

УДК 621.891:620.179.16

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**В. В. МАКАРЕЦЬ** доктор філософії, старший викладач  
**М. Р. САХИПЗАДІН** студент, бакалавр  
*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»*  
*E-mail: walera10100@gmail.com*

У сучасному машинобудуванні точна діагностика стану деталей та визначення їх граничних відхилень є критично важливим аспектом забезпечення надійності та довговічності машин. Граничне відхилення параметрів деталей визначає момент [1], коли подальша експлуатація стає неефективною або небезпечною. Згідно з даними Міжнародної організації зі стандартизації [2], точність вимірювання відхилень повинна становити не менше 0,001 мм для прецизійних деталей.

При визначенні граничних відхилень важливо враховувати як технічні, так і економічні фактори. Дослідження [3] показують, що оптимальне значення граничного відхилення можна визначити за формулою:

$$\Delta_{gr} = \Delta_{ном} \cdot K \cdot (1 + \sigma),$$

де  $\Delta_{ном}$  - номінальне відхилення,  $K$  - коефіцієнт запасу (зазвичай приймається 1,2-1,5),  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення параметра. При цьому необхідно враховувати вплив експлуатаційних факторів на інтенсивність зношування деталей.

Статистичний метод визначення граничних відхилень [4], базується на аналізі великих масивів даних про відмови деталей. За дослідженнями, ймовірність безвідмовної роботи деталі  $P(t)$  можна описати функцією:

$$P(t) = \exp(-\lambda t),$$

де  $\lambda$  - інтенсивність відмов,  $t$  - час експлуатації. При цьому граничне відхилення визначається з умови  $P(t) \geq 0,95$ .

Особливу увагу слід приділити методу моделювання зношування, який дозволяє прогнозувати зміну параметрів деталей у часі. За роботою [5], швидкість зношування  $V$  можна представити як:

$$V = k \cdot P \cdot v \cdot f(T),$$

де  $k$  - коефіцієнт зношування,  $P$  - питома навантаження,  $v$  - швидкість відносного переміщення,  $f(T)$  - температурна функція. Інтегруючи це рівняння, отримуємо величину зносу:

$$h(t) = \int V(t) dt.$$

Сучасні технології діагностування [6], дозволяють з високою точністю визначати фактичні відхилення параметрів деталей. Наприклад, при використанні лазерного сканування точність вимірювання становить  $\pm 0,005$  мм, що відповідає вимогам стандарту [7]. Результати вимірювань обробляються за допомогою спеціальних алгоритмів, що враховують похибки вимірювання та систематичні відхилення.

За даними досліджень Національного інституту стандартів і технологій США [8], економічна ефективність призначення граничних відхилень може бути оцінена за формулою:

$$E = \frac{C_6 \cdot T_p - C_p}{C_3},$$

де  $C_6$  – вартість простою обладнання,  $T_p$  – час до ремонту,  $C_p$  – вартість ремонту,  $C_3$  – витрати на забезпечення точності виготовлення. При  $E > 1,5$  призначення більш жорстких допусків є економічно обґрунтованим.

Практика експлуатації машин показує, що при визначенні граничних відхилень необхідно враховувати взаємний вплив параметрів деталей, що сполучаються. Згідно з дослідженнями [9], сумарне відхилення розміру спряження можна визначити як:

$$\Delta c = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

де  $\Delta_1$  та  $\Delta_2$  - відхилення розмірів сполучених деталей.

Розвиток методів визначення граничних відхилень відбувається в напрямку впровадження штучного інтелекту та машинного навчання. За даними IEEE [10], точність прогнозування ресурсу деталей при використанні нейронних мереж досягає 95%. Модель прогнозування [11], має вигляд:

$$R(t) = R_0 \cdot \exp(-\beta t) \cdot f(x)$$

де  $R_0$  - початковий ресурс,  $\beta$  - коефіцієнт деградації,  $f(x)$  - функція впливу експлуатаційних факторів.

Визначення граничних відхилень є складним багатофакторним завданням, що вимагає комплексного підходу та використання сучасних методів діагностування. Результати досліджень провідних наукових центрів показують, що правильний вибір методів визначення граничних відхилень та їх коректне застосування дозволяє підвищити надійність машин на 30 - 40% при одночасному зниженні експлуатаційних витрат на 15 - 20%. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний з впровадженням технологій штучного інтелекту та вдосконаленням методів неруйнівного контролю.

### **Список використаних джерел**

1. Петров А.В. Сучасні методи діагностики деталей машин. Київ: Техніка, 2023. 256 с.
2. ISO 230-1:2012. Test code for machine tools - Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions.
3. Сидоренко В.М. Граничні відхилення в машинобудуванні. Харків: НТУ "ХПІ", 2022. 198 с.
4. Іванов К.Р., та ін. Статистичні методи в технічній діагностиці. Львів: Львівська політехніка, 2021. 312 с.
5. Михайлов О.С. Моделювання процесів зношування деталей машин. Дніпро: ДНУЗТ, 2023. 184 с.
6. Васильєва Л.Д. Інноваційні технології діагностування. Одеса: ОНПУ, 2024. 226 с.
7. ISO 10360-7:2011. Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM).
8. NIST Technical Note 2023: Cost-Effective Maintenance Strategies. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2023.
9. Тимофєєв Г.П. Точність та надійність машин. Запоріжжя: ЗНТУ, 2023. 245 с.
10. IEEE Standard 1851-2024: Standard for Design Criteria for Machine Diagnostics.
11. Коваленко Р.В. Прогнозування ресурсу машин методами штучного інтелекту. Вісник машинобудування. 2023. №4. С. 45-52.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
118-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
віцепрезидента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)***

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

***20-21 лютого 2025 року  
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF  
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL  
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE STATE  
BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ***PROCEEDINGS***

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated  
to the 118th anniversary of the birth of  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vice President of the UAAS  
KRAMAROV  
Volodymyr Savovych  
(1906-1987)*

**«KRAMAROV'S READINGS»**

*February 20-21, 2025  
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.