

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Реформування Збройних Сил України стосується усіх видів забезпечення, в тому числі й метрологічного забезпечення, роль якого з переходом сучасної армії на перспективні високоточні системи озброєння та військової техніки значно зростає.

В статті проаналізовані наукові роботи, спрямовані на розвиток військової метрології, та виявлено, що питання з оцінювання впливу метрологічного забезпечення на ефективність застосування озброєння та військової техніки висвітлені недостатньо.

Метою статті є розробка методики оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки.

Розроблено методику оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки шляхом побудови моделі експлуатації зразка озброєння та військової техніки з визначенням імовірності знаходження зразка в можливих станах, побудови моделі "зразок озброєння та військової техніки – засіб вимірювальної техніки" з визначенням можливої імовірності виконання зразком поставленого завдання після проведення метрологічного забезпечення, визначення показника ефективності проведення метрологічного забезпечення та розрахунку економічного коефіцієнта ефективності проведення метрологічного забезпечення.

Отримані результати дозволять аналізувати існуючі системи метрологічного забезпечення, визначити недоліки та шляхи їх усунення, синтезувати оптимальну систему метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки.

Запропонована методика оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки може бути корисною при проведенні метрологічної експертизи зразків озброєння та військової техніки, розробці методик, що дозволять визначити вплив метрологічного забезпечення на конкретні види озброєння та військової техніки та заходи з метрологічного забезпечення, що нададуть більш істотний внесок в підвищення ефективності застосування озброєння та військової техніки.

Ключові слова: озброєння та військова техніка, метрологічне забезпечення, засоби вимірювальної техніки, модель об'єкта і засоби вимірювань, показник, коефіцієнт економічної ефективності.

Вступ

Наявні сучасні загрози та виклики національній безпеці України, а це, в першу чергу, загроза територіальної цілісності і триваюча "гібридна" війна Російської Федерації проти нашої країни, потребують удосконалення підходів до формування військово-технічної політики держави з урахуванням нагальної потреби в оновленні, модернізації існуючого і створенні перспективного озброєння та військової техніки (ОВТ) Збройних Сил С України (ЗС України).

Причинами такої необхідності є і те, що переважна більшість наявного ОВТ має тривалі строки перебування в експлуатації, моральне, технічне та фізичне старіння, технічні несправності, невідповідність сучасним потребам та вимогам [1].

Постановка проблеми. В умовах непорядкованості структурних змін в організаційно-штатних структурах на етапах реформування ЗС України, практичного

застосування ОВТ в районі проведення операції об'єднаних сил ЗС України на території Донецької та Луганської областей має місце вичерпання ресурсу ОВТ, що потребує, в свою чергу, систематизації заходів щодо підтримання їх боєздатності, боєготовності та виконання завдань за призначенням.

Вдосконалення існуючих і створення перспективних видів ОВТ, форм і способів ведення бойових дій ставить підтримку боєготовності і боєздатності військ (сил) в залежність від рівня метрологічного забезпечення (МлЗ) ОВТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час існують роботи, які мають теоретичну і практичну значимість для МлЗ експлуатації зразків ОВТ [2, 3]. Разом з тим аналіз вітчизняної і зарубіжної літератури показує, що питання дослідження впливу МлЗ на ефективність застосування ОВТ недостатньо вивчене.

У роботах [6, 7] наведені різні задачі оцінки

ефективності складних систем, придатних і для системи МлЗ зразків ОВТ. Однак вони враховують не матеріальний ефект (користь) від проведення МлЗ, а лише витрати на експлуатацію зразків ОВТ, не розглядають зразки ОВТ в комплексі з засобами виміральної техніки (ЗВТ), що застосовуються при МлЗ і не враховують метрологічну надійність ЗВТ. Тому зазначені оцінки ефективності не дозволяють з високою імовірністю говорити про якість проведення МлЗ. Отже, для оцінювання ефективності проведення МлЗ експлуатації зразків ОВТ слід врахувати метрологічну надійність ЗВТ і матеріальний ефект від застосування зразків ОВТ за призначенням на основі аналізу моделі системи “зразок ОВТ – ЗВТ”.

Метою статті є розробка методики оцінювання ефективності проведення МлЗ зразків ОВТ в процесі їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Однією з основних цілей МлЗ є забезпечення ефективності застосування ОВТ. Досягнення даної мети можливо лише за умови успішного виконання певних заходів з МлЗ ОВТ на всіх стадіях життєвого циклу, починаючи від формування вихідних вимог до зразків і закінчуючи зняттям їх з експлуатації і списанням [2]. Порядок реалізації цих заходів приведений на рис. 1.

