

УДК 621.396

М.Ю. Яковлев

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

## ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЮ НАДІЙНІСТЮ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті розроблено основні вимоги до показників ефективності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення. Сформовано й обґрунтовано комплекс показників ефективності, критерій і узагальнений показник ефективності, що використовуються при оцінюванні ефективності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення.

**Ключові слова:** ефективність, управління, метрологічна надійність, показники, критерій, засоби вимірювальної техніки військового призначення, метрологічне забезпечення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Проблема вдосконалення метрологічного забезпечення (МЗ) Збройних Сил (ЗС) України в сучасних умовах їх розвитку є одною з актуальних наукових проблем [1, 2].

Особлива увага у вирішенні цієї проблеми приділяється питанням оцінювання ефективності управління метрологічною надійністю (МН) засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП).

**Аналіз літератури.** Останніми роками проведена серйозна робота по окремих питаннях вдосконалення управління МН ЗВТ та ЗВТВП, запропоновані достатньо ефективні методи рішення [3, 4]. Проте попередні дослідження не мали системного характеру, а вирішували часткові завдання. Аналіз робіт, присвячених методам оцінювання ефективності управління МН ЗВТ, показує, що далеко не всі вони знаходять широке застосування для ЗВТВП, запропоновані методики не завжди є оптимальними, оскільки не враховують взаємного впливу всіх типових стратегій застосування ЗВТВП.

**Мета статті.** Розробити основні вимоги до показників ефективності управління МН ЗВТВП. Сформувати й обґрунтувати комплекс показників ефективності, критерій і узагальнений показник ефективності, що використовуються при оцінюванні ефективності управління МН ЗВТВП.

### Основний матеріал

#### 1. Оцінювання ефективності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення

Ефективність управління об'єктом характеризує ступінь досягнення мети об'єктом управління в ході операції. У статті під об'єктом управління розглядаються процеси забезпечення метрологічної справності ЗВТВП. Процеси управління МН

ЗВТВП, а також дії по досягненню необхідної якості управління МН ЗВТВП поєднуються терміном метрологічні операції. Отже, при розгляді ефективності управління МН ЗВТВП необхідно оцінити ефективність самих метрологічних операцій [5].

Дослідження ефективності управління МН ЗВТВП можуть проводитися для розв'язання двох груп задач [5]: 1) оцінювання ефективності метрологічних операцій; 2) вибору оптимальних рішень.

Оцінювання ефективності метрологічних операцій передбачає формулювання мети, вибір і обґрунтування показників ефективності й обчислення їх значень для заданих умов і стратегії управління МН ЗВТВП. Оцінювання ефективності метрологічних операцій використовується при розв'язанні наступних задач:

- встановлення стану управління МН ЗВТВП;
- аналіз впливу факторів, що впливають на ефективність управління МН ЗВТВП;
- виявлення внеску елементів системи МЗ в ефективність управління МН ЗВТВП;
- пошук шляхів і способів підвищення ефективності управління МН ЗВТВП.

Задачі оцінювання ефективності управління МН ЗВТВП припускають додатково формування критерію ефективності управління МН, на підставі якого вибирається найкращий варіант дій особи, що приймає рішення.

Як міру ефективності операції, тобто міру ступеня відповідності реального результату операції необхідному, використовують показник ефективності. Показник ефективності формально вводиться як математичне очікування функції відповідності реальних результатів операції до її мети  $f_v$  [5]:

$$K_{\text{умн}} = M[f_v(R, R_M)], \quad (1)$$

де  $R$  – вектор параметрів результату операції;

$R_M$  – вектор параметрів цілепокладання.

У цей час, при розв'язанні задач оцінювання

ефективності в області МЗ використовуються різні показники ефективності [3, 4, 6]. Однак зазначені показники є скалярними, тобто, ефективність операції характеризується одним показником. Метрологічні операції по своїй природі є комплексні, враховуючі різні аспекти функціонування ЗВТВП, тому їхня ефективність не може характеризуватися за допомогою одного показника ефективності. Мета метрологічних операцій досягається розв'язанням багатьох задач, ефективність кожної з яких оцінюється відповідним частковим показником, при цьому згорнути ці показники в один узагальнений вдається далеко не завжди. Тому, доцільне введення векторного показника ефективності управління МН ЗВТВП:

$$K_{y_{MN}} = \langle K_{y_1}, K_{y_2}, \dots, K_{y_i}, \dots, K_{y_{N_{Mo}}} \rangle, \quad (2)$$

де  $K_{y_{mi}}$  – частковий показник ефективності  $i$ -ї метрологічної операції;  $i = 1, N_{Mo}$ ;  $N_{Mo}$  – кількість метрологічних операцій.

Управління МН ЗВТВП можна представити як частину процесу їх експлуатації, спрямованого на досягнення глобальної мети – підтримка ЗВТВП в справному стані й готовності до застосування за призначенням. Тому ефективність управління МН ЗВТВП визначається не тільки властивостями системи МЗ, але і його корисністю для системи експлуатації ЗВТВП. Отже, показник ефективності управління МН повинен відображати вплив управління МН на ефективність експлуатації ЗВТВП.

Розглянемо основні фактори, що впливають на ефективність управління МН ЗВТВП. На ефективність управління МН ЗВТВП впливає множина факторів, які можна об'єднати в три основні групи: якість сил та засобів МЗ ЗВТВП, тобто елементів структури системи МЗ; форми й способи їхнього застосування, що становлять стратегію управління МН ЗВТВП; умови обстановки, що обумовлені особливостями об'єктів вимірювань, системи експлуатації ЗВТВП і впливом зовнішніх факторів.

Для одержання показника ефективності необхідно встановити динамічний взаємозв'язок між властивостями управління МН ЗВТВП, способами й умовами проведення операції, й метою, обумовленою системою експлуатації ЗВТВП.

Основними властивостями управління МН ЗВТВП, що найбільш впливають на його ефективність, є оперативність, інформативність, економічність, мобільність і автономність. Інформативність характеризує здатність системи МЗ одержувати досить повні відомості про стан ЗВТВП, оперативність – швидкість, своєчасність одержання й подання вимірювальної інформації в систему управління МН ЗВТВП. Економічність відображає витрати матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів на виконання операцій управління МН ЗВТВП. Мобіль-

ність визначає можливість передавання розмірів фізичних величин переважно на виїзді, мобільними комплексами, а автономність – часткова (або повна) незалежність від Державної метрологічної служби.

