

УДК 681.518

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2025-27-14

Кубай А. М., Пташенчук В. В., Красовський В. В.

Луцький національний технічний університет

ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА НА БАЗІ ПРОФІЛОГРАФА-ПРОФІЛОМЕТРА 252

Проведено розроблення комп'ютеризованої вимірювальної системи для оцінки стану шорсткості поверхні матеріалу на основі профілографа-профілометра моделі 252. Оцифрування профілографа-профілометра за допомогою АЦП USB-4702 забезпечило підвищення точності та можливість автоматизації процесів вимірювання. Застосування програмного забезпечення для оцінки результатів профілометрії поверхонь відповідальних деталей дало можливість проведення якісного автоматизованого аналізу, візуалізації та інтерпретації даних вимірювань. Проведено калібрування вимірювального обладнання для покращення точності вимірювання шорсткості поверхонь виробів. Отримано профілограми дослідних зразків на профілографі-профілометрі 252 в цифровій формі.

Ключові слова: профілометрія, вимірювальна система, шорсткість, перетворювач.

Постановка проблеми. Вимірювання величини шорсткості поверхонь деталей після механообробки є актуальним та важливим завданням по забезпеченню якості, надійності та довговічності виробів. Дослідження мікронерівностей поверхні є критично важливим у сфері виробництва, оскільки характеристики шорсткості функціональних поверхонь в значній мірі визначають їх зношення в ході тертя а також відповідність галузевим стандартам та технічним вимогам. Тому вдосконалення існуючих методів дослідження мікронерівностей та засобів контролю параметрів шорсткості залишається актуальним завданням сьогодення для забезпечення надійності роботи рухомих та відповідальних механізмів і пристроїв машинобудування, приладобудування та інших галузях.

Проблема дослідження. Мікронерівності поверхонь деталей механізмів та вузлів з рухомими елементами безпосередньо впливають на точність, надійність і довговічність машин і приладів, що робить контроль шорсткості ключовим аспектом в забезпеченні необхідного рівня їх якості [1, 5]. Вимірювання шорсткості проводиться на різних стадіях виробництва для контролю якості обробки та зниження виробничих витрат, пов'язаних із дефектами. Актуальним завданням є розробка та вдосконалення приладів мікропрофілометрії, таких як профілометри та методів дослідження нерівностей поверхонь для більш точного та ефективного контролю параметрів шорсткості, що стимулює подальший розвиток у цій галузі.

Профілометри контактного принципу дії, які застосовують індуктивний щуповий датчик не пристосовані до проведення дистанційних вимірювань. Реєстрація мікронерівностей проводиться магнітоелектричним самопишучим механізмом (рис. 1.2) на паперовому носії інформації (рис. 1) термічним способом [4].

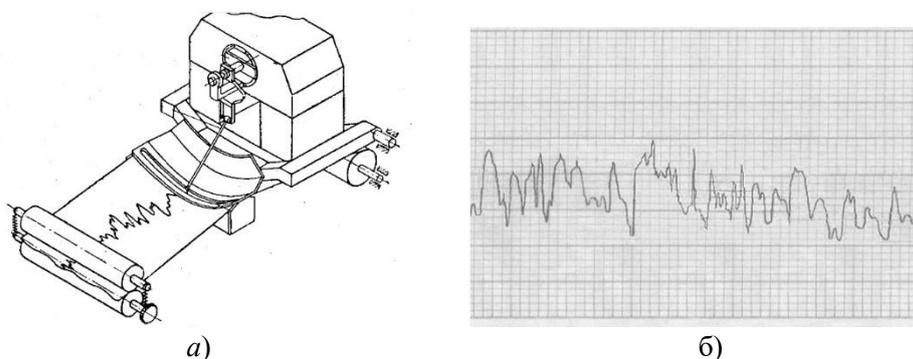


Рисунок 1 – Магнітоелектричний механізм запису а та профілограма поверхні б

Отримання інформації про шорсткість поверхні в аналоговому вигляді та відображення мікронерівностей електромеханічним способом є малоефективним через складність процесу обробки інформації. Для забезпечення ефективної обробки вимірювальної інформації стосовно величини мікронерівностей поверхні пропонується обладнати профілограф-профілометр

аналого-цифровим перетворювачем, який буде обробляти сигнал від індуктивного перетворювача та за допомогою програмного забезпечення відображати значення шорсткості поверхні та профілограми нерівностей на екрані персонального комп'ютера, що дасть можливість легко та швидко оцінювати якість оброблюваної поверхні та проводити ефективний контроль її стану.