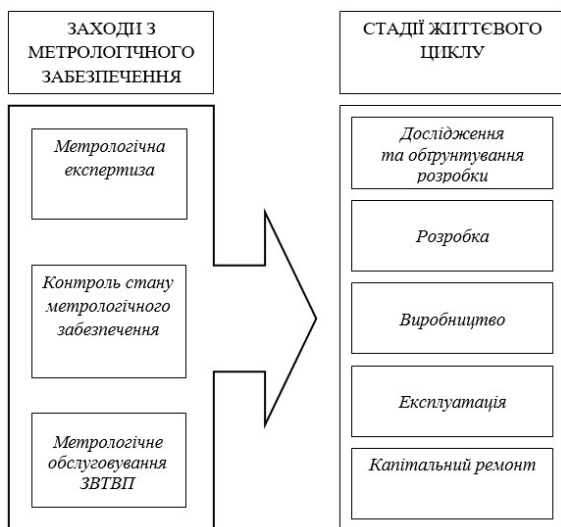


Рис. 1. Заходи з метрологічного забезпечення, що впливають на ефективність застосування озброєння та військової техніки.

Метою проведення МлЗ зразка ОВТ є знаходження обґрунтованої відповіді на питання щодо його справного стану і, відповідно, придатності до виконання поставлених перед ним

завдань. Однак не для всіх зразків ОВТ система МлЗ побудована оптимальним чином, в результаті чого вона може бути економічно не вигідною, якщо витрати на проведення МлЗ перевищують економічний ефект, отриманий від застосування зразка ОВТ за призначенням.

Тому необхідно отримати оцінки, що дозволяють проводити аналіз існуючих зразків ОВТ і синтезувати оптимальну систему МлЗ зразків ОВТ за певними комплексними показниками ефективності, зокрема за критерієм вартості [5].

Структурно-логічна схема запропонованої методики оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки приведена на рис. 2.

Слід зазначити, що вказана модель системи “зразок ОВТ – ЗВТ” є спрощеним представленням зразка ОВТ [6]. Вона відноситься до інформаційних моделей, тобто є сукупністю інформації, що характеризує істотні властивості зразка ОВТ. До істотних властивостей відносяться фізичні величини (параметри), які впливають на точність виконання зразком ОВТ завдань за призначенням. При цьому кожен параметр може приймати значення, обмежене метрологічними характеристиками засобів вимірювань. З усього переліку параметрів вибираються ті, які безпосередньо пов'язані з результатом застосування зразка ОВТ. Таким чином, при формуванні моделі “зразок ОВТ – ЗВТ” необхідно визначити параметри, що впливають на точність виконання зразком ОВТ завдання за призначенням.

Основна задача проведення МлЗ зразка ОВТ – підвищення достовірності того, що зразок ОВТ забезпечить виконання поставленого бойового завдання, тобто імовірність його справного стану після проведення МлЗ повинна бути більше, ніж до нього. Побудова математичної моделі експлуатації зразка ОВТ дозволяє визначити імовірність його знаходження в кожному з можливих станів, наприклад, в справному стані експлуатації або в стані експлуатації з прихованою відмовою [7]. Тоді без проведення МлЗ імовірність того, що зразок ОВТ перед застосуванням за призначенням буде справним, відповідає імовірності знаходження зразка в справному стані моделі експлуатації, P_C .

Визначимо імовірність справного стану зразка ОВТ після проведення МлЗ $P_C^{MлЗ}$, використовуючи модель “зразок ОВТ – ЗВТ”:

$$P_C^{MлЗ} = P_C [K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{MлЗ} + (1 - K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{MлЗ}) P_B] + (1 - P_C) P_B, \quad (1)$$

де: $K_{ЗВТ}$ – нормований коефіцієнт, що характеризує метрологічну справність ЗВТ, зазвичай $K_{ЗВТ} = 0,6 \dots 0,8$ [8];

$P_{ЗВТ}$ – імовірність справного стану ЗВТ;

$P_{MлЗ}$ – імовірність справного стану зразка ОВТ при проведенні МлЗ;

P_B – імовірність відновлення несправного зразка ОВТ шляхом проведення регулювальних робіт або ремонту.