Варто підкреслити, що зазначені властивості управління МН ЗВТВП тісно взаємозалежні. Оперативність управління МН ЗВТВП залежить від його інформативності, тому що на одержання інформації необхідний певний час, а також від мобільності. У свою чергу, помилки в прийнятті рішень, обумовлені недостатністю інформації, приводять до зниження готовності ЗВТВП, витратам часу на проведення поглибленого контролю. Економічність управління МН залежить від його інформативності, оперативності, мобільності й автономності, що пов'язане з витратами матеріальних і трудових ресурсів на створення відповідних технічних засобів і на їхню експлуатацію.

Однак властивості управління МН ЗВТВП перебувають не тільки в єдності, але й у протиріччі. Поліпшенню одного із цих властивостей неминуче перешкоджають два інших. Співвідношення між ними не залишається незмінним, воно залежить від якості рішення задач синтезу системи МЗ, етапу, умов і стратегії експлуатації.

Мірою інтенсивності прояву властивостей управління МН ЗВТВП є показники оперативності  $K_O$ , інформативності  $K_I$ , економічності  $K_E$ , мобільності  $K_M$  й автономності  $K_A$ . Оперативність, інформативність, економічність, мобільність й автономність управління МН залежать від якості засобів МЗ ЗВТВП, стратегії їхнього застосування, особливостей ЗВТВП і технології їхньої експлуатації, а також від умов обстановки, протидії супротивника тощо) (рис. 1):

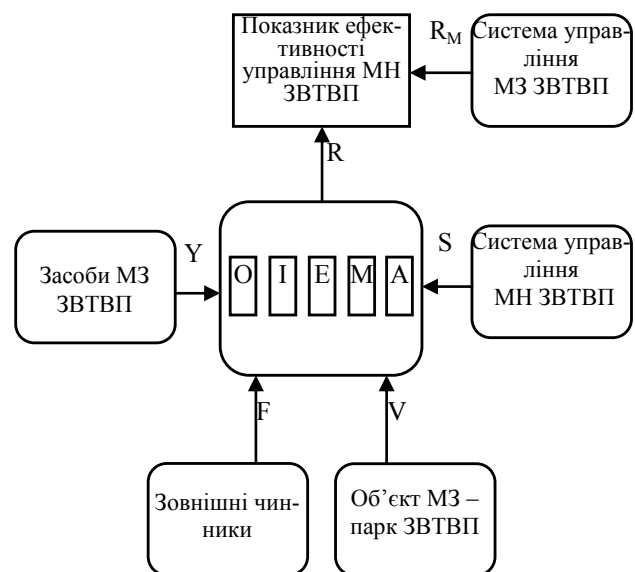


Рис. 1. Чинники, що впливають на ефективність управління МН ЗВТВП

$$\begin{aligned} K_O &= K_O(Y, S, F, V); \\ K_I &= K_I(Y, S, F, V); \\ K_E &= K_E(Y, S, F, V); \\ K_M &= K_M(Y, S, F, V); \\ K_A &= K_A(Y, S, F, V), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $Y$  – вектор показників якості засобів управління МН;  $S$  – вектор показників, що характеризують стратегію управління МН;  $F$  – вектор показників інтенсивності чинників, що впливають;  $V$  – вектор показників властивостей об'єктів управління МН.

Вектор параметрів результату управління МН ЗВТВП представимо у вигляді:

$$R = \langle K_O, K_I, K_E, K_M, K_A \rangle. \quad (4)$$

Вектор параметрів цілепокладання  $R_M$  визначається необхідними значеннями показників оперативності  $K_O^o$ , інформативності  $K_I^o$ , економічності  $K_E^o$ , мобільності  $K_M^o$  й автономності  $K_A^o$ , що задаються системою управління МЗ ЗВТВП:

$$R_M = \langle K_O^o, K_I^o, K_E^o, K_M^o, K_A^o \rangle. \quad (5)$$

Для одержання узагальненого показника ефективності управління МН у вигляді (2) необхідно:

1. Сформулювати мету управління МН ЗВТВП, визначити вектор параметрів цілепокладання  $R_M$ , задати його кількісні характеристики.

2. Установити основні властивості засобів МЗ  $Y$ , що впливають на ефективність управління МН ЗВТВП.

3. Задати тип і параметри стратегії управління МН ЗВТВП  $S$ .

4. Визначити основні властивості ЗВТВП й технології їх експлуатації  $V$ , що впливають на ефективність управління МН ЗВТВП.

5. Виявити фактори  $F$ , що впливають на систему МЗ.

6. Установити залежність показників оперативності, інформативності, економічності, мобільності й автономності управління МН ЗВТВП від показників властивостей засобів МЗ ЗВТВП, характеристик ЗВТВП і технології їхньої експлуатації, параметрів стратегії їхнього застосування і чинників, що впливають.

7. Визначити характер залежності результатів  $R$  управління МН ЗВТВП від показників оперативності, інформативності, економічності, мобільності й автономності.

8. Вибрати функцію відповідності  $f_b$  результатів  $R$  операції до мети  $R_M$  і одержати співвідношення для показника ефективності  $K_{умн}$ .

Нааявність узагальненого показника ефективності управління МН ЗВТВП, а також формування

критерію ефективності для вибору найкращої стратегії управління МН є необхідною умовою успішного розв'язання задачі оцінювання ефективності управління МН ЗВТВП.

## 2. Визначення вимог до показників ефективності управління метрологічною надійністю засобів виміральної техніки військового призначення

Відповідно до принципу досягнення максимального ефекту при завданні кількісних вимог до показників ефективності управління МН ЗВТВП необхідно досягти найвищої ефективності управління МН ЗВТВП. Розглянута задача може бути сформульована як задача математичного програмування:

$$K_O^o, K_I^o, K_E^o, K_M^o, K_A^o : \max K_{умн}(K_O, K_I, K_E, K_M, K_A), \quad (6)$$

$$K_O \in K_O^{pp}, K_I \in K_I^{pp}, K_E \in K_E^{pp},$$

$$K_M \in K_M^{pp}, K_A \in K_A^{pp}.$$

В якості цільової функції використовується показник ефективності управління МН ЗВТВП  $K_{умн}$ ; змінними параметрами є показники його властивостей – оперативності  $K_O$ , інформативності  $K_I$ , економічності  $K_E$ , мобільності  $K_M$  й автономності  $K_A$ ; область припустимих значень параметрів оптимізації характеризується значеннями  $K_O^{pp}, K_I^{pp}, K_E^{pp}, K_M^{pp}, K_A^{pp}$ ; оптимальному значенню відповідають  $K_O^o, K_I^o, K_E^o, K_M^o, K_A^o$ .

