

УДК 621.317

Д.А. Півнев¹, С.В. Герасимов¹, А.О. Подорожняк²¹Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків²Національний технічний університет "ХПІ", Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОВІРКИ (КАЛІБРУВАННЯ) І РЕМОНТУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В МІСЦЯХ ДИСЛОКАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ

В статті показано підвищення ролі метрологічного забезпечення озброєння та військової техніки при переведенні його на експлуатацію за технічним станом. Обґрунтовані особливості метрологічного забезпечення озброєння та військової техніки та засобів вимірювальної техніки на сучасному етапі в умовах зростання ймовірності їх відмов. Запропонована модель повірки (калібрування) і ремонту засобів вимірювальної техніки в місцях дислокації військових частин і підрозділів, яка допомагає проводити синтез оптимальної системи метрологічного обслуговування озброєння та військової техніки в закріпленому для метрологічного обслуговування регіоні.

Ключові слова: повірка, калібрування, ремонт, засоби вимірювальної техніки

Вступ

Постановка проблеми. Сучасний стан військової реформи та організації військового будівництва в Україні характеризується гострим дефіцитом грошових і матеріальних ресурсів. Внаслідок цього Збройні Сили (ЗС) України вимушені експлуатувати морально та, іноді, фізично старіюче озброєння та військову техніку [1]. Деякі зразки ОВТ в процесі експлуатації не використовувались за призначення, а знаходились на зберіганні на базах та арсеналах. Вони мають вичерпаний ресурс по календарному терміну експлуатації (знаходяться на озброєнні тривалий термін), а фактично технічний ресурс (реальний наробіток) при цьому не витрачався. Тому, для збереження необхідного рівня боєготовності ОВТ в таких складних умовах в останній час проводяться заходи щодо переведення ОВТ на експлуатацію за технічним станом. Наприклад, в "Порядку експлуатації за технічним станом озброєння та військової техніки зенітних ракетних та радіотехнічних військ, за якими не здійснюється авторський нагляд", затвердженому наказом Міністра оборони України від 05.02.2010 № 53 розглянуті основні вимоги щодо організації роботи з переведення на експлуатацію за технічним станом ОВТ зенітних ракетних та радіотехнічних військ, проведення контрольно-відновлювальних робіт на зразках ОВТ тощо.

Одним з основних проблемних питань переведення ОВТ на експлуатацію за технічним станом є визначення дійсного технічного стану озброєння. Для цього необхідно використовувати засоби вимірювальної техніки (ЗВТ). Парк ЗВТ, що використовується в ЗС України, складає понад 520 тис. од. Складних радіовимірювальних приладів налічувалося більше 240 тис. од., спеціальних засобів вимірювання більше 80 тис. од. Останні закупівлі ЗВТ проводилися в 1992-1993 роках. В даний час укомплектованість ЗС України ЗВТ складає 97–98%. Проте аналізуючи звіти військових частин про стан парку ЗВТ, 72–77% від загального парку приладів доводиться на ЗВТ з терміном служби 20 і більше років, 55–60% з них мають вироблення ресурсу майже на 90–95%.

У цих умовах виникає необхідність збереження існуючого парку ЗВТ, підтримка їх метрологічних характеристик на рівні, що забезпечує боєготовність з'єднань і частин ЗС України, виконання вимірювань на об'єктах військового призначення з необхідною точністю. Слід зазначити, що проведення повірки (калібрування) ЗВТ з видаленням з місць експлуатації не прийнятне для ефективного функціонування системи метрологічного забезпечення ЗС України, основною вимогою до якої є висока оперативність метрологічних робіт. Виходячи з цього актуальність досліджень, результати яких наведені в статті, обумовлена:

– зростанням ролі та значення ЗВТ в підтримці постійної бойової готовності сучасних і перспективних зразків ОВТ;

– загальною тенденцією підвищення вимог до точності та своєчасності вимірювань при експлуатації та застосуванні ОВТ;

– відсутністю в ЗС України оновлення парку ЗВТ.

