УДК 519.872: 006.91

А.О. Левченко

Львівський ордена Червоної Зірки інститут Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного Національного університету "Львівська політехніка", Львів

ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ І ОЦІНКА ЯКОСТІ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

В статті розглянуто основні початкові положення для імітаційного моделювання систем забезпечення експлуатації складних технічних комплексів. Сформульовано обов'язкові процедури алгоритму визначення моментів проведення періодичного контролю складних технічних комплексів. Запропоновано основні положення методики оцінки якості систем забезпечення експлуатації складних технічних комплексів по критерію достовірності контролю. Наведено приклад реалізації запропонованої методики для засобів вимірювальної техніки медичного призначення з елементами вбудованого самоконтролю.

системи забезпечення експлуатації, інформаційні моделі, імітаційне моделювання, показники якості, коефіцієнт готовності, складні технічні комплекси, засоби вимірювальної техніки

Вступ

Постановка проблеми. Достовірність інформаційних моделей функціонування систем забезпечення експлуатації (СЗЕ) складних технічних комплексів (СТК), є критерієм ефективності методів отримання числових значень характеристик систем метрологічного забезпечення, технічного обслуговування і ремонту СТК [1, 2]. Для вибору методу моделювання СЗЕ СТК необхідно оцінити ступінь його достовірності і інформативності, а у разі, коли реалізація методу представляє велику складність необхідно спочатку визначити основні принципи побудови моделей СЗЕ і провести оцінку якості СЗЕ СТК. Саме така ситуація склалася при розробці методик і алгоритмів побудови інформаційних моделей функціонування СЗЕ СТК.

Аналіз літератури. В більшості робіт, присвячених побудові інформаційних моделей прогнозу технічного стану СТК, як узагальнений показник їх надійності, використовується коефіцієнт оперативної готовності. В роботі [3] приведено обгрунтовування побудови інформаційної моделі прогнозу коефіцієнта оперативної готовності з використанням типових операторів, а в [4] отримані вирази для коефіцієнтів перетворення операторів і побудовані моделі СТК для випадку, коли відновлення проводиться шляхом заміни елементів. З використанням цих результатів в подальших роботах цього і ряду інших авторів отримані наступні важливі результати: обгрунтована можливість застосування побудованих за допомогою типових операторів моделей для прогнозу стану СТК з числовим вимірювальним контролем стану; побудована модель коефіцієнта оперативної готовності для СТК з числовим вимірювальним контролем стану і відновленням шляхом заміни елементів (коли алгоритми відновлення і контролю виконані без помилок); побудовані моделі циклу забезпечення експлуатації СТК при однократному контролі працездатності, і на його основі отриманий еквівалентний макромодуль процесу технічного обслуговування СТК.

Проте в даних роботах за допомогою моделювання розв'язувалися конкретні задачі прогнозу виду стану конкретних СТК за певних умов. Загальні принципи побудови моделей СЗЕ СТК не визначені, як і не визначений ступінь впливу інтеграції підсистем обслуговування на вигляд стану СТК.

Мета статті. Визначити основні початкові положення для імітаційного моделювання СЗЕ СТК. Розробити методику оцінки якості СЗЕ СТК, що дозволяє формулювати вимоги до показників якості вбудованого контролю з урахуванням реальних процесів деградації властивостей СТК для забезпечення корекції операцій технічного забезпечення їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Процес експлуатації СТК є циклічним і включає наступні основні фази: застосування за призначенням, відновлення працездатного стану, технічне обслуговування і зберігання СТК в проміжних режимах. Кожній фазі відповідає комплекс технологічних операцій, що реалізовуються в рамках певної підсистеми. Виділимо основні підсистеми СЗЕ СТК: підсистема експлуатації, підсистема вимірювального контролю, підсистема технічного обслуговування і підсистема ремонту.