Однак параметри  $K_O, K_I, K_E, K_M, K_A$  не є незалежними. Крім того, не менш важним є те, що розглянута система МЗ ЗВТВП призначена для реалізації на вже існуючих об'єктах ОВТ зі сформованою системою експлуатації ЗВТВП. Ця обставина є визначальною для значної кількості показників, вони задаються вимогами метасистеми й не можуть бути змінними.

Для одержання більш точного й повного виразу для оцінювання ефективності управління МН ЗВТВП необхідно використовувати модель МЗ ЗВТВП, що враховувала б всі можливі показники, які характеризують ефективність управління МН ЗВТВП, різні режими їхньої експлуатації з урахуванням впливу зовнішніх факторів. Побудова такої моделі ускладнена рядом причин:

1. Надмірна складність моделі МЗ ЗВТВП через велику кількість показників ефективності управління МН ЗВТВП.

2. Різномірність фізичних величин, що описують різні показники ефективності управління МН ЗВТВП.

3. Взаємна залежність окремих показників ефективності управління МН.

Перелічені вище обмеження унеможливають розв'язання задачі в постановці (6).

Для розв'язання задачі оцінювання ефективності управління МН ЗВТВП необхідно із множини показників управління МН ЗВТВП вибрати такі, які задовольняють наступним вимогам:

1. Є найбільш узагальненими.
2. Досить повно характеризують ефективність управління МН ЗВТВП.
3. При даному розгляді їх можна вважати незалежними.
4. Вони не повинні бути задані вимогами метасистеми й можуть бути змінними.
5. Часткові показники ефективності управління МН ЗВТВП повинні істотно впливати на узагальнений показник ефективності [6].

**3. Показники ефективності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення**

**3.1. Показники оперативності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення.** Оперативність – властивість управління МН ЗВТВП, що характеризує швидкість і своєчасність одержання й подання в систему управління МЗ військ інформації про стан ЗВТВП. Показник оперативності повинен відображати сумарні витрати часу на управління МН ЗВТВП і їхній вплив на ефективність МЗ ЗВТВП. Зокрема, узагальнений показник оперативності управління МН ЗВТВП представимо співвідношенням [4]:

$$K_O = \frac{K_O^P}{K_O^I}, \quad (7)$$

де  $K_O^P$ ,  $K_O^I$  – показники ефективності реального й ідеального по оперативності управління МН ЗВТВП відповідно.

Ідеальне по оперативності управління МН ЗВТВП припускає нульові витрати часу на управління їх МН при 100%-ній надійності ЗВТВП.

Визначення узагальненого показника оперативності управління МН здійснюється з використанням комплексу математичних моделей експлуатації ЗВТВП. Для визначення часткових показників оперативності управління МН розглянемо властивість оперативності більш детально. Схема, що розкриває показники оперативності управління МН і їхнього взаємозв'язку, представлена на рис. 2.

Оперативність, як властивість управління МН ЗВТВП, по-перше, характеризується швидкодією управління  $K_{Oш}$ , тобто наскільки швидко буде здійснюватись управління МН ЗВТВП. Цей показник залежить від наступних факторів:

1. Часових характеристик засобів МЗ  $K_{Oмз}$ : тривалості калібрування  $\tau_{кл}$ ; тривалості метрологі-

чної перевірки  $\tau_{мп}$ ; тривалості ремонту  $\tau_{рем}$ ; тривалості технічного обслуговування  $\tau_{то}$ ; тривалості метрологічної атестації  $\tau_{ма}$ ; тривалості зберігання  $\tau_{зб}$ ; тривалості первинного калібрування  $\tau_{пкл}$ ; тривалості первинної метрологічної перевірки  $\tau_{пмп}$ ; тривалості транспортування  $\tau_{тр}$ ; інтенсивності відновлення  $\lambda_{рем}$ ; кількості ЗВТВП, що обслуговуються одночасно в метрологічних частинах та підрозділах (МЧП)  $N_{мп}$ ; кількості ЗВТВП, що ремонтуються одночасно на підприємстві промисловості  $N_{рем}$ .

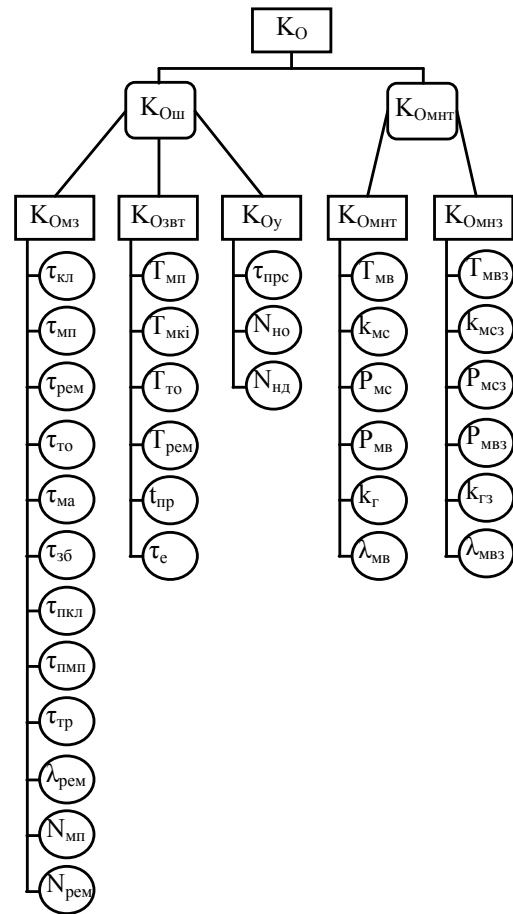


Рис. 2. Показники оперативності управління МН і їх взаємозв'язок

2. Часових характеристик ЗВТВП  $K_{Oзвт}$ : МПІ  $T_{мпі}$ ; МКІ  $T_{мкі}$ ; періодичності технічного обслуговування  $T_{то}$ ; періодичності ремонту  $T_{рем}$ ; допустимого часу відсутності ЗВТВП на місці експлуатації  $t_{пр}$ ; тривалості експлуатації  $t_e$ .