З урахуванням виразу (1), введемо показник ефективності проведення МлЗ зразків ОВТ $K_{МлЗ}$ у вигляді відношення:

$$K_{МлЗ} = \frac{P_C^{МлЗ}}{P_C} = \frac{(P_C [K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{МлЗ} + (1 - K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{МлЗ}) P_i] + (1 - P_C) P_B)}{P_C}, \quad (2)$$

Особливістю отриманого виразу (2) є врахування метрологічної надійності ЗВТ, що застосовуються при МлЗ зразків ОВТ.

витрати на його проведення. Тому необхідно змінити вимоги до системи МлЗ зразків ОВТ, наприклад, застосувати більш точні методи вимірювань або ЗВТ, оптимізувати періодичність проведення перевірки ЗВТ для підвищення його метрологічної надійності, застосувати більш ефективні методи при проведенні відновлення несправних зразків ОВТ.

Очевидно, якщо $K_{МлЗ} > 1$, то проведення МлЗ підвищує достовірність справного стану зразка ОВТ і його параметри обрані правильно. При $K_{МлЗ} < 1$ проведення МлЗ знижує імовірність справного стану зразка ОВТ і збільшує часові

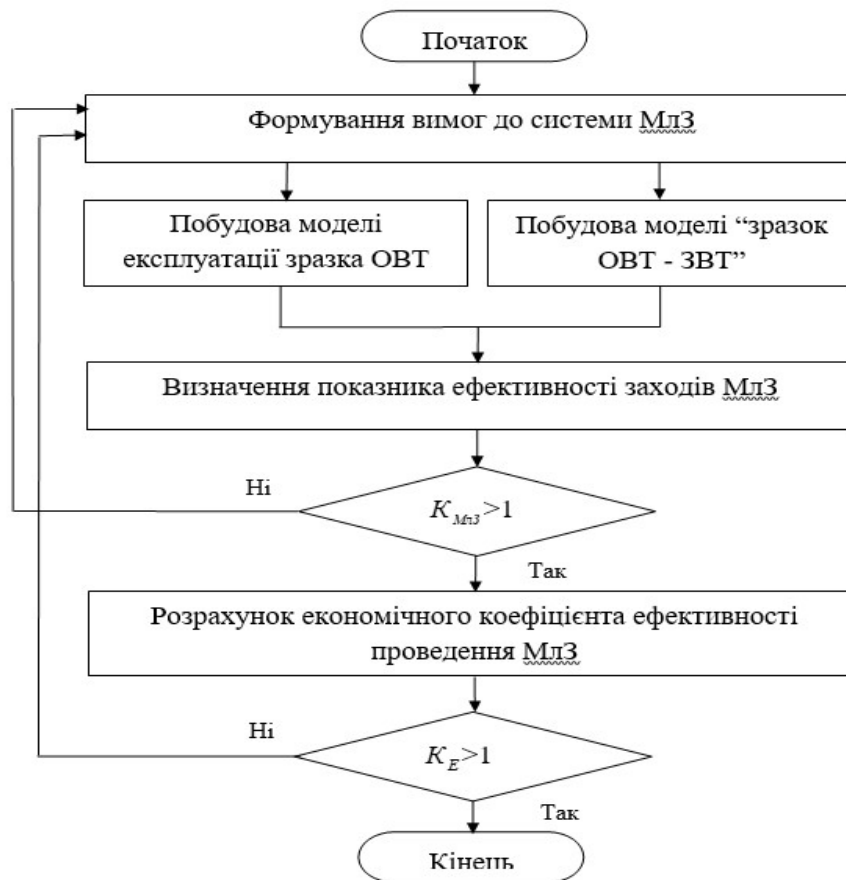


Рис. 2. Структурно-логічна схема методики оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки

Відмова від проведення МлЗ може привести до того, що до експлуатації буде допущений несправний зразок ОВТ, а отже, буде завдано певної матеріальної шкоди. З іншого боку, відмова від проведення МлЗ зменшує вартість експлуатації зразка ОВТ на величину, яка визначається витратами на проведення його МлЗ.

ОВТ за призначенням без проведення МлЗ і при його проведенні відповідно.

Введемо коефіцієнт економічної ефективності проведення МлЗ:

При $K_E > 1$ витрати при застосуванні зразка ОВТ за призначенням більше витрат на проведення МлЗ і воно економічно доцільне, а якщо $K_E < 1$, то необхідно переглянути економічні вимоги до системи МлЗ, тобто зменшити вартість проведення метрологічних операцій.

$$K_E = \frac{C_E}{C_E^{МлЗ}},$$

Визначимо значення функцій економічного ефекту $C_E^{МлЗ}$, C_E .