На всіх фазах експлуатації СТК здійснюється контроль його технічного стану. Операції контролю проводяться або безперервно протягом всього періоду експлуатації СТК, або з періодичністю, що ви-

© А.О. Левченко

значається напрацюванням або календарними термінами знаходження СТК в одній з фаз експлуатації. Крім того, передбачаються заходи контролю стану СТК, пов'язані з початком і кінцем фази застосування СТК. Заходи контролю в СЗЕ справедливо розділити на чотири групи: роботи, момент виконання яких пов'язаний з початком і кінцем фази застосування СТК; роботи періодичність проведення, яких визначається календарним терміном експлуатації СТК; роботи момент виконання, яких визначається напрацюванням СТК і роботи, виконання яких призначено за наслідками прогнозу моменту часу виходу параметрів СТК за межі допусків (параметрична або латентна відмова), або за наслідками прогнозу моменту часу виходу СТК з ладу (для групи однотипних СТК).

Як правило, періодичний контроль СТК є неоднорідним, оскільки включає декілька видів різних перевірок, які відрізняються достовірністю контролю і тривалістю проведення операцій контролю. Крім того, спостерігається залежність характеристик системи контролю і ієрархією самих видів перевірок стану СТК. Так перевірки, що проводяться рідко, мають велику тривалість і достовірність контролю параметрів СТК. З другого боку, між перевірками, що мають більший період проведення, проводяться операції менш глибоких і тривалих перевірок.

Перевірки, що виконуються після досягнення певного напрацювання СТК, мають пріоритет над перевірками, періодичність яких визначена календарними термінами. Останні виконуються тільки в тому випадку, якщо не наступив момент проведення перевірок по напрацюванню. Відлік часу до чергової перевірки технічного стану СТК по календарних термінах проводиться від моменту часу проведення перевірки по напрацюванню.

У разі призначення проведення перевірок за наслідками прогнозу моменту часу виходу параметрів СТК за межі допусків (або за наслідками прогнозу моменту часу виходу СТК з ладу), перевірки, що виконуються після досягнення певного напрацювання і перевірки періодичного контролю не проводяться.

Напевно, що процеси забезпечення експлуатації СТК багатократного застосування графічно можна представити у вигляді послідовності різних фаз, створюючих ряд вкладених циклів (рис. 1).

Найпоширеніші методи аналізу процесів забезпечення експлуатації СТК застосовні лише для однорідних стратегій перевірок [1, 2]. Побудова і дослідження аналітичної структури моделей СЗЕ СТК, що функціонують по змішаній стратегії експлуатації, для цих методів представляє виняткову складність.

В даних моделях до узагальнених характеристик підсистем контролю СЗЕ СТК, що впливають на їх надійність і готовність, слід віднести тривалість, періодичність і достовірність контролю СТК.

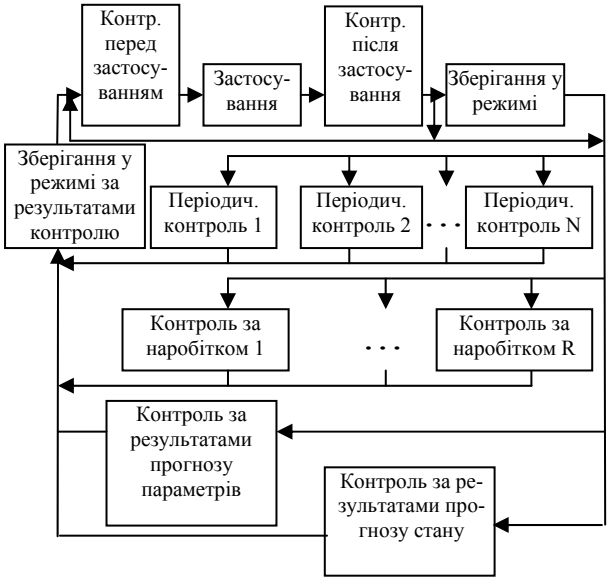

Рис. 1. Взаємозв'язок процедур підсистем обслуговування і контролю в СЗЕ СТК

Для обгрунтовування змісту алгоритму моделювання СЗЕ СТК введемо позначення: t_{1j} – тривалість контролю в процесі застосування СТК в j-тому циклі експлуатації; t_{2j} – тривалість контролю перед застосуванням СТК за призначенням в j-тому циклі експлуатації; t_{3j} – позначимо через T_i сумарне напрацювання СТК, що визначає момент проведення періодичного контролю, а через $T_{\gamma j}$ – час експлуатації, що визначає момент проведення перевірки стану визначуваного календарними термінами експлуатації. На практиці допускається розкид в значеннях величин T_i і $T_{\gamma j}$, що дозволяє почати перевірку СТК дещо раніше або пізніше встановленого терміну, у разі призначення перевірок по напрацюванню або по календарними термінам.