3. Показників, що характеризують якість управління МН ЗВТВП  $K_{Oу}$ : тривалістю простою виробничого (калібрувального) та ремонтного обладнання  $\tau_{прс}$ ; кількістю неякісно обслугованих ЗВТВП

$N_{HO}$ ; кількістю несвоєчасно доставлених на МЗ ЗВТВП  $N_{HD}$ .

По-друге, оперативність управління МН ЗВТВП залежить від показника МН ЗВТВП  $K_{OMH}$ , що, у свою чергу, визначається показниками МН ЗВТВП  $K_{OMHT}$  і показниками МН засобів МЗ  $K_{OMHZ}$ :  $T_{MB}$  – наробітком на метрологічну відмову ЗВТВП;  $T_{MB3}$  – наробітком на метрологічну відмову засобів МЗ;  $k_{MC}$  – коефіцієнтом метрологічної справності ЗВТВП;  $k_{MC3}$  – коефіцієнтом метрологічної справності засобів МЗ;  $P_{MC}$  – ймовірністю метрологічної справності ЗВТВП;  $P_{MC3}$  – ймовірністю метрологічної справності засобів МЗ;  $P_{MB}$  – ймовірністю метрологічної відмови ЗВТВП;  $P_{MB3}$  – ймовірністю метрологічної відмови засобів МЗ;  $k_{r}$  – коефіцієнтом готовності ЗВТВП;  $k_{r3}$  – коефіцієнтом готовності засобів МЗ;  $\lambda_{MB}$  – інтенсивністю метрологічних відмов ЗВТВП;  $\lambda_{MB3}$  – інтенсивністю метрологічних відмов засобів МЗ.

Таким чином, оперативність управління МН ЗВТВП характеризується узагальненим показником  $K_O$  (7), а також системою часткових показників, які досить повно характеризують оперативність управління МН ЗВТВП.

**3.2. Показники інформативності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення.** Інформативність – найважливіша властивість управління МН ЗВТВП, що відображає його цільове призначення одержувати інформацію про МН ЗВТВП. Показники інформативності повинні характеризувати інтенсивність прояву цієї властивості й відображати ступінь корисності, для системи МЗ військ, інформації про МН ЗВТВП. Зокрема, узагальнений показник інформативності представимо співвідношенням [4]:

$$K_I = \frac{K_I^P}{K_I^I}, \quad (8)$$

де  $K_I^P$ ,  $K_I^I$  – показники ефективності реального й ідеального по інформативності управління МН ЗВТВП відповідно.

Визначення узагальненого показника інформативності управління МН ЗВТВП здійснюється з використанням комплексу математичних моделей експлуатації ЗВТВП.

Для визначення часткових показників інформативності управління МН ЗВТВП розглянемо властивість інформативності більш детально.

Схема, що розкриває показники інформативності управління МН ЗВТВП і їхні взаємозв'язки, представлена на рис. 3.

Інформативність  $K_I$  управління МН ЗВТВП характеризується в першу чергу обсягом інформації  $K_{IO}$ , одержуваної в процесі їх МЗ. Обсяг інформації залежить від наступних факторів.

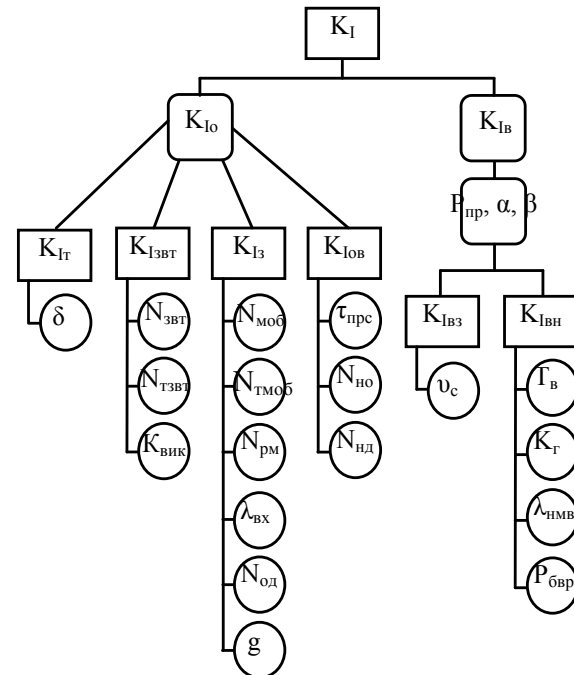


Рис. 3. Показники інформативності управління МН ЗВТВП і їх взаємозв'язок

1. Показників точності ЗВТВП  $K_{IT}$ , які представлені як граничні значення відносної похибки ЗВТВП  $\delta$ .

2. Кількісних показників парку ЗВТВП, що підлягають МЗ  $K_{I3VT}$ : кількості ЗВТВП  $N_{ZVT}$ ; кількості типів ЗВТВП  $N_{TZVT}$ ; коефіцієнта використання  $k_{VIK}$ , що несе інформацію про ефективність використання ЗВТВП.

3. Кількісних показників засобів МЗ ЗВТВП  $K_{I3}$ : кількісні показники засобів калібрування (метрологічної перевірки) та ремонту (кількість засобів МЗ  $N_{MOB}$  і їх типів  $N_{TMOB}$ ); характеристики МЧП (кількість робочих місць для калібрування (метрологічної перевірки)  $N_{RM}$ , інтенсивність надходження ЗВТВП в обслуговування  $\lambda_{VX}$ , кількість ЗВТВП, що обслуговуються одночасно в МЧП  $N_{OD}$ , розряд метрологічної перевірки  $g$ ).

4. Показників, що характеризують об'єкт вимірювань  $K_{I0V}$ : перелік параметрів ЗВТВП, що підлягають вимірюванню даним ЗВТВП  $x_{ZVT}$ , кількість вимірюваних і контрольованих параметрів ЗВТВП  $N_{VKP}$ , відповідальність призначення ЗВТВП  $\nu$ .

У другу чергу інформативність характеризується вірогідністю одержуваної в процесі МЗ ін-

формації. Як показник вірогідності управління МН ЗВТВП  $K_{IV}$  виступає ймовірність  $P_{пр}$  ухвалення правильного рішення за результатами МЗ, що доповнюється ймовірностями помилкового забракування  $\alpha$  і невиявлення відмов  $\beta$  в процесі МЗ.