Аналіз літературних джерел. Сучасні матеріали, вироби та технології їх отримання вимагають ефективних способів контролю параметрів якості деталей в ході їхнього виготовлення на основі існуючих або нових методів дослідження мікронерівностей.

Параметри мікронерівностей деталі визначають такі властивості як герметичність виробу, стійкість до корозії, зношення та цілий ряд властивостей поверхні матеріалу, зокрема теплових, гідродинамічних, радіаційних, магнітоелектричних та оптичних [2]. До основних сучасних науково-інженерних розробок способів діагностики стану шорсткості поверхні відносяться атомно-силова мікроскопія, контактна профілометрія та оптична мікроінтерферометрія [3]. На основі наведених способів відбувається покращення методів контролю шорсткості поверхонь деталей та виробів та проводяться пошуки оптимальних методів по досягненню максимально-можливих значень шорсткості для різних типів оброблюваних поверхонь деталей найрізноманітніших матеріалів. Усі існуючі методи вимірювання величини шорсткості та мікронерівностей можна поділити на контактні і безконтактні (рис. 1). Методи контактного моніторингу величини шорсткості поверхні поділяються на щупові та методи зліпок. Безконтактні у свою чергу поділяються на інтерференційні, світлового перетину, тіньової проєкції, растрові та рефлектометричні [3, 4].

Викладення основного матеріалу. Профілограф-профілометр моделі 252 призначений для вимірювання в лабораторних умовах шорсткості та хвилястості поверхонь, переріз яких у площині вимірювання представляє пряму лінію. У профілографі-профілометрі використаний індуктивний перетворювач, що дозволяє записувати профіль нерівностей у збільшеному масштабі у вигляді філограми або вимірювати параметри шорсткості у цифровому вигляді за шкалами приладів.

При роботі приладу в режимі профілографа реєструючим пристроєм є прилад з електротермічним записом в прямокутній системі координат. Діапазон вимірювань нерівностей складає від 0,02 до 250 мкм.

Прилад (рис. 2) забезпечений перетворювачем, електронним вимірювальним блоком 7 з рахунковим блоком 8 і записуючим пристроєм 9. Індуктивний перетворювач виконують у вигляді здвоєного сердечника 5 з двома котушками 6. Котушки і дві половини первинної обмотки диференціальної схеми 4 та 10 із частотою 10 кГц. При переміщенні по контрольованій поверхні алмазна голка 3 перетворювача разом з якорем, підвішеному на опорі 2, здійснює коливання. Повороти якоря перерозподіляють індуктивності котушок, змінюючи цим вихідну напругу диференціального трансформатора.

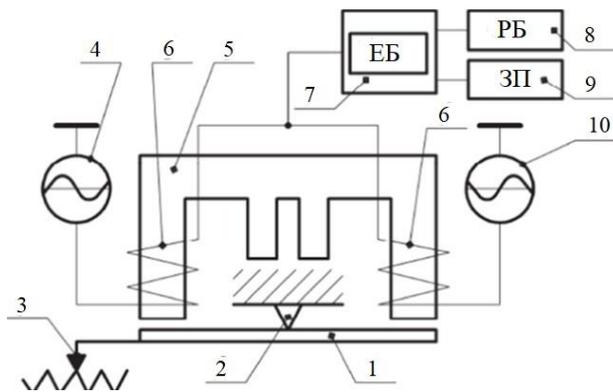


Рисунок 2 – Профілограф-профілометр 252:

- 1 – корпус; 2 – опора; 3 – наконечник; 4,10 – диференціальні схеми; 4 – сердечник;
6 – котушка; 7 та 8 – електронно-підсумовуючий блок; 9 – записуючий пристрій

Зміни амплітуди напруги характеризують висоту мікронерівності, а зміна частоти (при роботі приладу в режимі профілометра) їх крок. Цифрові значення параметрів визначають за допомогою цифрового відлікового пристрою. При роботі приладу в режимі профілографа зміни напруги подаються на пристрій для запису.

Оцифровка профілографа-профілометра 252 включає процес перетворення аналогового запису профілю шорсткості, отриманої за допомогою старих приладів типу 201, у цифровий формат для подальшої обробки, аналізу та зберігання, що дозволяє автоматизувати розрахунок параметрів (R_a , R_z) та позбутися ручного аналізу паперових діаграм. Це досягається або скануванням паперової стрічки або підключенням аналого-цифрового перетворювача з обробкою результатів вимірювань в спеціалізованому програмному забезпеченні для отримання точних числових даних та профілограм.

