

## ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТІ СКЛАДНИХ ВИРОБІВ

*Розглянуто стан, проблеми і перспективи розвитку уніфікованих систем збирання та обробки даних прискорених випробувань складних виробів. Запропоновані аналітичні залежності, які дозволяють визначити точність і достовірність випробувань, та можуть бути рекомендовані для оцінки якості різних складних виробів у процесі їхньої експлуатації з використанням параметрів оцінки стадії передруйнування.*

**Ключові слова:** уніфіковані системи, прискорені випробування, структурно-фазові неоднорідності, комплекс діагностичної апаратури.

A.S. ZENKIN, A.P. TSYGANOK

Kyiv National University of Technologies and Design

### USING ENERGY METHOD FOR CONTROL EVALUATION STRESS-STRAIN STATE OF PARTS IN MANUFACTURING, OPERATION AND REPAIR OF COMPLEX PRODUCTS AND PROCESSING DATA FOR ACCELERATED TESTS OF COMPLEX PRODUCTS

*Abstract – Develop a unified system of data collection and processing accelerated tests for assessing the stage of refractor surface layer of parts of complex products at all stages of their life cycle, using the power control method.*

*The work is dedicated to the development of standardized data collection and data processing accelerated testing of complex products. On the basis of comprehensive experimental studies demonstrated that the use of direct measurement of the capacity of the external energy in the ionization zone surface control parts ensures simultaneous, high accuracy and reliability of the analysis and processing of accelerated testing of complex products. It is shown that the information about the structural and phase inhomogeneities for the functioning of a complex diagnostic equipment can be obtained from a study of the potential distribution of the external energy of the place of localization of irregularities by discriminating meters, which underlies the development of normative and technical documents for the accelerated tests.*

*Developed reference data base (methodology, algorithm, control assembly chart) is approved on the number of engineering plants of Ukraine/ Solves scientific and technical problem concerning development of uniform data collection and processing systems of complex (items) articles accelerated tests for assessment of items deflected mode on the base of the energy method of control while production, operation and maintenance of complex articles (items).*

**Keywords:** unified system, accelerated testing, structural phase inhomogeneities, complex diagnostic equipment.

#### Вступ

В сучасних умовах експлуатація (Е) і ремонт (Р) складних виробів за технічним станом ускладнені через відсутність достовірної інформації про тонкі поверхневі шари деталей і вузлів з наявними структурно-фазовими неоднорідностями. Зародження і розвиток небезпечних дефектів, що призводять до руйнування деталей складних виробів, починається в поверхневому шарі глибиною до 10 мкм. Можливості сучасних методів неруйнівного контролю (СМНК) з оцінки стану поверхневого шару на глибинах від 0,1 до 10 мкм обмежені. Таким чином, вирішення проблеми підвищення достовірності оцінки стану поверхні деталей складних виробів розширює можливості по реалізації стратегії Е і Р складних виробів по технічному стану [1, 2].

Сучасні методи неруйнівного контролю не вирішують проблеми достовірної оцінки структурно-фазової однорідності тонкого шару металеві поверхні. Для вирішення цієї проблеми можуть бути застосовані сучасні фізичні зондувальні і емісійні методи аналізу, які вимагають наявності дорогого і малопродуктивного вакуумного обладнання, що ускладнює їх практичне застосування. В даний час почали використовувати енергетичний метод оцінки с-ф. неоднорідності металеві поверхні, заснований на оцінці аномалій розподілу поверхневого потенціалу над місцями локалізації неоднорідності.