Зазначимо, що особливостями метрологічного забезпечення ОВТ і ЗВТ на сучасному етапі в умовах зростання ймовірності їх відмов є:

– необхідність зменшення інтервалів між метрологічними обслуговуваннями (повірками) об'єктів в залежності від ступеня виробітку ресурсу, а також, при оснащенні військ (сил) високоточними, тобто дорогими, зразкам озброєння з системами самонаведення;

– зростаючі обсяги вимірювань потребують збільшення трудовитрат (штату обслуговуючого персоналу, кількості ЗВТ тощо), а значить, і додаткового фінансування.

Тому необхідно проводити оптимізацію (при цьому слід враховувати, що оптимізація це не обов'язково скорочення) структури метрологічної служби військ на сучасному етапі. Це можливо шляхом моделювання її функціонування в імовірних ситуаціях з урахуванням викладених особливостей.

Аналіз публікацій. Проведений аналіз літератури показав [2–7], що існує багато варіантів моделей метрологічного обслуговування зразків ОВТ і ЗВТ, однак вони розглядають процес обслуговування

в стаціонарних умовах, тобто в лабораторії вимірювальної техніки. Однак для зменшення витрат ресурсу ОВТ його метрологічне обслуговування слід проводити в місцях дислокації зразків озброєння, що в той же час економить кошти за рахунок відсутності доставки ОВТ до вимірювальної лабораторій та підвищує боєготовність частин і підрозділів.

Таким чином, актуальності набуває питання, пов'язане з розробкою моделі повірки (калібрування) і ремонту засобів вимірювальної техніки в місцях дислокації військових частин і підрозділів.

Мета статті. Дана стаття присвячена розробці математичної моделі повірки (калібрування) і ремонту засобів вимірювальної техніки в місцях дислокації військових підрозділів.

Основна частина

При організації виїзного повірочно-ремонтного підрозділу (ППП) у складі лабораторії вимірювальної техніки попередньо варто проаналізувати його роботу на моделі. Вихідними даними для такої моделі є: кількість ЗВТ N , які підлягають метрологічному обслуговуванню (калібруванню чи повірці); значення міжповірочного інтервалу (МПП) T_{Π} ; час проведення калібрування (повірки) t_{Π} і ремонту $t_{\text{р}}$ ЗВТ; орієнтовані значення імовірностей помилок першого α і другого β роду; значення імовірностей появи метрологічних $P_{\text{мв}}$ і явних $P_{\text{яв}}$ відмов під час експлуатації; середній час $T_{\text{мо}}$ перебування ЗВТ в обслуговуванні, який включає час перебування в черзі на калібрування (повірку) $t_{\text{чп}}$, час проведення калібрування (повірки) t_{Π} , а для несправних ЗВТ крім цього й ще час перебування в черзі на ремонт $t_{\text{чр}}$, час проведення ремонту $t_{\text{р}}$ та час, необхідний для проведення другого калібрування (повірки). Ці вихідні дані визначають виробничі можливості і характеристики ППП.

При цьому розрізняють дві групи задач – аналізу та синтезу ППП.

У загальній постановці їх можна сформулювати, наприклад, у такий спосіб:

задача аналізу – на основі T_{Π} , t_{Π} , $t_{\text{р}}$, $P_{\text{мв}}$ і $P_{\text{яв}}$, кількості перевірочних n_{Π} і ремонтних $n_{\text{р}}$ місць визначити “зовнішні” характеристики ППП – максимальну кількість ЗВТ N^{max} , яку здатний обслужити ППП; середній час перебування ЗВТ в обслуговуванні $T_{\text{мо}}$;

задача синтезу – на основі T_{Π} , t_{Π} , $t_{\text{р}}$, $P_{\text{мв}}$ і $P_{\text{яв}}$, N і $T_{\text{мо}}$ визначити “внутрішні” характеристики ППП – кількість повірочних n_{Π} і ремонтних $n_{\text{р}}$ місць.

