

УДК 621.389

В.М. Чинков, С.В. Герасимов, О.Є. Мельниченко

ДОСЛІДЖЕННЯ МАРКІВСЬКОЇ МОДЕЛІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ З УРАХУВАННЯМ ПРОМІЖНИХ КОНТРОЛЬНИХ ПЕРЕВІРОК

Наведені результати дослідження впливу проміжних контрольних перевірок на основні показники експлуатації військових засобів вимірювальної техніки з використанням марківської моделі їх експлуатації.

Постановка проблеми

Вірогідність вимірювальної інформації стосовно контрольованих параметрів озброєння і військової техніки (ОВТ), одержуваної за допомогою військових засобів вимірювальної техніки (ВЗВТ), багато в чому визначається метрологічною справністю ВЗВТ і впливає на боєздатність, ефективність і безпеку бойового застосування ВВТ [1].

Основним методом підтримки метрологічно справного стану ВЗВТ на даний час є їх метрологічне обслуговування – повірка (калібрування), які проводяться через визначені міжповірочні інтервали (МПІ) [2]. У свою чергу, рішення наукової задачі визначення оптимальної тривалості МПІ ВЗВТ, як правило, пов'язане з іншою науковою задачею – оцінюванням ефективності пропонуємого методу [3]. Таке оцінювання може бути отримано або за результатами експериментального дослідження, або шляхом застосування відповідних методів моделювання досліджуваних процесів [4].

Аналіз літератури

Аналіз відомих методів і методик коректування МПІ ЗВТ показав, що підвищення їх метрологічної надійності як правило пов'язане з проведенням визначених технічних заходів, залученням додаткових матеріальних, людських і фінансових ресурсів, що істотно знижує ефективність практично всіх розглянутих методів [5]. Відносно до ВЗВТ дана науково-технічна задача ускладнена ще і важливою особливістю експлуатації ВЗВТ – необхідністю підтримки потрібного значення коефіцієнта готовності ВЗВТ, які входять у комплект відповідного зразка ОВТ. Тому дослідження можливості істотного збільшення основних показників надійності ВЗВТ – імовірності безвідмовної роботи та коефіцієнта готовності, що досягається за допомогою проведення проміжних контрольних перевірок, стало продовженням досліджень, які проводяться авторами у даній науковій області [6 – 9].

Мета статті – дослідження впливу проміжних контрольних перевірок на основні показники експлуатації ВЗВТ (імовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності) з використанням марківської моделі.

Постановка задачі

Для оцінювання впливу проміжних контрольних перевірок ВЗВТ на зміну його ймовірності безвідмовної роботи та коефіцієнта готовності були використані дві моделі експлуатації ЗВТ: модель із заданими параметрами експлуатації, запропонована В.В. Крещуком [10], й удосконалена модель із введеним у вихідну модель новим станом, запропонована авторами, – проміжною контрольною перевіркою.

Основна частина

В удосконаленій моделі експлуатації ВЗВТ врахований стан проведення проміжних контрольних перевірок.

Розмічений граф переходів даної моделі наведений на рис. 1.

У ньому враховані такі стани ВЗВТ:

- S_1 – ВЗВТ справний, знаходиться в експлуатації;
- S_2 – настала прихована (метрологічна) відмова ВЗВТ до закінчення його МПІ;
- S_3 – настала явна відмова ВЗВТ;
- S_4 – відновлення (ремонт) несправного ВЗВТ;
- S_5 – повірка ВЗВТ;
- S_6 – справне ВЗВТ знаходиться в очікуванні ремонту (внаслідок браку повірки ВЗВТ);
- S_7 – повірка ВЗВТ з метрологічною відмовою;
- S_8 – самоповірка ВЗВТ (при наявності його метрологічної відмови);
- S_9 – відновлення (внаслідок похибки 1-го роду) справного ВЗВТ: хибний ремонт ВЗВТ;
- S_{10} – самоповірка ВЗВТ;
- S_{11} – проміжна контрольна перевірка ВЗВТ.