Показники вірогідності управління МН ЗВТВП залежать від показників точності засобів МЗ  $K_{IV3}$  і їх стабільності  $v_c$ , а також від показників надійності ЗВТВП  $K_{IVH}$  (наробіток на відмову  $T_B$ , коефіцієнт готовності  $k_r$ , інтенсивність не метрологічних відмов  $\lambda_{HMB}$ , імовірність безвідмовної роботи ЗВТВП  $P_{обр}$  тощо).

Таким чином, інформативність управління МН ЗВТВП характеризується узагальненим показником  $K_I$  у відповідності до виразу (8), а також частковими показниками, які досить повно характеризують інформативність управління МН ЗВТВП.

**3.3. Показники економічності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення.** Економічність – властивість управління МН ЗВТВП, що відображає обсяг матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів, що витрачаються на управління МН ЗВТВП.

Показник економічності повинен відображати сумарні витрати коштів у вартісному виразі на управління МН ЗВТВП і їхній вплив на ефективність управління МН. Зокрема узагальнений показник економічності управління МН ЗВТВП представимо співвідношенням [4]:

$$K_E = \frac{K_E^p}{K_E^i}, \quad (9)$$

де  $K_E^p$ ,  $K_E^i$  – показники ефективності реального й ідеального по економічності управління МН ЗВТВП відповідно.

Ідеальне по економічності управління МН ЗВТВП припускає нульові витрати при МЗ ЗВТВП.

Показник ефективності реального по економічності управління МН ЗВТВП визначається з виразу [8]:

$$K_E = \frac{C_{OBT} - C_{M3}}{C_{OBT}}, \quad (10)$$

де  $C_{OBT}$  – витрати на створення й експлуатацію ОВТ;  $C_{M3}$  – сумарні витрати на МЗ ЗВТВП, що застосовуються на ОВТ.

Сумарні витрати на МЗ ЗВТВП включають витрати на засоби МЗ  $C_3$  (військові еталони, пересувні лабораторії вимірювальної техніки (ПЛВТ), перевірочне встаткування, інструмент і приладдя) і вартість їхньої експлуатації  $C_e$ :

$$C_{M3} = C_3 + C_e. \quad (11)$$

Витрати, пов'язані із засобами МЗ, містять у собі витрати на придбання засобів МЗ  $C_{33}$  і витрати на утримування робочих місць для МЗ ЗВТВП  $C_{рм}$ :

$$C_3 = C_{33} + C_{рм}. \quad (12)$$

Витрати на експлуатацію складаються з витрат на обслуговування засобів МЗ ЗВТВП (витрат на калібрування (метрологічну перевірку (атестацію))  $C_{п}$ , витрат на ремонт  $C_{рем}$ , витрат на технічне обслуговування  $C_{то}$ , витрат на заміну ЗВТВП  $C_{зм}$ , витрат на проведення контролю стану засобів МЗ ЗВТВП  $C_{к}$ , і витрат на організацію управління МЗ ЗВТВП  $C_{у}$ :

$$C_e = C_{п} + C_{рем} + C_{то} + C_{зм} + C_{к} + C_{у}. \quad (13)$$

Таким чином, економічність управління МН ЗВТВП залежить від ряду факторів (рис. 4), які можна об'єднати у дві групи – вартість засобів МЗ і витрати, пов'язані з управлінням МН ЗВТВП. Вартість засобів МЗ ЗВТВП залежить від їхньої точності, швидкодії, надійності, МН й інших показників, що визначають корисність засобів МЗ для управління МН ЗВТВП. Витрати на застосування ЗВТВП залежать від технології метрологічних операцій і тривалості експлуатації засобів МЗ.

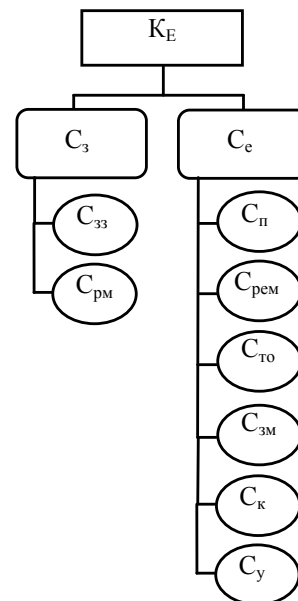


Рис. 4. Показники економічності управління МН ЗВТВП і їх взаємозв'язок

Економічність управління МН ЗВТВП впливає на ефективність управління МЗ військ. Показники економічності можуть використовуватися як цільові функції й обмеження при розв'язанні задач синтезу системи МЗ ЗС України.

**3.4. Показники мобільності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення.** Мобільність – властивість управління МН ЗВТВП, яка визначає

можливість передавання розмірів фізичних величин переважно на виїзді, мобільними комплексами.

Показники мобільності повинні характеризувати інтенсивність прояву цієї властивості й відображати ступінь корисності, для системи МЗ військ. Зокрема, узагальнений показник мобільності представимо формулою:

$$K_M = \frac{K_M^p}{K_M^i}, \quad (14)$$

де  $K_M^p$ ,  $K_M^i$  – показники ефективності реального й ідеального по мобільності управління МН ЗВТВП відповідно.

Визначення узагальненого показника мобільності управління МН ЗВТВП здійснюється з використанням комплексу математичних моделей експлуатації ЗВТВП. Для визначення часткових показників мобільності управління МН ЗВТВП розглянемо властивість мобільності більш детально. Схема, що розкриває показники мобільності управління МН ЗВТВП і їх взаємозв'язки, представлена на рис. 5.

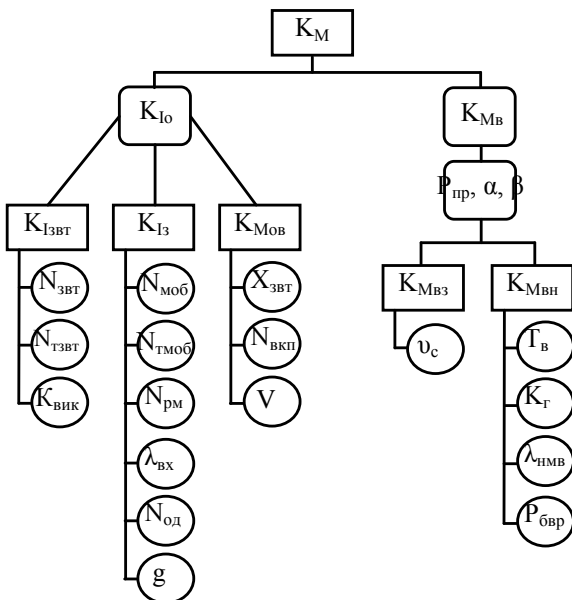


Рис. 5. Показники мобільності управління МН ЗВТВП і їх взаємозв'язок

Мобільність  $K_M$  управління МН ЗВТВП характеризується в першу чергу ступенем мобільності  $K_{Mc}$  мобільних комплексів (або ПЛВТ). Ступінь мобільності ПЛВТ залежить від наступних факторів.