Опираючись на досвід практичної роботи в галузі цифрової та мікропроцесорної електроніки вибираємо бюджетний АЦП фірми Advantech USB-4702 (рис. 3). Цей модуль працює через USB порт, не вимагає додаткового живлення і має прийнятні для нашого випадку характеристики швидкодії та точності.



Рисунок 3 – Аналого-цифровий перетворювач USB-4702

Крім того модуль має 8 вхідних та 8 вихідних ліній дискретного введення, 2 лінії аналогового виведення, 32 розрядний лічильник-таймер. Для нашого випадку необхідно використати лише один канал аналогового виведення. Дослідивши електричну принципову схему профілографа було вирішено сигнал, який відповідає нерівності поверхні, знімати з вихідного каскаду підсилювача перед схемою інтегрування. Для обробки сигналів з АЦП використовуємо програмне забезпечення для роботи з аналоговими вхідними сигналами АЦП USB-4702. Інтерфейс програми представлено на рисунку 4. На екрані одночасно зображено сигнали з усіх 8-ми входів.

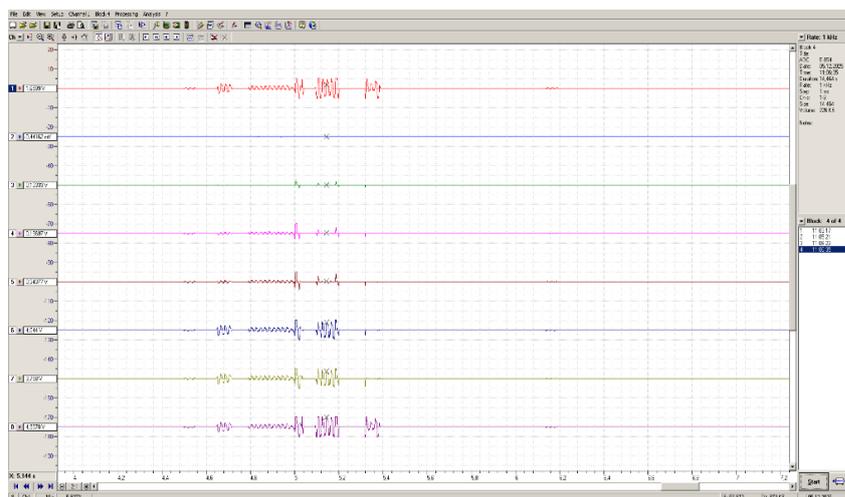


Рисунок 4 – Інтерфейс програми роботи з АЦП USB-4702

Для правильного відтворення профілограми та достовірності передачі інформації від профілометра до комп'ютера необхідно відкалібрувати вхідний підсилювач АЦП. Програма дозволяє зручно це зробити через налаштування. Вікно вхідний підсилювач (Input Amplifier) дозволяє проводити попередній моніторинг вхідного сигналу, вибирати діапазон вимірювання, використовувати програмне калібрування та корекцію вхідного сигналу, встановлювати коректні одиниці вимірювання. Для калібрування використовується кнопка та функція калібрування (calibration) поля помножити (Scale Data) та додати (Offset Data) якої дозволяють вводити

програмні лінійні коефіцієнти перетворення вхідного сигналу. Після проведення калібрування прилад готовий про проведення вимірювання шорсткості поверхонь та зняття профілограм для візуального відображення нерівностей поверхневого шару.

Проведено дослідження шорсткості поверхні підшипникової сталі, а саме торцевої поверхні кільця підшипника кочення (рис. 5).



Рисунок 5 – Дослідження шорсткості кільця підшипника

Профілограма шорсткості поверхні представлена на рисунку 6.



Рисунок 6 – Профілограма кільця підшипника

Оскільки на отриманій профілограмі присутні електромагнітні наведення, як фон мережі у вигляді дрібних зубців вздовж лінії тренду то їх доцільно прибрати. Програма роботи з АЦП дозволяє проводити математичну, статистичну та іншу обробку отриманих експериментальних даних. Після застосування до профілограми математичної високочастотної фільтрації отримаємо покращену профілограму поверхні (рис. 7).