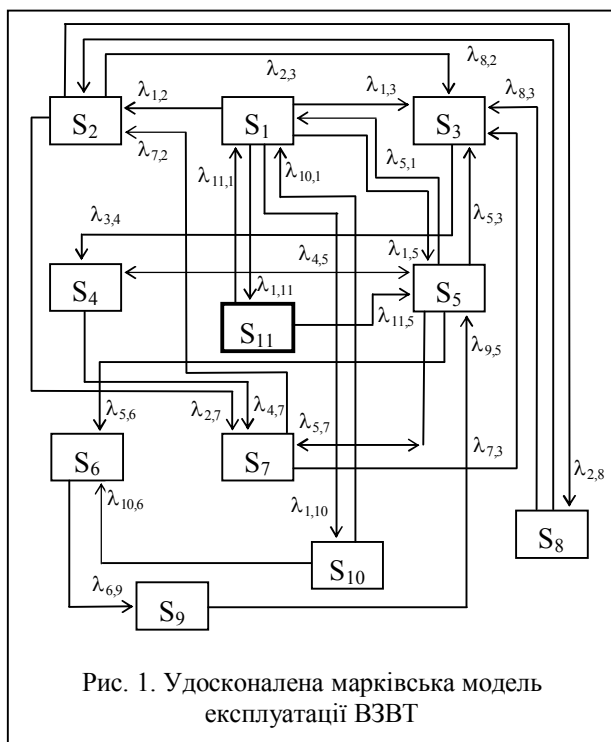


Рис. 1. Удосконалена марківська модель експлуатації ВЗВТ

Граф переходів ВЗВТ зі стану в стан, наведений на рис. 1, описується матричним диференціальним рівнянням

$$|\dot{P}(t)| = |\lambda| \cdot |P(t)|,$$

де $|\dot{P}(t)|$ – матриця-стовпець перших похідних за часом імовірностей станів моделі експлуатації ВЗВТ;

$|P(t)|$ – матриця-стовпець імовірностей станів моделі експлуатації;

$|\lambda|$ – матриця переходів моделі експлуатації.

У цьому рівнянні інтенсивності переходів приймають такі значення:

$$\lambda_{1,1} = -(\lambda_{\text{я}} + \lambda_{\text{м}} + T_{\text{мпі}}^{-1} + T_{\text{сп}}^{-1} + T_{\text{пкп}}^{-1});$$

$$\lambda_{2,2} = -(\lambda_{\text{я}} + T_{\text{мпі}}^{-1} + T_{\text{сп}}^{-1}); \quad \lambda_{3,3} = -\lambda_{\text{р}};$$

$$\lambda_{4,4} = -\tau_{\text{р}}^{-1}; \quad \lambda_{5,5} = -(\lambda_{\text{я}} + \lambda_{\text{м}} + \tau_{\text{п}}^{-1});$$

$$\lambda_{6,6} = -\tau_{\text{рл}}^{-1}; \quad \lambda_{7,7} = -\tau_{\text{п}}^{-1} + \lambda_{\text{я}};$$

$$\lambda_{8,8} = -\tau_{\text{сп}}^{-1}; \quad \lambda_{9,9} = -\lambda_{\text{вл}}; \quad \lambda_{10,10} = -\tau_{\text{сп}}^{-1};$$

$$\lambda_{11,11} = -\tau_{\text{пкп}}^{-1}; \quad \lambda_{1,5} = \lambda_{2,7} = T_{\text{мпі}}^{-1};$$

$$\lambda_{1,2} = \lambda_{\text{м}}; \quad \lambda_{2,3} = \lambda_{\text{я}};$$

$$\lambda_{1,10} = \lambda_{2,8} = T_{\text{сп}}^{-1}; \quad \lambda_{1,11} = T_{\text{мпі}}^{-1};$$

$$\lambda_{3,4} = \lambda_{\text{р}}; \quad \lambda_{3,7} = \lambda_{\text{я}} + (1 - \beta_{\text{п}})\tau_{\text{п}}^{-1};$$

$$\lambda_{3,8} = (1 - \beta_{\text{сп}})\tau_{\text{сп}}^{-1}; \quad \lambda_{4,7} = \beta_{\text{р}}\tau_{\text{р}}^{-1};$$

$$\lambda_{5,4} = (1 - \beta_{\text{р}})\tau_{\text{р}}^{-1}; \quad \lambda_{11,1} = (1 - \alpha_{\text{п}})\tau_{\text{п}}^{-1}.$$

Рішення зазначеної системи рівнянь щодо імовірностей $P_1 - P_{11}$ (для режиму, що встановився) дозволило одержати залежності цих імовірностей щодо різних параметрів експлуатації й обслуговування ВЗВТ.