1. Кількісних показників ЗВТВП із складу ПЛВТ  $K_{MЗВТ}$ : кількості ЗВТВП  $N_{ЗВТ}$ ; кількості типів ЗВТВП  $N_{ТЗВТ}$ ; коефіцієнта використання  $k_{вик}$ , що несе інформацію про ефективність використання ЗВТВП.

2. Кількісних показників ПЛВТ  $K_{MЗ}$ : кількісні показники засобів калібрування (метрологічної пе-

ревірки) та ремонту (кількість засобів МЗ  $N_{МЗ}$  і їхніх типів  $N_{ТМЗ}$ ); характеристики ПЛВТ (кількість робочих місць для калібрування (метрологічної перевірки)  $N_{рм}$ , інтенсивність надходження ЗВТВП в обслуговування  $\lambda_{ВХ}$ , кількість ЗВТВП, що обслуговуються одночасно в ПЛВТ  $N_{од}$ , розряд метрологічної перевірки  $g$ ).

3. Показників, що характеризують об'єкт вимірювань  $K_{Мов}$ : перелік параметрів ЗВТВП, що підлягають вимірюванню даним ЗВТВП  $x_{ЗВТ}$ , кількість вимірюваних і контрольованих параметрів ЗВТВП  $N_{ВКП}$ , відповідальність призначення ЗВТВП  $v$ .

У другу чергу мобільність характеризується вірогідністю одержуваної в процесі МЗ інформації. Як показник вірогідності управління МН ЗВТВП  $K_{Мв}$  виступає ймовірність  $P_{пр}$  ухвалення правильного рішення за результатами МЗ, що доповнюється ймовірностями помилкового бракування  $\alpha$  і не виявлення відмов  $\beta$  в процесі МЗ.

Показники вірогідності управління МН ЗВТВП залежать від показників точності засобів МЗ  $K_{МвЗ}$  і їхньої стабільності  $v_c$ , а також від показників надійності ЗВТВП  $K_{Мвн}$  (наробіток на відмову  $T_v$ , коефіцієнт готовності  $k_r$ , інтенсивність не метрологічних відмов  $\lambda_{ЧМВ}$ , ймовірність безвідмовної роботи ЗВТВП  $P_{бвр}$  тощо).

Таким чином, мобільність управління МН ЗВТВП характеризується узагальненим показником  $K_M$  у відповідності до виразу (14), а також частковими показниками, які досить повно характеризують інформативність управління МН ЗВТВП.

**3.5. Показники автономності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення.** Автономність – властивість управління МН ЗВТВП, що відображає часткову (або повну) незалежність від Державної метрологічної служби. Показник автономності повинен характеризувати можливість самостійного виконання завдань за призначенням при управлінні МН ЗВТВП і їхній вплив на ефективність МЗ ЗВТВП. Зокрема, узагальнений показник автономності управління МН ЗВТВП представимо співвідношенням.

$$K_A = \frac{K_A^p}{K_A^i}, \quad (15)$$

де  $K_A^p$ ,  $K_A^i$  – показники ефективності реального й ідеального по автономності управління МН ЗВТВП відповідно.

Визначення узагальненого показника автономності управління МН здійснюється з використанням комплексу математичних моделей експлуатації ЗВТВП. Для визначення часткових показників автономності управління МН розглянемо властивість автономності більш детально. Схема, що розкриває показники автономності управління МН і їхнього взаємозв'язку представлена на рис. 6.

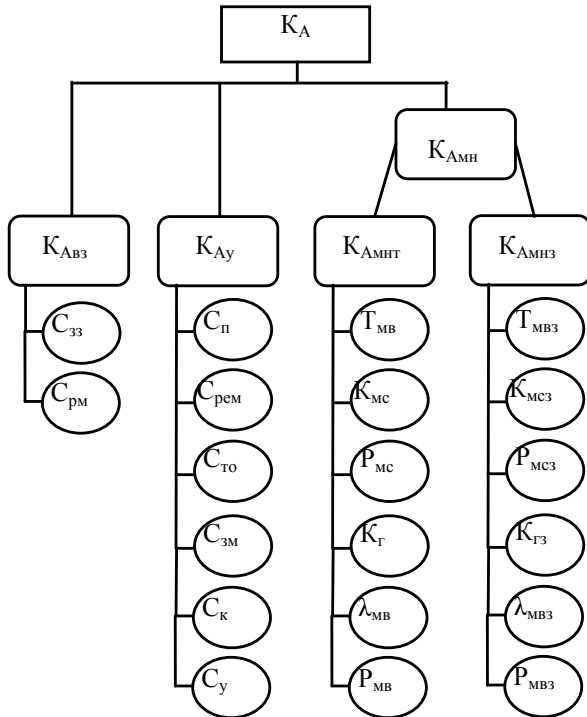


Рис. 6. Показники автономності управління МН ЗВТВП і їх взаємозв'язок

Автономність, як властивість управління МН ЗВТВП, по-перше, залежить від ряду факторів, які можна об'єднати у дві групи – вартість засобів МЗ  $K_{Авз}$  і витрати, пов'язані з управлінням МН ЗВТВП  $K_{Ау}$ . До першої групи відносяться наступні показники: витрати на придбання засобів МЗ  $C_{зз}$  і витрати на утримання робочих місць для МЗ ЗВТВП  $C_{рм}$ , а до другої – витрати на калібрування (метрологічну перевірку (атестацію))  $C_{п}$ , витрати на ремонт  $C_{рем}$ , витрати на технічне обслуговування  $C_{то}$ , витрати на заміну ЗВТВП  $C_{з3м}$ , витрати на проведення контролю стану засобів МЗ ЗВТВП  $C_{к}$  і витрати на організацію управління МЗ ЗВТВП  $C_{у}$ .