де: C_E , $C_E^{МлЗ}$ – витрати при застосуванні зразка

Функцію економічного ефекту від застосування зразка ОВТ за призначенням $C_{EФ}$ представимо у вигляді:

$$C_{EF} = K_{OBT}C^+ - (1 - K_{OBT})C^- - C_{OBT}, \quad (3)$$

де: C^+ – вартість економічного ефекту (користі), як результату застосування зразка ОВТ за призначенням, грн.;

C^- – вартість завданого матеріального збитку при відмові від проведення метрологічних операцій (вартість експлуатації несправного зразка), грн.;

C_{OBT} – величина, що визначає сумарні витрати на експлуатацію зразків ОВТ, грн.;

K_{OBT} – коефіцієнт, який враховує факт виконання зразком ОВТ поставленої перед ним задачі і залежить від параметрів експлуатації зразка ОВТ.

Розглянемо граничні умови для виразу (3).

При $K_{OBT} = 1$, вираз (3) буде мати вигляд:

$$C_{EF} = C^+ - C_{OBT},$$

тобто при виконанні зразком ОВТ поставленого завдання функція економічного ефекту представляє економічний ефект (користь) від його застосування за призначенням, виключаючи витрати на експлуатацію зразка ОВТ.

При $K_{OBT} = 0$, вираз (3) буде мати вигляд:

$$C_{EF} = -C^- - C_{OBT},$$

де знак “мінус” показує, що при невиконанні зразком ОВТ поставленого завдання шкода складе величину матеріальних втрат, пов'язаних з невиконанням зразка поставленого завдання і витрат на його експлуатацію.

Визначимо значення коефіцієнта K_{OBT} при проведенні МлЗ зразків ОВТ $K_{OBT}^{МлЗ}$ і без його проведення K_{OBT} відповідно:

$$K_{OBT}^{МлЗ} = P_C^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi}, \quad (4)$$

$$K_{OBT} = P_C K_{\Pi} K_{\Phi}, \quad (5)$$

$$C_{EF}^{МлЗ} = P^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - (C_{OBT} - C_{МлЗ});$$

$$C_{EF} = K_{OBT} C^+ - (1 - K_{OBT}) C^- - C_{OBT} = P_C K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - C_{OBT}.$$

Підставивши ці співвідношення в формулу (3), маємо:

$$K_{EF} = \frac{P^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - (C_{OBT} - C_{МлЗ})}{P_C K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - C_{OBT}}, \quad (7)$$

Спростивши цю формулу і використовуючи вираз (2), отримаємо умову для синтезу оптимальної системи МлЗ зразка ОВТ в процесі його експлуатації:

$$\frac{C^+ + C^-}{C_{МлЗ}} > \frac{1}{(P_C^{МлЗ} - P_C) K_{\Pi} K_{\Phi}}$$

Так як імовірності $P_C^{МлЗ}$, P_C і значення коефіцієнтів K_{Π} , K_{Φ} можуть набувати значень в діапазоні $[0,1]$, то:

де: K_{Π} , K_{Φ} – числові коефіцієнти, що визначають рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу зразка ОВТ і рівень впливу зовнішніх факторів на застосування зразка ОВТ за призначенням відповідно (змінюються в діапазоні від 0 до 1 і визначаються на підставі даних, отриманих методом експертних оцінок).

Витрати на експлуатацію зразка ОВТ пропонується визначати, як сумарні витрати на його перебування в станах моделі експлуатації та на переходи між ними і розраховувати за допомогою виразу:

$$C_{OBT} = \sum_{i=1}^N C_i P_i(X) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} P_i P_{ij}(X), \quad (6)$$

де: C_i , C_{ij} – грошові затрати на експлуатацію зразка ОВТ відповідно при перебуванні його в i -му стані, $i = \overline{1, N}$, і при переході з i -го стану в j -ий стан, $j = \overline{1, N}$;

N – число станів моделі експлуатації зразка ОВТ, що розглядається;

X – вектор параметрів експлуатації зразка ОВТ (наприклад, періодичність проведення МлЗ, напрацювання на відмову);

P_i – імовірність перебування зразка ОВТ в i -му стані;

P_{ij} – імовірність переходів зразка ОВТ з i -го стану в j -ий стан.

Імовірності тісно пов'язані з вектором параметрів X , тому отримана функція (6) залежить від параметрів процесу експлуатації зразка ОВТ, в тому числі і від параметрів МлЗ (наприклад, чим менше періодичність перевірки об'єкта, тим більше витрати на його обслуговування тощо).