В обох випадках для визначення необхідних характеристик можна використати математичну модель замкнутої багатоканальної системи масового

обслуговування з очікуванням [5]. У роботі [3] доведена гіпотеза про приналежність вхідного потоку ЗВТ, що обслуговуються, до пуассонівського, тому будемо вважати вхідні потоки (інтенсивність $\lambda_{\text{вх}}^{\text{ЗВТ}}$) і потоки обслуговування (інтенсивність $\mu_{\text{об}}^{\text{ЗВТ}}$), пуассонівськими. Це означає, що, по-перше, проміжки часу $\Delta t_{\text{мо}}$ між надходженнями ЗВТ в обслуговування і тривалість їх обслуговування $t_{\text{мо}}$ є випадковими величинами з функціями розподілу $F_1(t) = 1 - \exp(-\lambda_{\text{вх}}^{\text{ЗВТ}} t)$ і $F_2(t) = 1 - \exp(-\mu_{\text{об}}^{\text{ЗВТ}} t)$ відповідно і, по-друге, $\lambda_{\text{вх}}^{\text{ЗВТ}} = 1/\Delta t_{\text{мо}}$ і $\mu_{\text{об}}^{\text{ЗВТ}} = 1/t_{\text{мо}}$.

Розглянемо модель процесу повірки (калібрування) і ремонту ЗВТ, яка наведена на рисунку 1

Так як розглянута система замкнута, а всього підлягає обслуговуванню N ЗВТ, з яких $N_{\text{об}}$ буде знаходитися в обслуговуванні і $(N - N_{\text{об}})$ в експлуатації, то в сталому режимі, у системі буде формуватися вхідний потік $(N - N_{\text{об}})$ ЗВТ. Кожне (любє) ЗВТ з N , яке підлягає калібруванню (повірці), незалежно від інших буде формувати потік заявок на калібрування (повірку) з інтенсивністю $\lambda_{\text{пi}}^{\text{ЗВТ}} = T_{\text{пi}}^{-1}$, де $T_{\text{пi}}^{-1}$ – МПП i -го ЗВТ, $i = \overline{1, N}$. Аналогічно кожне (любє) ЗВТ може раптово явно відмовити і незалежно від інших формувати потік заявок на ремонт з інтенсивністю $\lambda_{\text{рi}}^{\text{ЗВТ}} = T_{\text{рi}}^{-1}$, де $T_{\text{рi}}^{-1}$ – середній нарробіток ЗВТ на явну відмову.

Відмітимо, що інтенсивність потоку ЗВТ зі схованими (метрологічними) відмовами $\lambda_{\text{мв}}^{\text{ЗВТ'}}$ на виході ППП, якщо відомо значення помилок першого та другого роду, априорі можна визначити по формулі $\lambda_{\text{мв}}^{\text{ЗВТ'}} = \beta(\lambda_{\text{вхп}}^{\text{ЗВТ}} - \lambda_{\text{вхр}}^{\text{ЗВТ}})$. Тому інтенсивність вхідного потоку ЗВТ в одиницю часу буде:

на калібрування (повірку):

$$\lambda_{\text{вхп}}^{\text{ЗВТ}} = \sum_{i=1}^{N_{\Pi}} \lambda_{\text{пi}}^{\text{ЗВТ}} = \sum_{i=1}^{N_{\Pi}} (T_{\text{пi}})^{-1},$$

де N_{Π} – кількість ЗВТ, які потребують калібрування (повірки) за вибраний інтервал часу;

на ремонт:

$$\lambda_{\text{вхр}}^{\text{ЗВТ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{р}}} \lambda_{\text{рi}}^{\text{ЗВТ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{р}}} (T_{\text{рi}})^{-1};$$

де $N_{\text{р}}$ – кількість ЗВТ з явними відмовами;

$N_{\text{об}} = N_{\Pi} + N_{\text{р}}$;

у цілому:

$$\lambda_{\text{вх}}^{\text{ЗВТ}} = \lambda_{\text{вхп}}^{\text{ЗВТ}} + \lambda_{\text{вхр}}^{\text{ЗВТ}}.$$

Відмітимо, що у випадку однакових МПП $\lambda_{\text{вхп}}^{\text{ЗВТ}} = (N_{\text{об}} - N_{\text{р}}) T_{\Pi}^{-1}$ і нарробіток на явне відмовлення $\lambda_{\text{вхр}}^{\text{ЗВТ}} = N_{\text{р}} T_{\text{р}}^{-1}$, середня кількість ЗВТ, що

надійшли в систему обслуговування за інтервал часу τ (рік, місяць тощо) визначається як $N_{\text{вх}} = \lambda_{\text{вх}}^{\text{ЗВТ}} \tau$.