По-друге, оперативність управління МН ЗВТВП залежить від показника МН ЗВТВП  $K_{АМН}$ , що, у свою чергу, визначається показниками МН ЗВТВП  $K_{АМНТ}$  і показниками МН засобів МЗ  $K_{АМНЗ}$ :  $T_{мв}$  – наробітком на метрологічну відмову ЗВТВП;  $T_{мвз}$  – наробітком на метрологічну відмову

засобів МЗ;  $k_{мс}$  – коефіцієнтом метрологічної справності ЗВТВП;  $k_{мсз}$  – коефіцієнтом метрологічної справності засобів МЗ;  $P_{мс}$  – ймовірністю метрологічної справності ЗВТВП;  $P_{мсз}$  – ймовірністю метрологічної справності засобів МЗ;  $P_{мв}$  – ймовірністю метрологічної відмови ЗВТВП;  $P_{мвз}$  – ймовірністю метрологічної відмови засобів МЗ;  $k_{г}$  – коефіцієнтом готовності ЗВТВП;  $k_{гз}$  – коефіцієнтом готовності засобів МЗ;  $\lambda_{мв}$  – інтенсивністю метрологічних відмов ЗВТВП;  $\lambda_{мвз}$  – інтенсивністю метрологічних засобів МЗ.

Отже, автономність управління МН ЗВТВП характеризується узагальненим показником  $K_A$  (15), а також системою часткових показників, які досить повно характеризують автономність управління МН ЗВТВП.

Розглянуті показники оперативності, інформативності, економічності, мобільності й автономності управління МН ЗВТВП являють собою комплекс показників з ієрархічною, багаторівневою структурою, об'єднаних в одну систему. Слід відзначити, що поділ розглянутих вище показників за характером прояву властивостей управління МН ЗВТВП носить досить умовний характер. Ті самі показники можуть виступати як показники інформативності, мобільності, автономності так і оперативності й економічності одночасно.

#### 4. Критерій ефективності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення

Із попереднього розгляду виходить, що необхідно оцінити ефективність системи управління (СУ) МН ЗВТВП, яка дозволяє управляти МН заданої сукупності ЗВТВП з використанням штатних засобів МЗ, у встановлений термін і з якістю, що забезпечує заданий рівень готовності ЗВТВП. Критерієм ефективності в даній задачі є максимальна ефективність роботи МЧП.

Прийmemo наступні умовні позначення:  $J$  – множина припустимих структур СУ МН;  $W$  – множина припустимих стратегій управління МН;  $J^o$  – оптимальна структура СУ МН;  $W^o$  – оптимальна стратегія управління МН;  $N_{тзвт}^B$ ,  $N_{звт}^B$ ,  $N_{тмоб}^B$  – відповідно кількість типів ЗВТВП, ЗВТВП та типів засобів калібрування (метрологічної перевірки), що вказане в нормативно-технічній документації на методи і засоби калібрування (метрологічної перевірки);  $\tau_{пр}$  – припустиме значення тривалості обслуговування ЗВТВП у МЧП;  $k_{г}^{np}$  – припустиме зна-



чення коефіцієнта готовності ЗВТВП;  $\Phi_{рч}$  – річний фонд робочого часу МЧП, обумовлений їх штатним розкладом.

У прийнятих позначеннях критерій ефективності, що використовується при оцінюванні ефективності СУ МН ЗВТВП, формулюється таким чином: необхідно із множини припустимих структур  $J$  і стратегій управління МН  $W$  вибрати такі  $J^0$  та  $W^0$ , щоб узагальнений показник ефективності управління МН ЗВТВП приймав максимальне значення, при наявності обмежень на  $N_{тзвт}^B$ ,  $N_{звт}^B$ ,  $N_{тмоб}^B$ ,  $k_{г}^{пр}$ ,  $\tau_{пр}$ .

При цьому, структура СУ МН  $J$  характеризується вектором часткових показників ефективності й параметрів МЗ:

$$J = \langle K_{умн}^{оц}(P_{мв}, P_{мс}, P_{мс}), K_{умн}^{прг}(k_{г}, T_{мв}, \lambda_{мв}), K_{умн}^{заб}(T_{мпі}, T_{мкі}), K_{умн}^{інф}(\delta, g, v_c), N_{тзвт}, N_{звт} \rangle, \quad (16)$$

а стратегія управління МН ЗВТВП  $W$  характеризується вектором:

$$W = \langle K_{умн}^{рм}(N_{тмз}, N_{мз}, N_{рм}), \tau_{пр}, k_{г} \rangle, \quad (17)$$

де  $K_{умн}^{оц}$  – показник ефективності оцінювання МН ЗВТВП;  $K_{умн}^{прг}$  – показник ефективності прогнозування МН ЗВТВП;  $K_{умн}^{заб}$  – показник ефективності забезпечення МН ЗВТВП;  $K_{умн}^{інф}$  – показник ефективності інформаційного забезпечення процесу управління МН ЗВТВП;  $K_{умн}^{рм}$  – показник ефективності формування робочих місць повірників.

Математичний запис критерію ефективності має вигляд:

$$J^0, W^0 : \max K_{умн}(J, W); \quad (18)$$

$$J^0 \in J, W^0 \in W;$$

$$J = \langle K_{умн}^{оц}(P_{мв}, P_{мс}, P_{мс}), K_{умн}^{прг}(k_{г}, T_{мв}, \lambda_{мв}),$$

$$K_{умн}^{заб}(T_{мпі}, T_{мкі}), K_{умн}^{інф}(\delta, g, v_c), N_{тзвт}, N_{звт} \rangle,$$

$$W = \langle K_{умн}^{рм}(N_{тмз}, N_{мз}, N_{рм}), \tau_{пр}, k_{г} \rangle,$$

при обмеженнях:

1) всі ЗВТВП повинні бути обслужені:

$$N_{тзвт} > N_{тзвт}^B, N_{звт} > N_{звт}^B; \quad (19)$$

2) перелік засобів МЗ визначається вимогами нормативно-технічної документації на методи і засоби калібрування (метрологічної перевірки) ЗВТВП:

$$N_{тмз} \in N_{тмз}^B; \quad (20)$$

3) якість обслуговування ЗВТВП повинна бути не нижче необхідної:

$$k_{г} > k_{г}^{пр}; \quad (21)$$

4) час обслуговування кожного ЗВТВП не повинен перевищувати припустимого значення:

$$\tau_{об} > \tau_{пр}; \quad (22)$$

5) сумарний час обслуговування всіх ЗВТВП не повинен перевищувати фонду робочого часу:

$$\sum_{i=1}^N \tau_{обі} < \Phi_{рч}, i = \overline{1, N}. \quad (23)$$

### 5. Узагальнений показник ефективності управління метрологічною надійністю засобів вимірювальної техніки військового призначення та рекомендації щодо його застосування