З урахуванням виразів (3)–(5) функції економічного ефекту при проведенні МлЗ і без нього відповідно запишемо у вигляді:

$$\frac{(C^+ + C^-)}{C_{МлЗ}} > 1 \quad (8)$$

З нерівності (8) видно, що система МлЗ зразка ОВТ побудована вірно тільки тоді, коли економічний ефект від застосування зразка ОВТ за призначенням більше витрат на проведення МлЗ. У цьому випадку проведення МлЗ зразка ОВТ економічно доцільно, в протилежному випадку система МлЗ зразка ОВТ побудована не оптимально.

Використовуючи отримані результати, пропонується методика оцінювання ефективності проведення МлЗ зразка ОВТ в процесі його експлуатації, яка складається з наступних етапів:

1. Формування вимог до системи МлЗ;

2. Побудова моделі експлуатації зразка ОВТ і визначення імовірності знаходження зразка в можливих станах;

3. Побудова моделі “зразок ОВТ - ЗВТ” та визначення можливої імовірності виконання зразком ОВТ поставленого завдання після проведення МлЗ;

4. Визначення показника ефективності проведення МлЗ і перевірка виконання умови (2):

а) якщо умова (2) не виконується, то необхідно, змінюючи параметри системи МлЗ зразка ОВТ, домогтися того, щоб показник ефективності був більше 1;

б) якщо умова (2) виконується, переходимо до наступного етапу.

5. Розрахунок економічного коефіцієнта ефективності проведення МлЗ за формулою (7) і перевірка виконання умови (8):

а) якщо умова (8) виконується, то вибрані економічні параметри системи МлЗ зразка ОВТ задовольняють;

б) при невиконанні умови (8) необхідно, змінюючи економічні параметри системи МлЗ зразка ОВТ і скорочуючи витрати на проведення

МлЗ, вибрати їх такими, при яких виконується умова (8).

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонована методика оцінювання ефективності проведення МлЗ зразків ОВТ в процесі експлуатації, дозволяє оцінити вплив МлЗ на ефективність застосування ОВТ. Отримані результати дозволяють аналізувати існуючі системи МлЗ зразків ОВТ, визначати їх недоліки та шляхи усунення, синтезувати оптимальну систему МлЗ зразків ОВТ.

Запропонована методика оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки може бути корисною при проведенні метрологічної експертизи зразків ОВТ. При цьому зазначена методика створює методичну основу для розробки методик, що дозволяють визначати вплив МлЗ на конкретні види ОВТ, та визначати заходи МлЗ, які надають більш істотний внесок в ефективність застосування ОВТ.

Література

1. Про схвалення Основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 червня 2017 року № 398-р. [Електронний ресурс]: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/398-2017-p#Text>.
2. Емельянов А.А. Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники / Емельянов А.А., Привознов Л.К., Шишов Н.Н. — Харьков: ВИРТА, 1985. — 338 с.
3. Сычѳв Е.И. Основы метрологии военной техники / Сычѳв Е.И., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. — М.: Министерство обороны, 1993. — 396 с.
4. Шерстобитов С.А. Методика формирования требований к системе контроля функционирования автоматизированного места по проверке средств

измерений / С. А. Шерстобитов // Информатика и системы управления. — 2017. — № 1 (51). — С. 95–99.
5. Чуев Ю.В. Технические задачи исследования операций / Ю. В. Чуев, Г. П. Спехова — М.: Советское радио, 1971. — 244 с.
6. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Барзилович Е. Ю. — М: Высшая школа, 1982. — 232 с.
7. Крещук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий / Крещук В.В. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 200 с.
8. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений / А.Э. Фридман // Измерительная техника. — 1991. — № 11. — С. 3-10.

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Николай Викторович Швец

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

Реформирование Вооруженных Сил Украины касается всех видов обеспечения, в том числе и метрологического обеспечения, роль которого с переходом современной армии на перспективные высокоточные системы вооружения и военной техники значительно возрастает.

В статье проанализированы научные работы, направленные на развитие военной метрологии, и выявлено, что вопросы по оценке влияния метрологического обеспечения на эффективность применения вооружения и военной техники освещены недостаточно.

Целью статьи является разработка методики оценки эффективности метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники.