Існуюча ієрархія серед періодичних перевірок СТК (показана на мал.1) характеризується кратністю періодів проведення операцій контролю стану СТК. Відношення періодів робіт більшого об'єму до періодів робіт меншого об'єму визначається:

$$m_{ні} = (T_i + 1) / T_i, \qquad (1)$$

де $m_{ні}$ – відношення періодів робіт більшого об'єму до періодів робіт меншого об'єму для перевірок по напрацюванню;

$$m_{кі} = (T_{\gamma j} + 1) / T_{\gamma j}, \qquad (2)$$

де $m_{кі}$ – відношення періодів робіт більшого об'єму до періодів робіт меншого об'єму для перевірок по календарних термінах.

Тоді логіку призначення періодичності перевірок по напрацюванню опишемо нерівністю:

$$T_i + \Delta T_i \le \sum_{j \le K_i} x_{1j} \le T_i - \Delta T_i, \quad (3)$$

де x_{1j} – сумарний інтервал часу напрацювання ЗВТ від обслуговування до обслуговування;

ΔT_i – інтервал часу, рівний різниці необхідного часу і реального часу обслуговування СТК (або по напрацюванню, або при періодичному контролі);

K_i – сукупність циклів застосування СТК після проведення i -тої або більш рідкісної перевірки по напрацюванню (тобто перевірки більш високого рангу в згаданій ієрархії).

Календарні перевірки СТК виконуються за умови, що справедливо співвідношення:

$$T_\gamma + \Delta T_\gamma \le \sum_{i=1}^{N} \sum_{j \le R_\gamma} x_{ij} \le T_\gamma - \Delta T_\gamma, \quad (4)$$

де $x_{ij}, \Delta T_\gamma$ – величини по своєму фізичному значенню аналогічні величинам x_{1j} і ΔT_i відповідно;

R_γ – сукупність циклів застосування, що проводяться після останньої перевірки по напрацюванню СТК.

Отже, з урахуванням вище розглянутого алгоритм моделювання СЗЕ СТК передбачає наступні обов'язкові процедури: формування випадкових величин, що характеризують тривалість фаз процесу експлуатації СТК; розрахунок сумарного напрацювання СТК з моменту того, що вводить його до ладу для реалізації функцій застосування за призначенням; перевірка виконання нерівності логіки призначення періодичності перевірок по напрацюванню і формування випадкових величин, що визначають тривалість операцій контролю при проведенні перевірок по напрацюванню СТК. У випадку якщо не виконуються обидві умови логіки призначення періодичності перевірок СТК по напрацюванню, то слід застосовувати наступний алгоритм.

1. Перевірка виконання нерівності логіки призначення періодичності перевірок СТК по календарних термінах і формування випадкових величин, що визначають тривалість операцій контролю при проведенні перевірок по календарних термінах.

2. Формування випадкових величин, що визначають тривалість фаз очікування СТК.

3. Формування випадкових величин, що визначають тривалість операцій контролю стану СТК перед застосуванням за призначенням.

Як показує досвід моделювання СЗЕ СТК, однією з найважливіших процедур побудови моделей СЗЕ є процедура імітації достовірності контролю СТК [6, 7]. Сутність її роботи полягає в розділенні потоку всіх СТК, що поступають на контроль на справні і несправні, причому вірогідність попадання СТК в число несправних визначається інтенсивністю його відмов і часом знаходження в умовах зберігання (або його застосування). Потім здійснюється розділення справних і несправних СТК на дві групи: відновлених за наслідками контролю і забракованих, відповідно до величини помилок контролю першого і другого роду [7, 8]. При цьому не слід припускати, що відновлення СТК, визнаних несправними відбувається повністю, що розглядалося в роботах попередніх авторів. Для моделювання багатократності процедур ланцюжка операцій: "контроль-відновлення-контроль" використовують відповідний макромодуль моделювання операцій детально розглянутий в [8 – 11].