Існуючі невакуумні методи вимірювання поверхневої енергії та прилади для їх реалізації не забезпечують виокремлення корисної інформації про с-ф. неоднорідності поверхні металевих деталей і вузлів на тлі цілого ряду чинників, що заважають. Тому актуальність розробки уніфікованих систем збору і обробки даних прискорених випробувань складних виробів, з одного боку, обумовлена диспропорцією між можливостями енергетичного контролю, що забезпечують інформаційну надмірність про с.-ф. неоднорідностях поверхні на початкових стадіях їх розвитку, і можливістю ефективного контролю із застосуванням відомих засобів і методів. З іншого боку, сучасний стан уніфікованих систем збору і обробки даних прискорених випробувань складних виробів, що характеризується слабким зв'язком теорії і експерименту, відсутністю методик, апаратури контролю, диктує необхідність проведення узагальнюючих наукових досліджень [4].

#### Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень

Аналіз методів контролю для визначення стану поверхневих прошарків деталей дозволив встановити, що серед різноманіття сучасних методів неруйнівного контролю найбільш перспективним для досягнення поставлених задач є енергетичний метод контролю. Проте, широке використання цього методу в

промисловості потребує вирішення комплексу задач, пов'язаних, насамперед з одержанням залежностей, які дозволяють зв'язати інформативні технологічні параметри з оцінкою якості напружено-деформованого стану поверхні деталей, що, в свою чергу, дозволяє приймати рішення про подальшу експлуатацію цих складних виробів по їхньому технічному стану. Встановлено, що ефективність використання енергетичного методу в значній мірі залежить від вирішення питань розробки нормативно-технічної документації, що забезпечує планування, вибір умов і режими випробувань, а також від створення системи, що дозволяє оперативно одержувати, аналізувати, обробляти і використовувати результати прискорених випробувань для оцінки достовірної надійності деталей складних виробів [3, 5, 6].

Усе вище викладене дозволило сформулювати ціль та подальші задачі досліджень.

Метою статті є розробка уніфікованої системи збирання та обробки даних прискорених випробувань для оцінки стадії передруйнування поверхневого прошарку деталей складних виробів на всіх етапах їхнього життєвого циклу із використанням енергетичного методу контролю.

Для досягнення поставленої проблеми передбачено вирішити такі завдання:

- обґрунтувати можливість здійснення збору й оцінки даних про стадію передруйнування деталей складних виробів із застосуванням енергетичного методу контролю за інформативними параметрами структурно-фазової неоднорідності контрольованої поверхні;
- розробити методику прискорених випробувань складних виробів, використовуючи прямий вимір потенціалу зовнішньої енергії при іонізації зони контролю поверхонь деталей, що забезпечує одночасне одержання, аналіз та обробку даних результатів випробувань;
- одержати експериментальні залежності, які дозволяють оцінити стадію передруйнування поверхні складних виробів і на їхній основі розробити уніфіковану систему збирання та обробки даних з енергетичної оцінки структурно-фазових неоднорідностей металеві поверхні;

### Результати проведених досліджень

В результаті досліджень були розглянуті принципи використання стандартних та уніфікованих методів і систем для оцінки показників надійності складних виробів за результатами скорочених випробувань.

Для скорочення тривалості випробувань складних виробів за значеннями вихідних (енергетичних) параметрів поверхневого прошарку деталей запропоновано використовувати параметричну модель в якій застосувати статистичну класифікацію, яка базується на теорії розпізнавання.

Визначено принципи побудови системи контролю локальної оцінки аномалій розподілу значень зміни потенціалу зовнішньої енергії (ДПЗЕ). Обґрунтовано вибір загальних моделей об'єкту контролю і каналу спостереження. Визначено принципи побудови системи енергетичного контролю локальної с.-ф. неоднорідності металевих поверхонь та алгоритм обробки багатопараметричної інформації, що дає можливість значно скоротити час випробувань із забезпеченням заданої достовірності випробувань.

Узагальнена схема системи контролю локального оцінювання аномалій розподілу значень Дпзе наведена на рис.1.

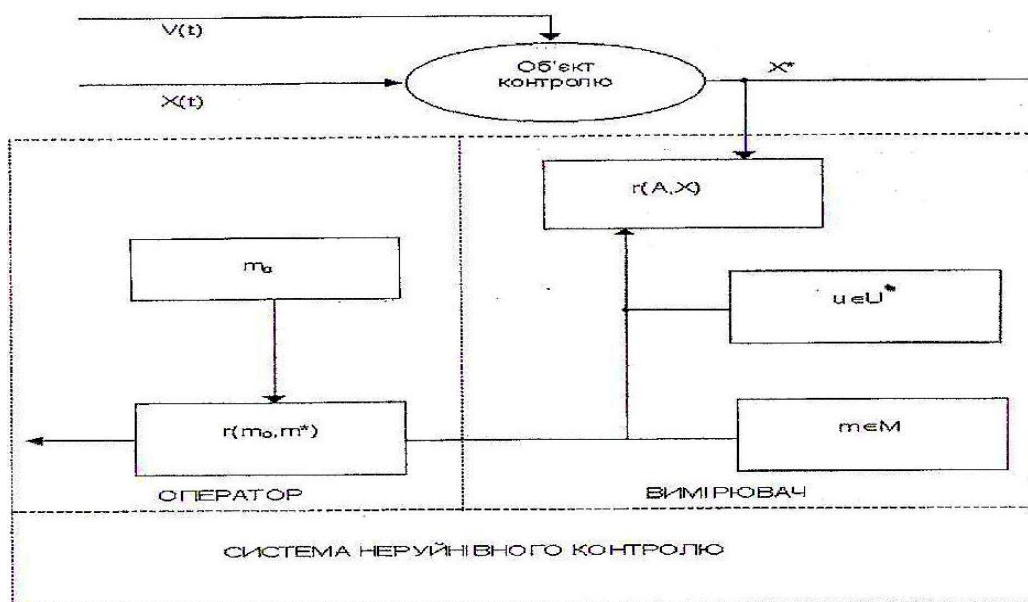


Рис. 1. Загальна схема системи неруйнівного контролю складних виробів

$X^*$  – кінцеве значення параметра;  $r(A, X)$  – правило порівняння;  $r(m_0, m^*)$  – правило порівняння для оператора;  $u \in U^*$  – керуючі дії;  $m \in M$  – множина моделей руху ОК у просторі станів;  $m$  – вимір значення ОК

Для виявлення локальної неоднорідності, збільшення кількості виявлених неоднорідностей та підвищення точності вимірювань значень параметрів виявлених неоднорідностей при побудові системи

контролю пропонується виконувати: розщеплення зони іонізації не менш, ніж на чотири компоненти ;зондування зони іонізації кожного компонента ізольованим електродом; підсумування першого та другого, третього та четвертого, першого і третього, другого та четвертого компонентів та порівняння між собою різниці потенціалів парціальних зон іонізації ;встановлення порогу різниці потенціалів, за якою приймається рішення про наявність неоднорідності при перевищенні порогів; генерація значень параметрів неоднорідностей, значень різниці потенціалів, що очікується, і через функціональний перетворювач встановлення зв'язку між ними;порівняння їх з отриманими неузгодженостями різниці потенціалів парціальних зон іонізації, фільтрація результату, підсилення його пропорційно швидкості зміни параметра неоднорідності, впливу через функціональний перетворювач і управляючий елемент на генератор; по закінченню впливу зчитування з виходу генератора значення вимірюваного параметру неоднорідностей.

У цілому процес вимірювання параметрів неоднорідностей запропоновано виконувати в послідовності, що надана на рис.2.

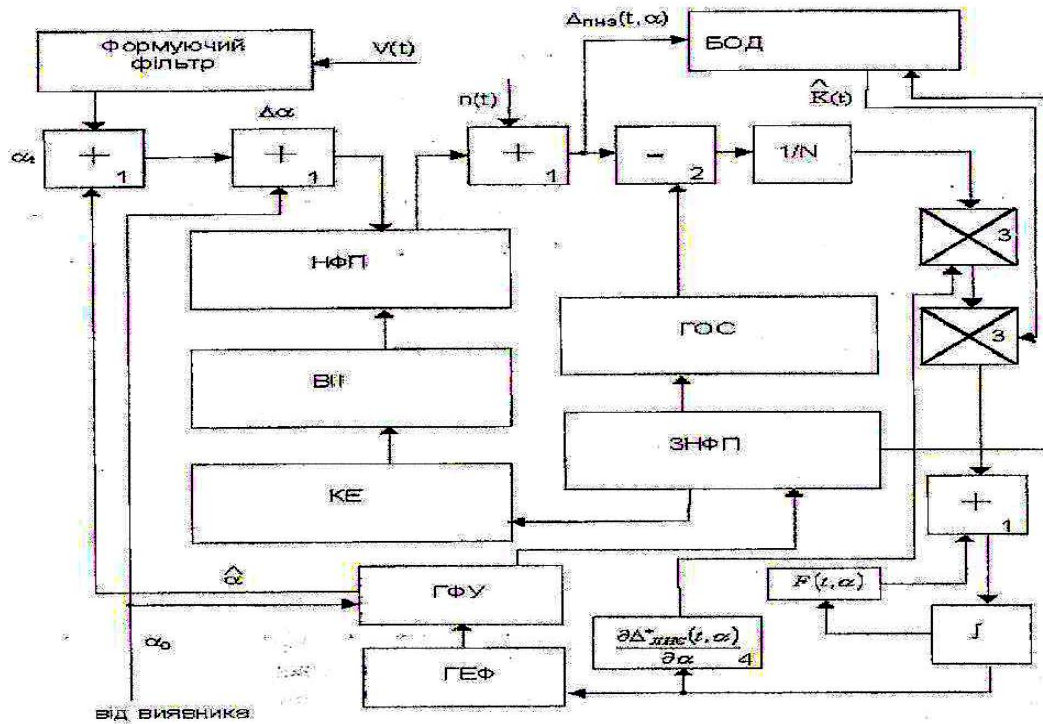


Рис. 2. Оптимальна схема вимірювача значень параметрів неоднорідності деталей складних виробів  
 1 – суматор; 2 – від’ємник; 3 – помножувач; 4 – швидкість зміни різниці потенціалів поміж ВЕ і ВР, що характеризується зміною компонента;  $\alpha_0$  – початкове значення;  $\hat{\alpha}$  – оцінка значення параметра неоднорідності;  $\alpha(t)$  – поточне значення параметра неоднорідності.

Запропоновано аналітичні залежності, які дозволяють визначити точність і достовірність випробувань, та можуть бути рекомендовані для оцінки якості різних складних виробів у процесі їхньої експлуатації з використанням параметрів оцінки стадії попереднього руйнування.

В результаті проведених досліджень було розроблено алгоритм прискорених програмних випробувань виробів з урахуванням властивостей, параметрів і характеристик цих складних виробів, вибору засобів випробувань (рис. 3)

Вимоги до забезпечення точності та достовірності випробувань мають наступний вигляд:

$$d_{зипр_1} \leq d_{зипр_2}, P_f(d_{зипр_1}) \geq P_3(d_{зипр_2}) \quad (1)$$

де  $d_{зипр_1}$ ,  $d_{зипр_2}$  – відповідно фактичне і припустиме значення граничних похибок результатів випробувань (характеристики точності випробувань);

$P_f(d_{зипр_1})$ ,  $P_3(d_{зипр_2})$  – відповідно фактичне та задане значення ймовірностей настання подій  $d_{зипр_1}$  і  $d_{зипр_2}$  (характеристики достовірності випробувань).

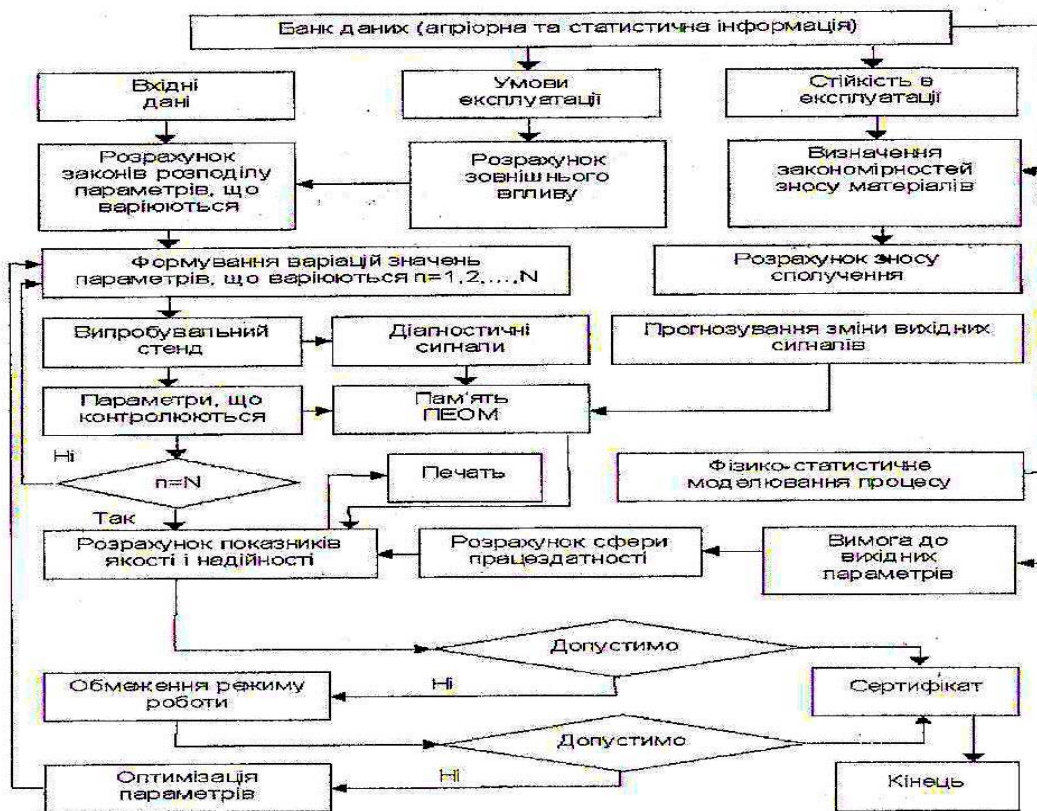


Рис. 3. Алгоритм прискореного програмного випробування складних виробів

Умови оптимізації по забезпеченню точності та достовірності випробувань мають вигляд:

$$d_{\text{випр ф}} \rightarrow d_{\text{випр д}}, P_{\text{ф}}(d_{\text{випр ф}}) \rightarrow P_3(d_{\text{випр д}}) \quad (2)$$

Похибка випробування  $d_{\text{випр ф}}$  в узагальненому вигляді представлена формулою:

$$d_{\text{випр ф 1}} = d_{\text{вим 1}} + \{d_1 \times F_{1N}(\xi_1)\} + \{d_2 \times F_{2N}(\xi_2)\} + \dots + \{d_m \times F_{mN}(\xi_m)\} \quad (3)$$

де  $d_{\text{вим 1}}$  – похибка виміру і-го параметра, що визначається при випробуванні;  $d_j$  – похибка відтворення або виміру j-го параметра, умови або режиму випробування для всіх  $i = 1 \dots, m$ ;  $F_{jN}(\xi_j)$  – похідна функції залежності параметра, що визначається при випробуванні, від параметра  $\xi_j$  в точці  $\xi_j = \xi_{jN}$ ;  $\xi_{jN}$  – номінальне значення параметра  $\xi$ ;  $m$  – кількість врахованих умов та режимів випробувань.

Виходячи з теоретичної моделі розрахунку похибки випробувань (3), для інженерних цілей граничну похибку результатів випробувань за і-м параметром продукції знаходять за формулою:

$$d_{\text{випр ф 1}} = d_{p_i} + \sum_{j=1}^m d_{p_j} \left( \frac{d_j}{d \xi_j} \right)_{\xi_j = \xi_{jN}} \quad (4)$$

де  $d_{p_i}$  – граничне значення похибки вимірів і-го параметра продукції;  $d_{p_j}$  – граничне значення похибки відтворення j-ї умови або режиму випробувань продукції;  $\left( \frac{d_j}{d \xi_j} \right)_{\xi_j = \xi_{jN}}$  – лінійна апроксимація функції  $F_{jN}(\xi_j)$

впливу умов випробувань на і-й, що визначається під час випробування в точках номінальних значень умов випробувань;  $m$  – число врахованих умов і режимів  $\xi_j$ , що одночасно впливають на виріб при його використанні за призначенням;  $d \xi_j$  – мале відхилення j-ї умови або режиму  $\xi_j$  випробувань від номінального значення  $\xi_{jN}$ ;  $d_i$  – мала зміна і-го параметра виробу, що викликана відхиленням  $d \xi_j$  і яка визначається при випробуванні.

Обґрунтоване значення  $d_{\text{випр ф 2}}$  знаходиться з методик випробувань конкретного складного виробу.

При відсутності обґрунтувань оптимальне значення  $d_{\text{випр д}}$  може бути визначене по мінімуму цільової функції втрат  $F_{\text{цв}}(d_{\text{випр д}})$ :

$$F_{\text{цв}}(d_{\text{випр ф 2}}) = F_{\text{пк}}(d_{\text{випр ф 2}}) + F_3(d_{\text{випр ф 2}}) \rightarrow \min, \quad (5)$$

де  $F_{\text{цв}}(d_{\text{випр ф 2}})$  – функція від  $d_{\text{випр ф 2}}$  втрат якості випробувань виробу;  $F_3(d_{\text{випр ф 2}})$  – функція від  $d_{\text{випр ф 2}}$  витрат на випробування.

Оптимальне значення  $d_{\text{випр д}}$  визначається з умов:

$$\frac{\partial F_{\text{цв}}(d_{\text{випр ф 2}})}{\partial d_{\text{випр ф 2}}} = 0; \quad \frac{\partial^2 F_{\text{цв}}(d_{\text{випр ф 2}})}{\partial d_{\text{випр ф 2}}^2} > 0. \quad (6)$$

$d_{\text{випр ф 2}}$  – розраховується за формулою (4);  $P_3(d_{\text{випр ф 2}})$  залежно від важливості продукції вибирається із ряду:



0,90; 0,95; 0,99;  $P_f(d_{\text{випр}_j})$  визначається залежно від достовірності розрахунку  $d_{\text{випр}_j}$  за формулою (4), яка залежить від достовірності (ймовірності) визначення  $d_{\text{р}_i}$  та  $d_{\text{р}_j}$ . Добуток достовірностей дасть  $P_f(d_{\text{випр}_j})$   $d_{\text{р}_i}$  і  $d_{\text{р}_j}$  (див. 4), що розраховуються за формулами підсумовування складових похибок.

### Висновки

Проведені дослідження дали можливість встановити закономірності, які дозволяють використовувати прямий вимір потенціалу зовнішньої енергії при іонізації зони контролю поверхонь деталей, що забезпечує одночасне одержання, аналіз та обробку даних результатів прискорених випробувань складних виробів.

Розроблено методики і процедури, що дозволяють оцінити стадію передруйнування поверхонь деталей складних виробів, і на їхній основі створити уніфіковану систему збору й обробки даних з енергетичної оцінки передруйнування поверхні металевих деталей. Для практичних цілей удосконалено методологію використання стандартизованих методів контролю для оцінки показників надійності уніфікованих систем, розроблені схеми тилового технологічного процесу та створена нормативно-технічна база для функціонування системи енергетичного контролю та окремих засобів виміру для локальної оцінки структурно-фазової неоднорідності металевих поверхонь при температурних впливах на деталі окладних виробів.

Техніко-економічний аналіз і результати впровадження досліджень у промисловість дозволяють зробити висновок, що система збирання та обробки даних прискорених випробувань у цілому ряді випадків забезпечує новітнє та якісне вирішення технічних задач із вагомим економічним ефектом, а розроблена нормативно-технічна документація дозволяє здійснювати і регламентувати роботу комплексу діагностичної апаратури для контролю структурно-фазових неоднорідностей у тонкому поверхневому прошарку деталей складних виробів.

### Література

1. Варжапетян А.Г. Кваліметрія : [учеб. пособие] / Варжапетян А.Г. – СПб., 2005. – 176 с.
2. Зенкін М.А. Стандартизація і уніфікація методів оцінки показників надійності за результатами скорочених випробувань / Зенкін М.А., Ахмед Махмуд Ахмед Гаванмех, Копаньова О.В // Вісник Київського Державного університету технологій та дизайну. – 2001. – № 1. – С. 125–128.
3. Роль испытаний в обеспечении качества продукции, классификация и структура испытаний / Зенкин А.С., Гаванмех А.М., Швачий В.М., Бычкова К.Н. // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів : Зб. наук. пр. – К. : НТУ, ТАУ. – Вип. 12. – 2001. – С. 39–45.
4. Разработка алгоритма обработки данных при определении микротрещин на поверхности деталей и узлов / Зенкин А.С., Ахмед Махмуд Ахмед Гаванмех, Заец М.А., Швачий В.М. // Вестник КПИ. Машиностроение. – 2001. – Вып. 41. – С. 60–64.
5. Метрологія: теорія і нормативне забезпечення : [навч. посібник] / [Волков О.І., Величко О.М., Хімічева Г.І. та ін.] ; за заг. ред. А.С. Зенкіна. – К. : Вища шк., 2008. – 335 с.
6. Стандартизація та управління якістю : [навчальний посібник] / [Зенкін А.С., Хімічева Г.І., Сфіменко Н.А., Соловійов В.М.]. – Черкаси : Вид-во ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2008. – 172 с.

### References

1. Varzhapetian AG Kvalymetryya [Textbook. Textbook] / Varzhapetian AG - St. Petersburg., 2005. - 176 p/
2. Zenkin M.A., Ahmed Mahmoud Ahmed Havanmeh, Kopanova O. Standardization and unification of methods for assessing the reliability of figures based on the results of abbreviated tests // Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. - 2001. - № 1. - P. 125-128.
3. Zenkin A.C., Havanmeh A.M., Shvachyy V.M., Bychkova K.N. The role of testing to ensure product quality, classification and structure of tests. // System management methods, technology and organization of production, repair and maintenance of motor vehicles 36. sciences. etc. - K.: NTU, TAU. - Vol. 12. - 2001. - P. 39-45.
4. Zenkin A.C., Ahmed Mahmoud Ahmed Gavanmeh, Zaets M.A., Shvachy V.M Development of data processing algorithm in determining the microcracks on the surface of parts and assemblies // Bulletin of the CRPD. Engineering - Vol. 41. -2001. - S. 60-64.
5. Metrology: Theory and regulatory support: [teach. user] / [El Volkov, A. Velichko, Himicheva GI and others.]; by the Society. eds. AS Zenkina. -: Higher HQ., 2008. - 335 p.
6. Standardization and quality control [Tutorial] / [Zenkin A.S, Himicheva G.I Iefimenko NA, Solovyev V.]. - Cherkasy: Type of Chernivtsi National University named after Bogdan Khmelnytsky, 2008. - 172 p.

Рецензія/Peer review : 25.4.2014 р.

Надрукована/Printed : 17.5.2014 р.

Рецензент: Піпа Б.Ф. , д.т.н., проф., кафедра інженерної механіки, КНУТД