Отримані значення імовірностей перебування ВЗВТ у розглянутих станах для порівнюваних моделей наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення імовірностей перебування ВЗВТ у станах, які розглядаються

Стан ВЗВТ	Імовірність перебування ВЗВТ у відповідному стані	Значення імовірностей	
		для моделі експлуатації ВЗВТ (за Крешуком)	для удосконаленої моделі експлуатації ВЗВТ
S ₁	P ₁	0,859	0,905
S ₂	P ₂	0,042	0,013
S ₃	P ₃	0,02	0,011
S ₄	P ₄	1,031×10 ⁻⁵	1,086×10 ⁻⁵
S ₅	P ₅	0,021	0,011
S ₆	P ₆	0,013	5,002×10 ⁻³
S ₇	P ₇	3,067×10 ⁻³	3,231×10 ⁻³
S ₈	P ₈	4,415×10 ⁻³	7,061×10 ⁻³
S ₉	P ₉	4,151×10 ⁻⁴	3,061×10 ⁻³
S ₁₀	P ₁₀	0,037	0,012
S ₁₁	P ₁₁	–	0,03
Значення коеф-та гот-ті ВЗВТ	$\kappa_{\text{г}} = \frac{P_1}{P_1 + P_2}$	0,953	0,986

Максимальний ефект досягається в підвищенні метрологічної надійності ВЗВТ, а саме за рахунок більш частой і якісної профілактики технічного і метрологічного стану ВЗВТ більш ніж у 3 рази зменшується імовірність перебування ВЗВТ у стані прихованої – метрологічної відмови (S₂) і майже в 2 рази – імовірність перебування в стані явної відмови (S₃).

Істотне поліпшення досягається і по другому з основних показників надійності – коефіцієнту готовності. Його значення в удосконаленій моделі експлуатації ВЗВТ підвищується з 0,953 до 0,986, тобто на 3,5 %.

Більш наочно динаміка зміни розглянутих показників надійності ВЗВТ наведена на графіках, які побудовані за отриманими значеннями (рис. 2 – 5) та віддзеркалюють залежність коефіцієнта готовності ВЗВТ від найбільш важливих параметрів процесу експлуатації ВЗВТ.

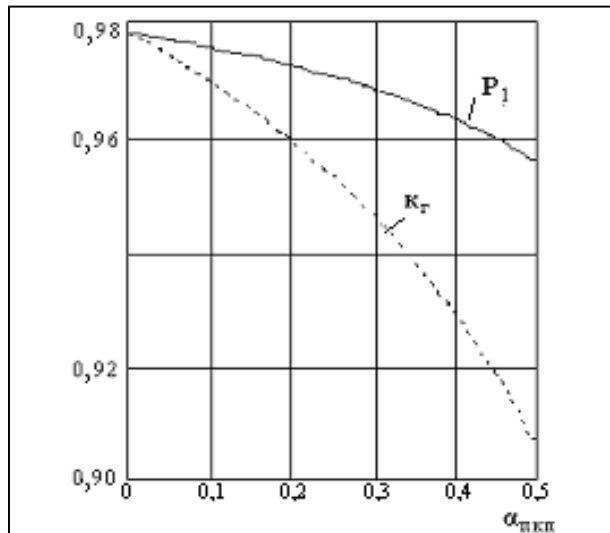


Рис. 2. Вплив похибки 1-го роду проміжних контрольних перевірок на імовірність безвідмовної роботи ВЗВТ