Моделювання СЗЕ СТК тісно пов'язано з оцінкою якості СЗЕ СТК. Тому розглянемо основні положення методики оцінки якості СЗЕ СТК.

Аналіз опублікованих джерел [12, 13] показав, що найприйнятнішою і розробленою для опису процесів з довільним видом розподілу часу переходу СТК із стану в стан є напівмарківська модель. Однією з переваг цієї моделі є можливість прогнозу наслідків дегроадаційних процесів СТК.

Для завдання напівмарківського процесу необхідно описати безліч всіх можливих станів СТК, побудувати матрицю вірогідності переходів СТК з одного стану в інший і визначити вид закону розподілу тривалості цих переходів [14]. Розглянемо реалізацію методики оцінки якості СЕО СТК на прикладі засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) медичного призначення з елементами вбудованого самоконтролю (далі по тексту ЗВТ). У відповідності з [15] граф переходів для ЗВТ представлений на рис. 2.

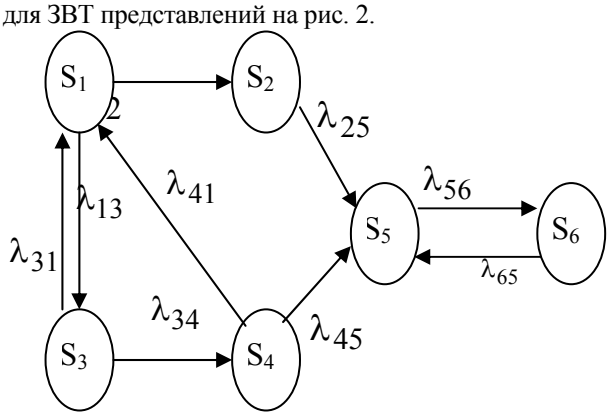

Рис. 2. Граф переходів для ЗВТ медичного призначення з елементами вбудованого самоконтролю

З проведеного аналізу існуючих ЗВТ протягом свого життєвого циклу, вони можуть знаходитися в наступних станах: застосовуватися по прямому призначенню, ремонтуватися, піддаватися самоконтролю, діагностиці і періодичним повіркам. Перераховані стани були далі враховані при побудові описаної нижче напівмарківської моделі.

Для побудови математичної моделі необхідно враховувати основні стани протягом життєвого циклу ЗВТ в процесі експлуатації. До таких станів відносяться: S_1 – справний стан ЗВТ; S_2 – несправний

стан ЗВТ; S_3 – контроль несправного стану ЗВТ; S_4 – корекція нормованих метрологічних характеристик за наслідками контролю (регулювання параметрів) ЗВТ; S_5 – контроль справного стану ЗВТ; S_6 – незнайдена відмова при контролі ЗВТ.

Напевно, що в будь-який фіксований момент часу ЗВТ може знаходитися в одному з 6 станів (S_1 – S_6).

З одних станів в інші ЗВТ може переходити з інтенсивностями λ_{dr} переходу з d -го в r -тий стан, ($d = \overline{1,6}$, $r = \overline{1,6}$), відповідно до графа, зображеного на рис. 2.

Відповідно до графа станів ЗВТ під час експлуатації (рис. 2), складемо матрицю вірогідності переходів:

$$\left\| P_{ij} \right\| = \begin{vmatrix} 0 & F(T_к) & 0 & 0 & 1-F(T_к) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1-\beta_0 & 0 & \beta_0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1-\alpha_0 & 0 & 0 & \alpha_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

де $T_к$ – час до першого контролю (відлічується від початку експлуатації ЗВТ або від моменту попередньої перевірки);

$F(T_к)$ – вірогідність відмови ЗВТ за час $T_к$;

α_0 – умовна вірогідність помилкової відмови при контролі ЗВТ;

β_0 – умовна вірогідність незнайденої відмови при контролі ЗВТ.