Визначимо найважливішу часову характеристику метрологічного обслуговування ЗВТ – середню тривалість їх перебування в ПРП $T_{\text{мо}}$.

У принципі $T_{\text{мо}}$ складається з двох складових – часу очікування обслуговування та самого обслуговування. Однак обслуговування ЗВТ відбувається по-різному в залежності від технічного стану засобів. Так, фактично справні ЗВТ, надходячи на обслуговування, можуть очікувати проведення калібрування (повірки) у продовж часу $t_{\text{чп}}$, потім калібруватися (повірятися) у продовж часу $t_{\text{п}}$. Для таких ЗВТ тривалість їх перебування в метрологічному обслуговуванні $T_{\text{мо}} = t_{\text{чп}} + t_{\text{п}} + t_{\text{дод}}$, де $t_{\text{дод}}$ – середній час невиробничих затримок в обслуговуванні ЗВТ, наприклад, через хворобу працівника, відсутність світла тощо.

Прилади з явними відмовами надходять з інтенсивністю $\lambda_{\text{вхр}}^{\text{ЗВТ}}$ відразу в канал ремонту. Там вони можуть очікувати ремонту протягом $t_{\text{чр}}$, потім ремонтуватися протягом $t_{\text{р}}$. Після ремонту ці прилади очікують протягом часу $t_{\text{чп}}$ калібрування (повірку) і калібруються (повіряються) протягом $t_{\text{п}}$. Прийємо допущення, що після ремонту прилади калібруються (повіряються) тільки один раз. Якщо прилади будуть забраковані після ремонту, то вони вилучаються (списуються (СП)), про що свідчить знак “–”, і замінюються на аналогічні з обмінного фонду (ОФ), про свідчить знак “+”, (рис. 1). Тоді відповідно до моделі процесу повірки (калібрування) і ремонту ЗВТ, яка наведена на рис. 1, для даного випадку

$$T_{\text{мо}} = t_{\text{чр}} + t_{\text{р}} + t_{\text{чп}} + t_{\text{п}} + t_{\text{дод}}.$$

Прилади зі схованими відмовами, інтенсивність надходження яких у канал перевірки дорівнює:

$$\lambda_{\text{мв}}^{\text{ЗВТ}} = \lambda_{\text{мв}}^{\text{ЗВТ}'} + T_{\text{мв}}^{-1} = \beta(\lambda_{\text{вхп}}^{\text{ЗВТ}} - \lambda_{\text{вхр}}^{\text{ЗВТ}}) + T_{\text{мв}}^{-1},$$

де $T_{\text{мв}}^{-1}$ – середній наробіток ЗВТ на метрологічну (сховану) відмову, проходять канал перевірки, бракуються там, проходять канал ремонту і вдруге проходять канал перевірки.

При цьому прийємо допущення, що ймовірність виявлення схованої відмови при калібруванні (повірці) дорівнює 1. У цьому випадку час першого калібрування (повірки) через виявлення дефектів десь у середині операції звичайно скорочується в $r_{\text{п}}$ раз, а час очікування другої перевірки скорочується в $r_{\text{ч}}$ раз. Тому структу-

ра виразу для загальної граничної тривалості перебування ЗВТ у метрологічному обслуговуванні буде мати такий вигляд:

$$T_{\text{мо}} = (1 + r_{\text{ч}})t_{\text{чп}} + (1 + r_{\text{п}})t_{\text{п}} + t_{\text{чр}} + t_{\text{р}} + t_{\text{дод}}. \quad (1)$$

У загальному випадку потік ЗВТ, що обслуговуються, містить прилади зі схованими і явними відмовами, тому вираз (1) візьмо за основу подальших розрахунків. У наведеному виразі для граничної тривалості перебування ЗВТ в обслуговуванні час калібрування (повірки) і ремонту є величинами, близькими до нормативних значень, а значення часу очікування калібрування (повірки) і ремонту визначаються за правилами теорії масового обслуговування.