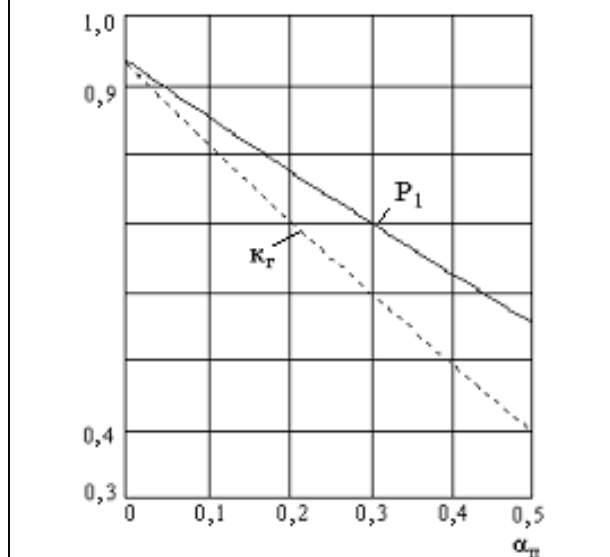


Рис. 3. Вплив похибки 1-го роду повірки на імовірність безвідмовної роботи ВЗВТ

Так, з рис. 2, 3 видно, що збільшення значення похибки 1-го роду, що допускається при проведенні проміжних контрольних перевірок ВЗВТ, не спричиняє настільки значного погіршення коефіцієнта готовності та імовірності безвідмовної роботи ВЗВТ порівняно з впливом аналогічної похибки, яка допускається при проведенні повірки ВЗВТ. Наприклад, при значенні похибки 1-го роду проміжних контрольних перевірок $\alpha_{\text{пкп}}$ рівному 0,1 значення імовірності безвідмовної роботи ВЗВТ $P_1(\alpha)$ дорівнює 0,976, а значення коефіцієнта готовності ВЗВТ K_{Γ} – 0,97. Для того ж значення похибки 1-го роду, що

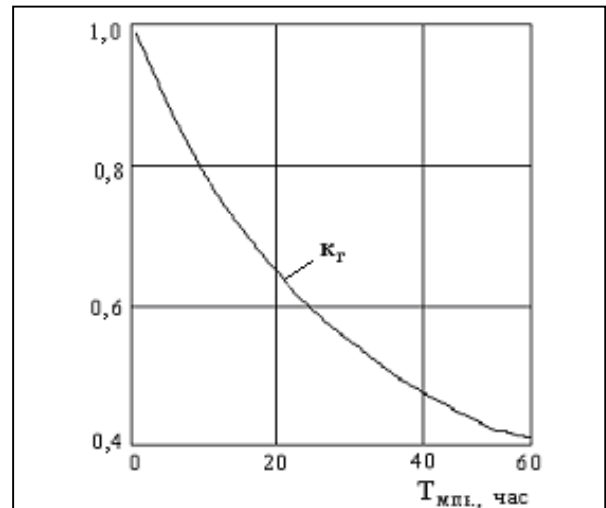


Рис. 4. Вплив періодичності метрологічного обслуговування ВЗВТ на коефіцієнт готовності (для удосконаленої моделі експлуатації)

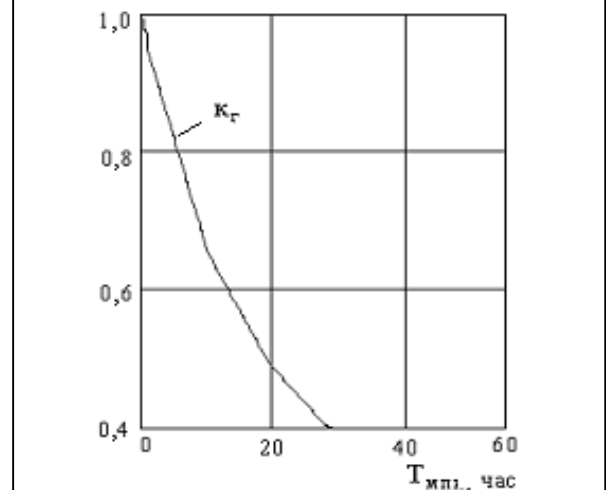


Рис. 5. Вплив періодичності метрологічного обслуговування ВЗВТ на коефіцієнт готовності без перевірки технічного стану

допускається при проведенні повірки ВЗВТ, значення імовірності безвідмовної роботи ВЗВТ $P_1(\alpha)$ дорівнює 0,86, а значення коефіцієнта готовності ВЗВТ K_{Γ} – 0,82. При цьому динаміка зміни (зменшення) значень зазначених показників надійності в першому випадку (рис. 2) носить не настільки критичний характер порівняно з іншим випадком (рис. 3).

А саме, при збільшенні похибки 1-го роду, що допускається при проведенні проміжних контрольних перевірок, в інтервалі від 0 до 0,5 зменшення імовірності безвідмовної роботи ВЗВТ складає $\approx 3,2\%$ (з 0,988 до 0,956), а зменшення значення коефіцієнта готовності ВЗВТ – $\approx 8,1\%$ (з 0,988 до 0,908). При такому ж збільшенні похибки 1-го роду,

що допускається при повірці ВЗВТ, зменшення імовірності безвідмовної роботи ВЗВТ склало біля 40 % (з 0,94 до 0,56) і зменшення значення коефіцієнта готовності ВЗВТ – ≈ 57 % (з 0,94 до 0,4).

