гудков, В.Ф. Лавріненко // Новітні технології. – 2016. – № 2(2). – С. 61-68.
12. Трофименко І.В. Метод статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів системи автоматичного керування суднових комплексів за даними експлуатаційних спостережень / Ю.С. Шапран, І.В. Трофименко // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2017. – № 1(104). – С. 52-57.

References

1. Arab-Oglu, E.A., Bestuzhev-Lada, I.V. and Gavry'lov, N.F. (1982) "Rabochaya knyha po proghnozyrovanyyu" [Workbook for forecasting], Musl', Moscow, 430 p.
2. Xennan, Dzh. (1974), "Mnogomernue vremennue ryadu" [Multidimensional time series], Mir, Moscow, 576 p.
3. Anderson, T., Zhurbenko, Y'.G. and Nosko, V.P. (1976), "Statysticheskyu analiz vremennykh ryadov" [Statistical analysis of time series], Mir, Moscow, 756 p.
4. Gaskarov, D.V., Goly'nkeyv'ch, T.A. and Mozgalevsky'j, A.V. (1974), "Proghnozyrovanye tekhnicheskoho sostoyaniya y nadezhnomy radyo'elektronnoy apparatury" [Forecasting of technical condition and reliability of radio-electronic equipment], Sovetskoe rady'o, Moscow, 224 p.
5. Ivanov'y'ch, V.V., Il'y'in, O.Yu. and Kucheruk, S.M. (2013), "Proghnozuvannya bezvidmovnosti obladdnannya zasobiv vodnoho transportu metodamy statystychnoho analizu chasovykh ryadiv" [Forecasting of faultless equipment of water transport means by statistical analysis of time series], Vodnyy transport, No. 2 (17), pp. 218-223.
6. Bogom'ya, V.I., Davy'dov, V.S., Doronin, V.V., Pashkov, D.P. and Ty'xonov, I.V. (2012), "Navigacijne zabezpechennya upravlinnya ruxom suden" [Navigational control of vessels], DVVP Kompas, Kyiv, 336 p.
7. Tyury'n, Yu.P. and Makarov, A.A. (2003), "Analiz dannyh na komp'yutere" [Data analysis on a computer], Y'nfra-M, Moscow, 544 p.
8. Borovy'kov, V. (2003), "STATISTICA. Yskusstvo analiza dannykh na komp'yutere: dlya professyonalov" [STATISTICA. The art of analyzing data on a computer: for professionals], SPb., Py'ter, 688 p.
9. Musorin, O.O., Trofy'menko, I.V. and Shapran, Yu.Ye. (2017), "Osoblyvosti analitychnoho zabezpechennya ekspluatatsiyi suden u suchasnykh umovakh" [Features of analytical maintenance of operation of vessels in modern conditions], Naukovy zapysky Ukrainys'koho naukovo-doslidnoho instytutu zv'yazku, No. 1, pp. 23-29.
10. Ty'moshhuk, O.M. and Vojchenko, T.O. (2013), "Bezperervne planuvannya yak instrument kompleksnoho upravlinnya sumizhnymy vydamy transportu" [Continuous planning as an integrated management tool for contiguous transport], Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tekhnolohichnoho universytetu transportu, Ekonomika i upravlinnya, No. 26, pp. 17-22.
11. Lavrinenko, V.F. and Gudkov, L.M. (2016), "Matematychna model' funktsional'nykh system sudnovoho obladdnannya" [Mathematical model of functional systems of ship equipment], Novitni texnologiyi, No. 2(2), pp. 61-68.
12. Trofy'menko, I.V. and Shapran, Yu. Ye. (2017), "Metod statystychnoho otsinyuvannya ta proghnozuvannya parametra potoku vidmov ahreativ systemy avtomatychnoho keruvannya sudnovykh kompleksiv za danymy ekspluatatsiynykh sposterez-

hen” [Method of statistical estimation and forecasting of the parameter of flood failure of aggregates of the system of automatic control of ship complexes according to operational observations], *Standartyzatsiya, sertyfikatsiya, yakist'*, No. 1(104), pp. 52-57.

Надійшла до редколегії 2.08.2017

Схвалена до друку 21.09.2017

Відомості про авторів:

Трофименко Ірина Валеріївна

викладач кафедри Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8743-5036>
e-mail: trorimenkokdavn70@gmail.com

Данік Олексій Володимирович

старший викладач кафедри Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5065-7380>
e-mail: alexey.danik@mail.ru

Шапран Юлія Євгеніївна

викладач кафедри Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0229-2428>
e-mail: olilia2007@ukr.net

Information about the authors:

Trofimenko Iryna

Lecturer at the State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8743-5036>
e-mail: trorimenkokdavn70@gmail.com

Danik Oleksij

Senior Instructor at the State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5065-7380>
e-mail: alexey.danik@mail.ru

Shapran Yuliya

Lecturer at the State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0229-2428>
e-mail: olilia2007@ukr.net

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ АГРЕГАТОВ

I.B. Трофименко, O.B. Данік, Ю.Є. Шапран

В статье проведен анализ характеристик процесса эксплуатации агрегатов систем автоматического управления судовых энергетических установок. По результатам анализа разработаны требования к математической модели процесса технической эксплуатации агрегатов, избран класс модели и метод моделирования, которое позволило разработать формализованное описание процесса технической эксплуатации единичного агрегата систем автоматического управления судовых энергетических установок. По результатам анализа избрана модель прогнозирования показателя надежности агрегатов и способ статистического контроля уровня надежности.

Ключевые слова: системы автоматического управления, статистический контроль, уровень надежности, судовое оборудование, модель прогнозирования.

MODEL OF FORECASTING OF RELIABILITY INDICATOR VESSELS

I. Trofy`menko, O. Danik, Yu. Shapran

The main objective of controlling the reliability of aggregates of automatic control systems in the current conditions of operation is the timely detection of the moments of degradation processes caused by the action of various factors. The moments of the beginning of degradation processes are random and individual for each type of product, which brings about a certain amount of uncertainty regarding the timing of safe and efficient operation of the equipment. One of the important stages in the control of reliability is the prediction of the relevant indicators.

In the article the conducted analysis of descriptions of process of exploitation of aggregates of the systems of automatic control of ship power options. On results an analysis the worked out requirements are to the mathematical model of process of technical exploitation of aggregates, a model class and method of design that allowed to work out the formalized description of process of technical exploitation of single aggregate of the systems of automatic control of ship power options are select. On results an analysis the model of prognostication of reliability of aggregates index and method of statistical control of level of reliability are select.

Keywords: automatic control systems, statistical control, level of reliability, ship equipment, forecasting model.