З урахуванням наведеного середній час очікування калібрування (повірки) і ремонту можна визначити по формулах:

$$t_{\text{чп}} = \frac{1}{\lambda_{\text{вхп}}^{\text{ЗВТ}}} \cdot \frac{N_{\text{п}}'}{N_{\text{п}} - N_{\text{п}}'} - t_{\text{п}}; \quad (2)$$

$$t_{\text{чр}} = \frac{1}{\lambda_{\text{вхр}}^{\text{ЗВТ}}} \cdot \frac{N_{\text{р}}'}{N_{\text{р}} - N_{\text{р}}'} - t_{\text{р}}, \quad (3)$$

де $N_{\text{п}}'$ – середнє число ЗВТ, що калібрується (повіряється);

$N_{\text{р}}'$ – середнє число ЗВТ, що ремонтується.

Величини $N_{\text{п}}'$ і $N_{\text{р}}'$, що входять у формули (2) і (3), визначаються ймовірністю $P_{\text{п}}$ і $P_{\text{р}}$ того, що у відповідному каналі (калібрування (повірки) чи ремонту) за інтервал часу τ буде калібруватися (повірятися) чи ремонтуватися зазначена кількість ЗВТ. Значення ймовірностей $P_{\text{п}}$, $P_{\text{р}}$ і середнього числа ЗВТ, що обслуговуються, можна взяти з математичної формули експлуатації ЗВТ.

Підставляючи значення $N_{\text{п}}'$ і $N_{\text{р}}'$ в формули (2) і (3), а отриманні вирази в формулу (1), можна розрахувати середню кількість приладів, що очікують калібрування (повірки) чи ремонту, іншими словами – довжину черги, можна визначити по формулах:

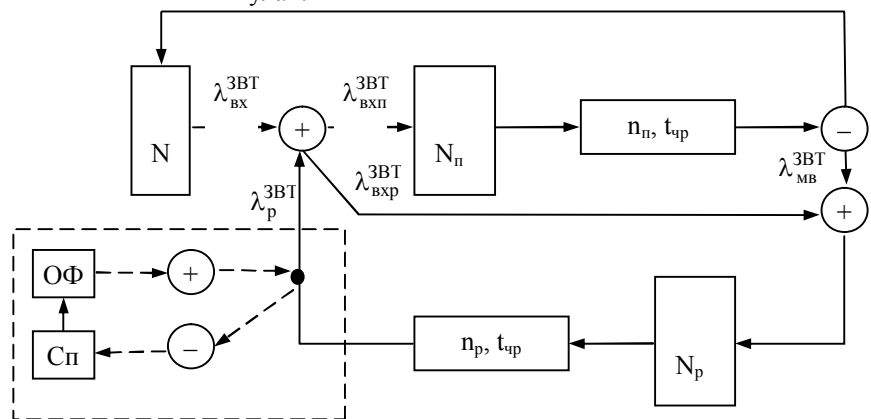


Рис. 1. Модель процесу калібрування (повірки) і ремонту ЗВТ

$$N_{\text{п}} - N'_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{п}}} (N'_{\text{п}} - n_{\text{п}}) P_{\text{п}} ; \quad (4)$$

$$N_{\text{р}} - N'_{\text{р}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{р}}} (N'_{\text{р}} - n_{\text{р}}) P_{\text{р}} , \quad (5)$$

де $N_{\text{п}} - N'_{\text{п}}$ – кількість ЗВТ, які знаходяться в черзі на калібрування (повірку);

$N_{\text{р}} - N'_{\text{р}}$ – кількість ЗВТ, які знаходяться в черзі на ремонт.

Наведені вирази (4) і (5) дозволяють вирішувати задачі аналізу метрологічного обслуговування ЗВТ військових підрозділів – по відомому числу ЗВТ N та параметрам метрологічного обслуговування $T_{\text{п}}, t_{\text{п}}, t_{\text{р}}, P_{\text{мв}}$ або $T_{\text{яві}}, n_{\text{п}}, n_{\text{р}}, r_{\text{ч}}, r_{\text{п}}, t_{\text{дод}}$ визначати часові параметри метрологічного обслуговування ЗВТ $t_{\text{чп}}$ і $t_{\text{чр}}$ або $T_{\text{мо}}$ та розрахувати кількість несправних ЗВТ $N_{\text{р}}$ й інші характеристики.

Вибір раціонального складу виїзної метрологічної групи та її технічної оснащеності здійснюється на підставі розрахунку виробничих можливостей виїзної метрологічної групи.