На рис. 4, 5 наведено вплив збільшення інтервалу періодичності проведення МОБ ВЗВТ (по суті, тривалості МП) на зниження його коефіцієнта готовності. Дана залежність була розрахована для двох випадків (варіантів) експлуатації ВЗВТ: у першому випадку – із плановим МОБ ВЗВТ, але без додаткової перевірки технічного (метрологічного) стану ВЗВТ (відповідно до моделі Крещука), у другому випадку – відповідно до удосконаленої моделі, коли на додаток до планового МОБ ВЗВТ проводяться проміжні контрольні перевірки його метрологічного стану.

Як видно з наведених графіків (рис. 4, 5), наявність проміжних контрольних перевірок ВЗВТ істотно підвищує коефіцієнт готовності ВЗВТ і тим самим боєздатність зразка ОВТ, до складу якого воно входить. Так, для моделі Крещука отримані такі результати: при збільшенні $T_{\text{мпі}}$ до 10 ч значення коефіцієнта готовності ВЗВТ зменшується до 0,65, а при $T_{\text{мпі}} = 20$ ч значення коефіцієнта готовності ВЗВТ складе 0,48. При наявності ж проміжних контрольних перевірок коефіцієнт готовності ВЗВТ відповідно для $T_{\text{мпі}} = 10$ ч зменшується лише до 0,78, а при $T_{\text{мпі}} = 20$ ч значення коефіцієнта готовності ВЗВТ складе 0,65. Отже, проведення проміжних контрольних перевірок ВЗВТ дозволяє при заданому рівні коефіцієнта готовності обґрунтовано збільшувати міжповірочні інтервали ВЗВТ.

Висновки

З огляду на ефект, що досягається (істотне збільшення показників надійності ВЗВТ, а також мінімально затратувані для цього матеріальні, фінансові і людські резерви), простоту організації і реалізації методу підвищення метрологічної надійності ВЗВТ на основі проведення проміжних контрольних перевірок ВЗВТ, з одного боку, а з іншого – на незначний вплив на показники надійності ВЗВТ похибок 1-го і 2-го роду, які можуть бути допущені при проведенні проміжних контрольних перевірок, можна однозначного говорити про досить високу ефективність підвищення метрологічної надійності ВЗВТ на основі методу проміжних контрольних перевірок, а також доцільності оперативного коректування тривалості МП ВЗВТ за їх реальним поточним метрологічним станом.

Надалі планується продовжити роботу з удоско-

налювання науково-методичних основ підвищення метрологічної надійності ВЗВТ, а також всебічного дослідження взаємозв'язку показників вірогідності та ефективності їх експлуатації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Метрологическое обслуживание вооружения и военной техники войск ПВО / И.П. Чепелев, Н.Н. Шишов, В.М. Казачков и др. – М.: Воениздат, 1994. – 167 с.
2. ДСТУ 2682-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологічне забезпечення. Основні положення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 16 с.
3. Чинков В.Н., Герасимов С.В., Яковлев М.Ю. Комплексный экономический показатель эффективности метрологического обслуживания сложных технических объектов // Системи обробки інформації: Зб. наук пр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 5 (15). – С. 7 – 12.
4. Моделирование та дослідження надійності та живучості систем літальних комплексів: Методичний посібник / А.П. Батуков, В.І. Грідін, В.В. Скляр та інш. / Під ред. В.С. Харченко. – Х.: ХВУ, 2001. – 134 с.
5. Мельниченко А.Е. Анализ известных методов корректировки межповерочных интервалов средств измерительной техники // Зб. наук. пр. ХУ ПС – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 3 (43). – С. 65 – 77.
6. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Метод повышения метрологической надежности средств измерительной техники // Вісник НТУ «ХП». Темат. вип.: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ «ХП», 2003. – № 21. – С. 175 – 178.
7. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Методика оптимизации межповерочных интервалов средств измерительной техники при ограниченной информации об их метрологических отказах // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вип. 6. – С. 107 – 110.
8. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Корректировка межповерочных интервалов средств измерительной техники по показателям их надежности на основе метода контрольных проверок // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 2. – С. 168 – 171.
9. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Оптимизация корректировки межповерочных интервалов средств измерительной техники по комплексным показателям эффективности на основе метода контрольных проверок // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 3. – С. 211 – 214.
10. Крещук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 200 с.
11. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология: Учебник для вузов. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 492 с.

Надійшла 06.10.2005

Рецензент: д-р техн. наук професор Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил.