

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту



ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

VI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ



ITT2025

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

**Тези доповідей 6-ої міжнародної
науково-технічної конференції**

«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Харків 2025

6-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 24–26 листопада 2025 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2025. – 300 с.

Збірник містить тези доповідей науковців вищих навчальних закладів України та інших країн, підприємств транспортної та машинобудівної галузей за чотирьма напрямками: розвиток інтелектуальних технологій при управлінні транспортними системами; транспортні системи та логістика; інтелектуальне проектування та сервіс на транспорті; функціональні матеріали та технології при виготовленні та відновленні деталей транспортного призначення.

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2025

Секція
**ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ
ВИГОТОВЛЕННІ І ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

УДК 621.9.02.002.3.54

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ВИРОБУ ЗА ПОКАЗНИКАМИ
СКЛЕРОМЕТРІЇ ЙОГО ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ**

**DETERMINATION OF THE RESOURCE OF A PRODUCT BASED ON THE
INDICATORS OF THE SCLEROMETRY OF ITS SURFACE LAYER**

Чл.-кор. НАН України С.А. Клименко

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ)

Corr. Member of NAS of Ukraine S.A. Klymenko

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the NASciences of Ukraine (Kyiv)

Стан та властивості матеріалу поверхневого шару виробу є найважливішим показником, який обумовлює його експлуатаційні можливості, тому що у багатьох випадках вихід виробу з ладу починається саме з поверхні.

Перспективним методом визначення кількісних показників механічних властивостей поверхневого шару виробів є склерометрія – сканування нормально навантаженим індентором з фіксацією сили, яка потрібна на деформування.

Розроблено декілька варіантів таких досліджень – «класична» склерометрія, деформаційно-спектральний аналіз, трибо-спектральний аналіз, багатопрхідний метод випробування подряпинням та ін.

Сканограма зусилля на інденторі складається з ділянок, знак похідної на яких характеризує дві стадії деформування поверхневого шару виробу: на ділянках з позитивною похідною має місце стадія пружної деформації і пружного деформування системи кріплення індентора, на якій вона запасає енергію, а на ділянках з негативною похідною – стадія розвантаження індентора та переважного пластичного деформування.

Представивши модель поверхневого шару як систему випадково розподілених структурно-енергетичних бар'єрів різної потужності, що перешкоджають поширенню пружно-пластичних деформацій, властивості поверхневого шару досліджуваного матеріалу оцінюються комплексом чисельних характеристик.

В різних варіантах досліджень для визначення сукупності властивостей міцності та деформаційних властивостей матеріалу поверхневого шару використовуються різні характеристики, у тому числі, такі як мають

термодинамічну інтерпретацію: m – математичне очікування тангенціальної складової сили контактної взаємодії індентора з поверхневим шаром як характеристики мікротвердості матеріалу; D – дисперсія сили контактної взаємодії, що характеризує розкид середньої потужності, що витрачається на деформування поверхневого шару; S – енергетична спектральна густина розподілу сили контактної взаємодії, що характеризує особливості деформування поверхневого шару уздовж траси сканування; $f_{\text{ср}}$ – середня частотна гармоніка, яка відповідає 50%-му рівню енергії контактної взаємодії, виходячи з рівності низько- та високочастотних складових спектру; – величина активаційного бар'єру запуску процесу деформування; – показник, який характеризує виробництво ентропії під час пластичного деформування поверхневого шару виробу при склерометруванні ін.

З сканограми випливає, що точки пікових навантажень на індентор характеризують твердість структурних складових досліджуемого поверхневого шару матеріалу – це активаційний бар'єр, перевищення якого запускає процесу пластичного деформування досліджуваного поверхневого шару виробу і виробництво в ньому ентропії.

Виробництво ентропії під час пластичного деформування поверхневого шару виробу при склерометрії пов'язано із дисперсією відхилення індентора

$$H = \frac{k}{T} ND',$$

де N – кількість точок сканограми; D' – дисперсія величини відхилення індентора; k – постійна.

З урахуванням величини активаційного бар'єру, перевищення якого запускає механізм виробництва ентропії, рівняння ресурсу досліджуваного поверхневого шару виробу

$$N = \left[\frac{([H] - H_0)}{H_{\text{ср}}} \right] / \int_{P_2}^{P_1} g(P) dP,$$

де N – кількість точок сканограми; $g(P)$ – імовірність розподілу величини навантаження; P_i – найбільше значення навантаження; $H_{\text{ср}}$ – середня величина виробленої ентропії; $[H]$ – критичне значення ентропії; H_0 – величина ентропії у поверхневому шарі, що обумовлена історією виробу.

Скориставшись зв'язком між термодинамічною ентропією та інформаційною ентропією за Шенноном, отримуємо

$$H_0 = \sum_{i=1}^6 K_i H_i,$$

де H_i – інформаційна ентропія, зумовлена ймовірнісним характером теплових коливань атомів, хімічного складу, деформацій поверхневого шару, шорсткості поверхні деталі; K_i – термодинамічна вага одного біта інформації,

З врахуванням того, співвідношення між окремими складовими ентропії в процесі функціонування виробу підпорядковується принципу мінімуму вільної енергії, з використанням даних склерометрії маємо

$$[H] = \sum_{i=1}^6 K_i H_i + \frac{K}{TD't},$$

де t – час; K – постійна, яка враховує зв'язок між навантаженням індентора та його переміщенням.

З отриманого слідує, що тривалість проміжку часу до досягнення поверхневим шаром стану точки біфуркації визначається співвідношенням її початкової дефектності та швидкістю збільшення дефектності структури в процесі експлуатації. Ранжування матеріалів виробів за їх довговічністю може бути проведено на основі порівняння дисперсій сили контактної взаємодії їхнього поверхневого шару з індентором при склерометрії.

УДК 620.1:004.738.5

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ: ВБУДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНОВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

DIGITAL TRANSFORMATION OF METROLOGY LABORATORIES: EMBEDDED INFORMATION MEASURING SYSTEMS FOR FUNCTIONAL MATERIALS CHARACTERIZATION

*д.т.н., професор Л.А. Тимофєєва¹, Dr. hab. inż., prof. uczelni Z. Krzysiak²,
к.т.н., доцент М.Г. Равлюк¹, О.В. Сергєєв¹*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²University of Life Sciences in Lublin (Poland)

*D.Sc. (Tech.), Professor L.A. Tymofieieva¹, Dr. hab. inż., prof. uczelni Z. Krzysiak²,
Cand. of Eng. Sci. M.G. Ravliuk¹, O.V. Serhieiev¹*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²University of Life Sciences in Lublin (Poland)

Традиційні метрологічні лабораторії, побудовані на архітектурі централізованого комплексу вимірювальних приладів, поступово вступають у епоху розподіленої цифрової інфраструктури [3] [4]. Для характеристики сучасних функціональних матеріалів необхідна нова парадигма: інтегровані смарт-сенсори з вбудованою передоброблю даних, хмарною обробкою результатів та автоматичною оцінкою невизначеності [1]. Це найбільше актуально для лабораторій, які працюють з гідрофобними, терморегульованими та електро-активними покриттями, де традиційні методи не забезпечують достатньої швидкості та надійності контролю [4].

Модель інформаційно-вимірювальної системи лабораторії

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) сучасної лабораторії — це розподілена архітектура, в якій окремі фізичні датчики (temperature sensors, humidity sensors, conductivity probes, spectrophotometers) підключаються до периферійних обчислювальних вузлів (edge nodes) [3][4], а ті, у свою чергу,