Виробничі можливості виїзних метрологічних груп визначаються за формулою:

$$\Omega_{\text{к}} = \frac{T_{\text{к}} \Phi_{\text{д}}}{\nu_{\text{к}}} , \quad (6)$$

де $T_{\text{к}}$ – кількість фахівців, задіяних у метрологічному обслуговуванні (калібруванні, ремонті), k -го типу ЗВТ;

$\Phi_{\text{д}}$ – дійсний фонд робочого часу на одного фахівця, задіяного в виїзній метрологічній групі для метрологічного обслуговування ЗВТ;

$\nu_{\text{к}}$ – норма часу на виконання калібрування або ремонту засобів вимірювальної техніки k -го типу.

Для оптимального планування ПРП для роботи з метрологічного обслуговування ЗВТ в місцях дислокації військових частин і підрозділів узгоджуються отриманні в співвідношеннях (1) – (6) значення.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕРКИ (КАЛИБРОВАНИЯ) И РЕМОНТА СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В МЕСТАХ ДИСЛОКАЦИИ ВОИНСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Д.А. Пивнев, С.В. Герасимов, А.А. Подорожняк

В статье показано повышение роли метрологического обеспечения вооружения и военной техники при переводе его на эксплуатацию по техническому состоянию. Обоснованы особенности метрологического обеспечения вооружения и военной техники и средств измерительной техники на современном этапе в условиях роста вероятности их отказов. Предложена модель поверки (калибрования) и ремонта средств измерительной техники в местах дислокации военных частей и подразделений, которая помогает проводить синтез оптимальной системы метрологического обслуживания вооружения и военной техники в закрепленном для метрологического обслуживания регионе.

Ключевые слова: поверка, калибрование, ремонт, средства измерительной техники.

MATHEMATICAL MODEL OF CHECK (CALIBRATIONS) AND REPAIR OF FACILITIES OF MEASURING TECHNIQUE IS IN PLACES OF DISTRIBUTION OF MILITARY SUBDIVISIONS

D.A. Pivnev, S.V. Gerasimov, A.A. Podorozhnyak

In the article the increase of role of the metrology providing of armament and military technique is shown during translation of him on exploitation on the technical state. The features of the metrology providing of armament and military technique and facilities of measuring technique are reasonable on the modern stage in the conditions of height of probability of their re-fuses. The model of check (calibrations) and repair of facilities of measuring technique is offered in the places of distribution of soldiery parts and subdivisions, which helps to conduct the synthesis of the optimal system of metrology maintenance of armament and military technique in the region envisaged for metrology service.

Keywords: check, calibration, repair, facilities of measuring technique.

ВИСНОВКИ

Запропонована математична модель повірки (калібрування) і ремонту засобів вимірювальної техніки в місцях дислокації військових підрозділів дозволяє визначати часові параметри обслуговування, номенклатуру та кількість повірочного та ремонтного обладнання, що потребується для метрологічного обслуговування ЗВТ, необхідну кількість особового складу виїзної групи, його кваліфікацію. Застосування запропонованої моделі дозволить проводити підготовчі (плануючі) заходи щодо планування виїзних метрологічних груп (повірочно-ремонтних підрозділів) для проведення метрологічного обслуговування ЗВТ в місцях його постійного знаходження в закріпленому регіоні.

Список літератури

1. Оборона політика України (Біла книга). – К.: МО України, 2009. – 132 с.
2. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
4. Рейх Н.Н. Метрологическое обеспечение производства / Н.Н. Рейх, А.А. Тупиченков, В.Г. Цейтлин. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 248 с.
5. Эксплуатация и метрологическое обеспечение измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 310 с.
6. Вересков А.И. Оптимизация системы метрологического обслуживания средств измерений на предприятии / А.И. Вересков., А.В. Шевырев // Измерительная техника. – 1990. – № 11. – С. 62-64.
7. Забежинский А.Д. Основные принципы деятельности метрологической службы крупного промышленного предприятия / А.Д. Забежинский. – М.: Машиностроение, 1984. – 51 с.

Надійшла до редколегії 21.09.2010

Рецензент: к-т техн. наук доц. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.