У відповідності з [16] і на підставі міркувань, приведених в [15], вираз для коефіцієнта готовності $k_г$ має вигляд вперше приведений в [17]:

$$K_г = \frac{F(T_к)\int_0^{T_к} \tau dF(\tau) + T_к(1-F(T_к))}{A + B + t_в\left(F(T_к) + \alpha_0(1-F(T_к))\right)}, \qquad (5)$$

де $t_в$ – тривалість відновлення ЗВТ;

τ – поточний час експлуатації ЗВТ;

$t_к$ – тривалість контролю ЗВТ;

A і B – допоміжні функції, що визначаються із співвідношень:

$$A = T_k\left(1 + \frac{\beta_0 F(T_k)}{1-\beta_0}\right); \qquad (6)$$

$$B = t_k\left(\frac{F(T_k)}{1-\beta_0} + 1 - F(T_k)\right). \qquad (7)$$

Слід зазначити, що в різних випадках можна використовувати або більш докладні, або узагальнені моделі, отримані в [10 – 12, 14, 18, 19]. Величина $F(T_к)$ підкоряється експоненціальному закону розподілу часу безвідмовної роботи ЗВТ. В [19] зроблений висновок, що в задачі дослідження процесу експлуатації СТК облік впливу деградаційних процесів доцільно здійснювати за допомогою моделювання цих процесів дрейфом основного параметра в часі. Найбільш часто як модель використовують випадкову функцію вигляду:

$$x(\tau) = x_0 + (\tau - t_0)b, \qquad (8)$$

де x_0, t_0 – координати випадкової точки полюса;

b – випадкова величина, характеризуюча швидкість зміни в часі значень параметра x.

На процес зносу ЗВТ накладається випадкова складова, яку можна представити у вигляді нормального стаціонарного процесу $y(\tau)$ з нульовим математичним очікуванням [18]. Таким чином, зміну похибки вимірювань визначального параметра ЗВТ в часі можна описати виразом:

$$Z(\tau) = x(\tau) + y(\tau), \qquad (9)$$

де $y(\tau)$ – нормальний стаціонарний процес з нульовим математичним очікуванням і кореляційною функцією $\sigma_1 r(\tau)$;

$r(\tau)$ – нормована кореляційна функція процесу $y(\tau)$;

σ_1 – середнє квадратичне відхилення.

Прийнято вважати незалежність процесів $x(\tau)$ і $y(\tau)$ [18]. Оскільки процес $x(\tau)$ описується відомою функцією часу, то для визначення вірогідності $F(T_к)$ необхідно оцінити вірогідність того, що значення, що характеризують процес $Z(\tau)$ не перевищать за час $\tau = T_к$ заданий рівень (допуск). Скористаємося нерівністю наведеною в [14]:

$$P_{\delta_{доп}}(\tau) \geq F(\delta_{доп}) - \tau n_{\delta_{доп}}, \qquad (10)$$

де $F(\delta_{доп})$ – функція розподілу ординати процесу;

$n_{\delta_{доп}}$ – середнє число викидів в одиницю часу;

$P_{\delta_{доп}}(\tau)$ – вірогідність того, що значення процесу $Z(\tau)$ не перевищать за час $\tau = T_к$ допуск $\delta_{доп}$.

Введемо наступні обмеження:

1) $t_0 = 0$;

2) x_0 і b – незалежні нормально розподілені випадкові величини.

Густина розподілу процесу $x(\tau)$ описується виразом:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma_2}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m_2}{\sigma_2}\right)^2\right), \qquad (11)$$

де m_2, σ_2 – параметри нормального розподілу процесу $x(\tau)$ знаходяться із співвідношень:

$$m_2 = m_{x_0} + \tau m_b ; \quad (12)$$

$$\sigma_2^2 = \sigma_{x_0}^2 + \tau^2 \sigma_b^2 , \quad (13)$$

де m_{x_0}, m_b, $\sigma_{x_0}^2, \sigma_b^2$ – математичні очікування і дисперсії випадкових величин x_0 і b.