На основі матеріалу, викладеного у пунктах 1 – 4, узагальнений показник ефективності управління МН ЗВТВП являє собою вектор часткових показників ефективності:

$$K_{умн} = \langle K_{умн}^{оц}, K_{умн}^{прг}, K_{умн}^{заб}, K_{умн}^{інф}, K_{умн}^{рм} \rangle. \quad (24)$$

Залежно від мети, поставленої перед розробниками СУ МН ЗВТВП, узагальнений показник може приймати різний вигляд. Розглянемо типові з них.

1. При обмежених матеріальних ресурсах як узагальнений показник приймаються витрати на управління МН ЗВТВП. Максимальна ефективність у цьому випадку буде досягнута при мінімумі витрат на управління МН ЗВТВП.

2. При необхідності забезпечити більш високу якість управління МН ЗВТВП, необхідна його ефективність буде досягнута при максимальному значенні коефіцієнта готовності ЗВТВП, а витрати при цьому перейдуть у розряд обмежень.

3. У випадку, коли потрібно домогтися скорочення тривалості МЗ ЗВТВП, максимальний ефект буде досягнутий при мінімальній тривалості МЗ, з урахуванням обмежень на коефіцієнт готовності й витрати на управління МН ЗВТВП.

Для сучасних МЧП особливо актуальним буде перший з розглянутих випадків, тобто процедура оцінювання ефективності управління МН ЗВТВП зводиться до рішення задачі в постановці (18)–(23), коли для досягнення максимальної ефективності управління МН необхідно домогтися мінімальних витрат на його реалізацію.

Оцінювання ефективності управління МН ЗВТВП на основі показника (24) можливо шляхом зведення векторного показника до скалярного. Найбільш прийнятним методом зведення векторного показника ефективності до скалярного є метод, заснований на переводі всіх часткових показників, крім одного (головного), у розряд обмежень [7]. У результаті скаляризації оцінювання ефективності зводиться до рішення задачі математичного програмування, тобто до відшукування екстремуму функції, що виражає залежність головного показника ефек-

тивності від змінних параметрів СУ МН ЗВТВП, при наявності обмежень на інші часткові показники ефективності [8].

Отримана система часткових показників ефективності відповідає вимогам, викладеним у пункті 2, тому, з урахуванням специфіки управління МН ЗВТВП, найефективнішою будемо вважати таку систему, у якій кожний із часткових показників приймає оптимальне значення.

### Висновки

В статті на основі проведеного аналізу відомих методів оцінювання ефективності метрологічних операцій і факторів, що впливають на ефективність управління МН ЗВТВП, показано, що найбільш достовірною є оцінка ефективності на основі узагальненого векторного показника.

Встановлено, що наявність узагальненого показника ефективності управління МН ЗВТВП і критерію його вибору є необхідною умовою розв'язання задачі оцінювання ефективності управління МН ЗВТВП.

Розроблено основні вимоги до показників ефективності управління МН ЗВТВП. Сформовано й обґрунтовано комплекс показників ефективності, що використовуються при оцінюванні ефективності управління МН ЗВТВП.

Отримано критерій і узагальнений показник ефективності управління МН ЗВТВП. Як критерій ефективності управління МН ЗВТВП обрана максимальна ефективність управління МН, що досягається при мінімальних витратах на МЗ ЗВТВП.

### Список літератури

1. Пашкевич І.Д. Основи метрологічного забезпечення у сфері оборони на сучасному етапі / І.Д. Пашкевич // Наука і оборона. – 2007. – № 4. – С. 35-39.
2. Хижняк В.В. Завдання метрологічного забезпечення військ та напрями їх виконання в умовах реформування Збройних Сил України / В.В. Хижняк, В.Ю. Камінський // Наука і оборона. – 2009. – № 2. – С. 27-31.
3. Мостовой В.С. Показатели информативности измерительного контроля и их применение в процессе проектирования / В.С. Мостовой, А.П. Флорин // Представление, обработка и передача информации. – 1992. – С. 95-98.
4. Флорин А.П. Показатели эффективности системы метрологического обслуживания средств измерительной техники и постановка задач их оптимизации / А.П. Флорин // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 1999. – Вып. 111. – С. 45-49.
5. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. Т.3: Эффективность технических систем: под ред. А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
6. Оценка эффективности и параметрический синтез метрологического обслуживания радиоаппаратуры. – М.: МО СССР, 1984. – 386 с.
7. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Л.С. Гуткин. – М.: Сов. радио, 1975. – 326 с.
8. Чумаков Н.М. Оценка эффективности сложных технических устройств / Н.М. Чумаков, Е.И. Серебряный. – М.: Сов. радио, 1980. – 192 с.

Надійшла до редколегії 24.06.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, старший науковий співробітник Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М.Ю. Яковлев

*В статье разработаны основные требования к показателям эффективности управления метрологической надежностью средств измерительной техники военного назначения. Сформированы и обоснованы комплекс показателей эффективности, критерий и обобщенный показатель эффективности, которые используются при оценке эффективности управления метрологической надежностью средств измерительной техники военного назначения.*

**Ключевые слова:** эффективность, управление, метрологическая надежность, показатели, критерий, средства измерительной техники военного назначения, метрологическое обеспечение.

### QUESTIONS OF ESTIMATION OF EFFICIENCY OF MANAGEMENT METROLOGY RELIABILITY OF FACILITIES OF MEASURING TECHNIQUE OF MILITARY-ORIENTED

M.Ju. Jakovlev

*In the article the basic requirements are developed to the indexes of efficiency of management of facilities of measuring technique of military-oriented metrology reliability. The complex of indexes of efficiency, criterion and generalized index of efficiency, is formed and grounded, that used for the evaluation of efficiency of management of facilities of measuring technique of military-oriented metrology reliability.*

**Keywords:** efficiency, management, metrology reliability, indexes, criterion, facilities of measuring technique of military-oriented, metrology providing.