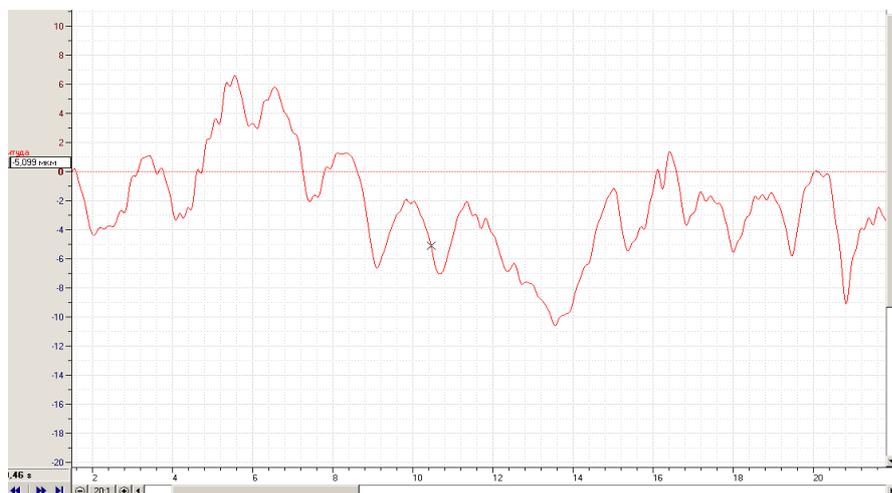


Рисунок 7 – Профілограма поверхні після фільтрації сигналу

Оцифрування профілографа-профілометра 252 забезпечує підвищену точність, автоматизацію процесів вимірювання та об'єктивність їх проведення, дозволяє миттєво аналізувати отримані дані, знижувати витрати на контроль якості, скорочувати час виробництва, працювати з різними досліджуваними матеріалами та інтегруватися в цифрові системи керування, що особливо актуально для сучасного машинобудування та інших галузей, пов'язаних з використанням конструкційних матеріалів.

Висновки. Проведено розроблення комп'ютеризованої вимірювальної системи для оцінки стану шорсткості поверхні матеріалу на основі профілографа-профілометра моделі 252. Оцифрування сигналу вимірювальної інформації та застосування програмного забезпечення для оцінки результатів профілометрії поверхонь відповідальних деталей дало можливість проведення якісного автоматизованого аналізу, візуалізації та інтерпретації даних вимірювань та дозволило точно визначити параметри досліджуваних поверхонь та забезпечувати прогнозовані властивості готових виробів, підвищувати їх надійність та довговічність.

Інформаційні джерела

1. Сьох О. М., Пташенчук В. В. Формування та дослідження мікрогеометрії торців кілець підшипників. Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку: матеріали VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції (23-25 жовтня 2024 р.): збірник тез. Луцьк: ЛНТУ, 2024. С. 114-115.

2. Новіков Ф. В. Оптимальні рішення в технологіях механічної обробки : монографія. Дніпро : ЛПА, 2024. 360 с

3. Аналіз методів контролю шорсткості поверхні деталей. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/3db263bb-abe8-4d21-b3fc-3bb4178afa87/content> (дата звернення: 10.09.2025).

4. Засоби контролю шорсткості поверхні. URL: https://obrobka.pp.ua/646-zasobi-vimryuvannya-shorstkost-poverhn.html#google_vignette (дата звернення: 12.09.2025).

5. Підвищення ефективності оброблення торців кілець роликотпідшипників методом переривчастого шліфування : монографія / Пташенчук В. В. та інші. Луцьк: Вежа-Друк. URL: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=mU-xkLcAAAAJ&citation_for_view=mU-xkLcAAAAJ:qjMakFHDy7sC (дата звернення: 14.09.2025).

Kubay A., Ptashenchuk V., Krasovsky V.

Lutsk National Technical University

MEASUREMENT SYSTEM BASED ON PROFILOGRAPH-PROFILOMETER 252

A computerized measuring system has been developed to assess the state of material surface roughness based on the profilograph-profilometer model 252. Digitization of the profilograph-profilometer with the help of the USB-4702 ADC provided increased accuracy and the possibility of automating measurement processes. The use of software for evaluating the results of profilometry of surfaces of critical parts made it possible to conduct high-quality automated analysis, visualization and interpretation of measurement data. Calibration of measuring equipment was carried out to improve the accuracy of measuring the roughness of product surfaces. Profilograms of test samples on the profilograph-profilometer 252 were obtained in digital form.

Keywords: profilometry, measuring system, roughness, converter.

Дата першого надходження
статті до видання
08.11.2025 р

Дата прийняття статті
до друку
14.12.2025 р.

Дата
оприлюднення
25.12.2025 р.