Визначення вірогідності $P_{\delta_{доп}}(\tau)$ зводиться до знаходження функції розподілу суми двох незалежних випадкових величин: нормально розподіленої величини x і найбільшого значення стаціонарного випадкового процесу $y(\tau)$.

Маємо наступний вираз для вірогідності:

$$P_{\delta_{доп}}(\tau) = F(c) - \frac{\sigma_1}{\sigma} \tau n_0 \exp\left(c^2\right), \quad (14)$$

де n_0 – передбачуване число викидів в первинний момент часу;

σ – середнєквадратичне відхилення розраховується по формулі:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} , \quad (15)$$

c – допоміжна змінна, що визначається з виразу:

$$c = \frac{\delta_{доп} - m_2}{\sigma} . \quad (16)$$

Для різних параметрів процесу (8) по співвідношенню (14) можна визначити значення вірогідності $P_{\delta_{доп}}(\tau)$. Вірогідність виникнення відмови $F(T_к)$ за час $\tau = T_к$ в цьому випадку, дорівнює:

$$F(T_к) = 1 - P_{\delta_{доп}}(T_к) . \quad (17)$$

Підставляючи формулу (17) в співвідношення (5), одержуємо вираз, що пов'язує коефіцієнт готовності $k_г$ ЗВТ з характеристиками систем вбудованого контролю, з показниками якості вбудованого контролю і характеристиками дрейфу похибки ЗВТ в часі:

$$K_г = \frac{\left(1 - P_{\delta_{доп}}(\tau)\right) A_1 + P_{\delta_{доп}}(\tau) T_к}{A_2 + t_в \left(1 - (1 + \alpha_0) P_{\delta_{доп}}(\tau)\right)} , \quad (18)$$

де A_1 і A_2 – допоміжні змінні для зручності запису, що визначаються з виразів:

$$A_1 = 1 - (1 + \lambda T_к) e^{-\lambda T_к} ; \quad (19)$$

$$A_2 = (t_к + T_к) \left(\frac{1 - \beta_0 P_{\delta_{доп}}(\tau)}{1 - \beta_0} \right) . \quad (20)$$

де λ – числовий коефіцієнт.

Застосування виразу (18) дозволяє вирішувати задачі вибору раціональної стратегії процесу експлуатації ЗВТ з системами вбудованого контролю, зокрема обгрунтовування вимог до показників якості вбудованого контролю.

Задача обгрунтовування вимог до показників якості систем вбудованого контролю вперше сформульована в [13] таким чином: визначити оптимальне значення величини β_0, відповідне такому значенню $T_к$, при якому досягається необхідне значення коефіцієнта готовності $k_г$, з урахуванням параметрів деградаційного процесу зміни похибки ЗВТ. Було запропоноване вирішувати задачу графічним методом, що не дозволяло автоматизувати процес рішення.

З використанням виразу (18) для випадку "повільного" уходу похибки ЗВТ в часі одержуємо максимум коефіцієнта готовності $k_г = 0{,}769$ при $T_к = 42$ міс. (в [15] отримано, $k_г = 0{,}78$ при $T_к = 42$ міс.). **Подальші дослідження** планується направити на розробку науково-методичного апарату оцінки необхідного значення достовірності вбудованого контролю з урахуванням заходів забезпечення експлуатації СТК, що проводяться.

Висновок

В роботі сформульовано основні принципи побудови імітаційних моделей СЗЕ СТК. Запропоновано обов'язкові процедури алгоритму визначення моментів проведення періодичного контролю СТК. Встановлено, що однією з важливих процедур імітаційного моделювання СЗЕ СТК є процедура імітації достовірності контролю. Проведено оцінку якості СЗЕ на прикладі ЗВТ медичного призначення з елементами вбудованого самоконтролю. Описана в статті методика оцінки якості СЗЕ СТК дозволяє формулювати вимоги до показників якості вбудованого контролю з урахуванням реальних процесів деградації властивостей СТК, які можуть бути наперед відомими або визначеними експериментальним шляхом.