Разработана методика оценки эффективности метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники путем построения модели эксплуатации образца вооружения и военной техники с определением вероятности нахождения образца в возможных состояниях, построения модели "образец вооружения и военной техники - средство измерительной техники" с определением возможной вероятности выполнения образцом поставленной задачи после проведения метрологического обеспечения, определения показателя эффективности проведения метрологического

обеспечения и расчета экономического коэффициента эффективности проведения метрологического обеспечения.

Полученные результаты позволят анализировать существующие системы метрологического обеспечения, определять недостатки и пути их устранения, синтезировать оптимальную систему метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники.

Предложенная методика оценки эффективности метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники может быть полезной при проведении метрологической экспертизы образцов вооружения и военной техники, разработке методик, которые позволят определять влияние метрологического обеспечения на конкретные виды вооружения и военной техники и мероприятия по метрологическому обеспечению, которые предоставят более существенный вклад в повышение эффективности применения вооружения и военной техники.

Ключевые слова: вооружение и военная техника, метрологическое обеспечение, средства измерительной техники, модель объекта и средства измерений, показатель, коэффициент экономической эффективности.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF METROLOGICAL SUPPORT OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT OPERATION

Mykola Shvets

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine

Reforming the Armed Forces of Ukraine concerns all types of support, including metrological support, the role of which is increasing significantly with the transition of the modern army to promising high-precision weapons systems and military equipment.

Scientific works aimed at the development of military metrology were analyzed in the article and it was revealed that the issue of assessing the impact of metrological support on the effectiveness of weapons and military equipment was insufficiently covered.

The purpose of the article is to develop a methodology for assessing the effectiveness of metrological support of weapons and military equipment operation.

A methodology for assessing the effectiveness of metrological support of weapons and military equipment operation has been developed by building a model of weapon and military equipment operation with determination of the probability of finding the sample in possible states, building a model "weapons and military equipment sample - measuring equipment means" with determination of the possible probability of the sample performing the assigned task after metrological support, determination of the metrological support effectiveness indicator and calculation of the economic efficiency coefficient of metrological support.

The obtained results will allow to analyze the existing metrological support systems, to determine the weaknesses and ways to eliminate them, to synthesize an optimal system of metrological support for the weapons and military equipment operation.

The proposed methodology for assessing the effectiveness of metrological support for the weapons and military equipment operation may be useful in conducting metrological examination of weapons and military equipment, developing techniques that will determine the impact of metrological support for specific types of weapons and military equipment and metrological assessments that will provide more substantial contribution to increasing the efficiency of weapons and military equipment.

Key words: weapons and military equipment, metrological support, measuring equipment means, model of object and measurement tools, indicator, economic efficiency coefficient.

References

1. Pro shvalennya Osnovnih napryamiv rozvitu ozbroEnnya ta vlyskovoYi tehnik na dovgostrokoviyy perIod : rozporядzhennya Kabinetu MinIstrIv UkraYini vId 14 chervnya 2017 roku № 398-r. [Elektronniy resurs]: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/398-2017-r#Text>.
2. Emelyanov A.A. Metrologicheskoe obespechenie vooruzheniya i voennoy tehniki / Emelyanov A.A., Privoznov L.K., Shishov N.N. — Harkov: VIRTА, 1985. — 338 s.
3. SyichYov E.I. Osnovyi metrologii voennoy tehniki / SyichYov E.I., Hramenkov V.N., Shkitin A.D. — M.: Ministerstvo oborony, 1993. — 396 s.
4. Sherstobitov S. A. Metodika formirovaniya trebovaniy k sisteme kontrolya funktsionirovaniya avtomatizirovannogo mesta po poverke sredstv izmereniy / S. A. Sherstobitov // Informatika i sistemy upravleniya. — 2017. — № 1 (51). — S. 95–99.
5. Chuev Yu.V. Tehnicheskie zadachi issledovaniya operatsiy / Yu. V.Chuev, G. P. Spehova.— M. : Sovetskoe radio, 1971. — 244 s.
6. Barzilovich E. Yu. Modeli tehničkog obsluzhivaniya slozhnyih sistem / Barzilovich E. Yu. — M: Vysshaya shkola, 1982. — 232 s.
7. Kreschuk V.V. Metrologicheskoe obespechenie ekspluatatsii slozhnyih izdeliy / Kreschuk V.V. — M.: Izdatelstvo standartov, 1989. — 200 s.
8. Fridman A.E. Teoriya metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmereniy / A.E. Fridman // Izmeritelnaya tehnika. — 1991. — № 11. — S. 3-10.