Список літератури

1. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.

2. Левин С.Ф. Эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники по техническому состоянию. Обзор. – Одесса: ОВВКИУ ПВО, 1988. – 50 с.

3. Левченко А.О. Формирование последовательности детерминированных чисел // Збірка наукових праць Севастопольського ВМІ. – 2005. – № 2.– С. 73-76.

4. Левин С.Ф. Статистический анализ систем обеспечения эксплуатации технических объектов – М.: Изд. АН СССР, 1989. – 432 с.

5. Левченко А.О. Свойства алгоритмов формирования двух детерминированных последовательностей с заданным коэффициентом корреляции // Збірка наукових праць Севастопольського ВМІ. – С.: СВМИ, 2006. – № 1.– С. 73-76.

6. Левченко А.О., Стадник И.Л. Методы оценивания достоверности идентификации состояния информационных измерительных систем // Труди Одеського національного політехнічного університету. – Одеса: ОНПУ. –

2006. – Вип. 1(20). – С. 133-136.

7. Левченко А.О. Визначення характеристик достовірності індивідуального прогнозу параметрів, оцінювання робастності та стійкості прогнозуючих ММК-алгоритмів // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Х.: ХДПУ "ПІ". – 2000. – Вип. 104. – С. 93-97.

8. Левченко А.О. Кількісні характеристики точності алгоритмів прогнозу // Збірка наукових праць Одеського інституту сухопутних військ. – Одеса: ОНПУ. – 2001. – № 6, Ч. 1. – С. 32-34.

9. Левченко А.О., Яковлев М.Ю., Фролов В.Я., Скорін Ю.І. Оптимізація технічного обслуговування і ремонту групи однотипних складних технічних комплексів під час зберігання // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х.: ХГУ «ХАИ». – 1999. – Вып. 8. – С. 135-139.

10. Левченко А.О., Бугаев С.Н., Хаджипуло Ю.Б. Можливості використання операторних моделей процесів забезпечення експлуатації // Збірка наукових праць Одеського інституту сухопутних військ. – Одеса: ОІСВ, 1999. – № 5, Ч. 1. – С. 46-52.

11. Левченко А.О., Кравчук О.І. Идентификация модели параметра потока отказов при многорежимном содержании радиотехнических средств // Науково-технічний журнал „Вісник Черкаського державного технологічного університету". – 2006. – №2. – С. 23-26.

12. Переверзев Е.С. Об одной модели отказа // Надежность и контроль качества. – 1985. – №1. – С. 24-28.

13. Чинков В.М., Спренне В.С. Математична модель метрологічного обслуговування типу військового засобу вимірювальної техніки // Матеріали семінару «Моделювання в прикладних наукових дослідженнях». – Одеса: ОІСВ. – 2006. – С. 44-47.

14. Дедков В.К. Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. – М.: Высшая школа, 1976. – 406 с.

15. Оценка эффективности и параметрический синтез метрологического обеспечения радиоаппаратуры / Под ред. Е.И. Сычева. – В/ч 55215. – 1984. – 280 с.

16. Герцбах И.Б. Модели профилактики. – М.: Сов. радио, 1969. – 216 с.

17. Сизов А.Ю. Об одном подходе к обоснованию требований к показателям качества встроенного контроля // Труды войсковой части 55215. – 1989. Вып. 14. – С. 46-51.

18. Левченко А.О., Стаднік І.Л., Кравчук О.І. Інформаційна модель процесу зміни технічного стану засобів спецрадіозв'язку на великих строках експлуатації // Збірник наукових праць Одеського інституту сухопутних військ. – Одеса: ОІСВ. – 2006. – № 11, Ч. 1. – С. 110-117.

19. Левин С.Ф. Операторная модель содержания ЗУР // Проблемы повышения эффективности обработки радиолокационных сигналов и эксплуатации РТС. – Ч.2. – Одесса: ОВВКИУ ПВО, 1982. – С. 24-26.

Надійшла до редколегії 17.09.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Л. Становський, Одеський Національний політехнічний університет, Одеса.