

УДК 62.408.8

**Мороз С.А.** к.т.н. (<http://orcid.org/0000-0003-4677-5170>)

Луцький національний технічний університет

## ОСОБЛИВОСТІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ МІКРОГЕОМЕТРІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ТА ПРИЛАДІВ

*В роботі проаналізований міжнародний досвід у сфері стандартизації параметрів шорсткості поверхні. Розглянутий стан опису профілю поверхні в Україні на даний час. Встановлено, що оскільки профільні вимірювання поверхні і здійснювана на їх основі оцінка поверхні носить обмежений характер, то активно ведуться дослідження з розробки міжнародних стандартів, еталонів і засобів вимірювання шорсткості поверхні на основі її тривимірного аналізу. Дані рекомендації призначені для набуття вітчизняними інженерними фахівцями міжнародного досвіду нормування поверхні і формування у них сучасного уявлення про шорсткості поверхні*

**Ключові слова:** шорсткість, стандарт ISO, тривимірний аналіз, опис профілю поверхні.

Із збільшенням обсягів виробництва та вимог до якості оброблення поверхонь все більше підвищуються вимоги до правильного нормування параметрів текстури поверхні і методів їх вимірювання. За останні десятиліття у світі накопичений великий досвід у використанні зв'язку якості поверхні з функціональним призначенням деталей. За рахунок оптимального нормування параметрів шорсткості та їх технологічного забезпечення досягнуто значне покращення якості машин та механізмів [1,8].

На сьогодні вітчизняні стандарти на шорсткість поверхні давно не переглядалися, і хоча Україна асоціює себе з Європою, українську інженерні фахівці практично не користуються міжнародними та європейськими стандартами та досвідом, зокрема про параметри шорсткості, які відображають функціональні можливості поверхонь, що працюють на контакт, про вплив хвилястості на функціональні властивості поверхні.

Система міжнародних стандартів (ISO) на профільну оцінку поверхні включає в себе такі нормативні документи [1, 4, 5]:

- ISO 4287-1997 Текстура поверхні. Профільний метод. Термінологія, визначення і параметри текстури поверхні.

- ISO 11562-1996 Текстура поверхні. Профільний метод. Метрологічні характеристики фазокоректуючих фільтрів.

- ISO 12085-1996 Функціональні параметри. Метод Motif.

- ISO 12179-2000 Текстура поверхні. Профільний метод. Калібрування контактних (щупових) приладів.

- ISO 1302-2002 Позначення шорсткості поверхні на кресленні.

- ISO 13565-1996 Опис поверхонь, що мають функціональні властивості поверхонь, отриманих накладенням технологічних процесів.

Частина 1. Фільтри та загальні умови вимірювань.

Частина 2. Висотні параметри, отримані на основі відносної опорної кривої профілю.

Частина 3 Висотні параметри, отримані на основі ймовірнісної кривої для поверхонь, які визначаються двома вертикальними випадковими компонентами.

- ISO 3274-1996 Текстура поверхні. Профільний метод. Номінальні характеристики контактних (щупових) приладів.

- ISO 4288-1996 Текстура поверхні. Профільний метод. Правила і процедури оцінки текстури поверхні.

- ISO 5436-1-2000 Текстура поверхні. Профільний метод. Еталони. Частина 1 Матеріальні заходи.

- ISO 5436-2-2000 Текстура поверхні. Профільний метод. Еталони. Частина 2. Формат програмних еталонів.

- ISO 8785-1999 Текстура поверхні. Профільний метод. Вади поверхні - Терміни, визначення і параметри.

Дані стандарти утворюють наступну логічно пов'язану систему. Зокрема, у стандарті ISO 3274 подано опис типового стилусного профілометра і його метрологічних характеристик. У стандарті ISO 4287 сформульовані визначення параметрів опису рельєфу поверхні і способи їх обчислення.

За стандартом ISO 4287 параметри профілю поділяються на три великі групи – P, R та W параметри:

P-параметри обчислюються для нефільтрованого профілю. За базову лінію застосовується лінія найменших квадратів, за базову довжину приймається довжина оцінки

R-параметри обчислюються для шорсткості профілю. За базову лінію приймається лінія низькочастотних компонент, які подавляються фільтром  $\lambda_c$ , базова довжина дорівнює  $\lambda_c$ .

W-параметри обчислюються для хвилястості профілю. За базову лінію приймається лінія низькочастотних компонент, яка подавляється фільтром  $\lambda_f$ , базова довжина дорівнює  $\lambda_f$

Стандарт ISO 4288 визначає значення за замовчуванням різних параметрів і основні правила і порядок дій при аналізі профілю поверхні. Стандарт ISO 11562 описує гауссовський фільтр корекції фази, який використовується в різних фільтрах відсічки для аналізу профілю поверхні. У стандарті ISO 12179 викладені методи калібрування контактних стилусних засобів вимірювання профілю поверхні, а в стандарті ISO 5436, частина 1 - еталони, використовувани для калібрування таких засобів вимірювань. Стандарт ISO 5436, частина 2 містить основні принципи і способи використання програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки. У стандарті ISO 1302 закріплені правила позначення текстури поверхні в інженерно-технічній документації, тобто кресленнях, специфікаціях, контрактах і звітах. Стандарт 13565, частини 1, 2 і 3 відносяться до вимірювання поверхонь з стратифікованим функціональними властивостями. Профіль шорсткості, який одержаний за допомогою фільтра, описаного в стандарті 11562 схильний до ряду небажаних спотворень при вимірюванні поверхонь, що складаються з відносно глибоких впадин під більш гладким плато з мінімальною хвилястістю. Такий тип поверхні часто зустрічається у гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання. У стандарті 13565, частина 1 викладено метод істотного зменшення таких спотворень, що дозволяє використовувати параметри, описані в стандарті 13565, частини 2 і 3 для оцінки таких типів поверхонь з мінімальним впливом спотворень.

Варто відмітити, що в промислово-розвинутих країнах спостерігається тенденція постійного посилення допуску на розмір. За даними NIST (США) з 1940 року до 2010 року допуски для багатьох верстатних операцій зменшились в 5 раз. Як видно з рис. 1. при посиленні допуску на розмір збільшується відсоток допуску, який припадає на шорсткість. Середня доля допуску, яка припадає на шорсткість збільшилась з 15% в 1940 році до 50% в даний час.

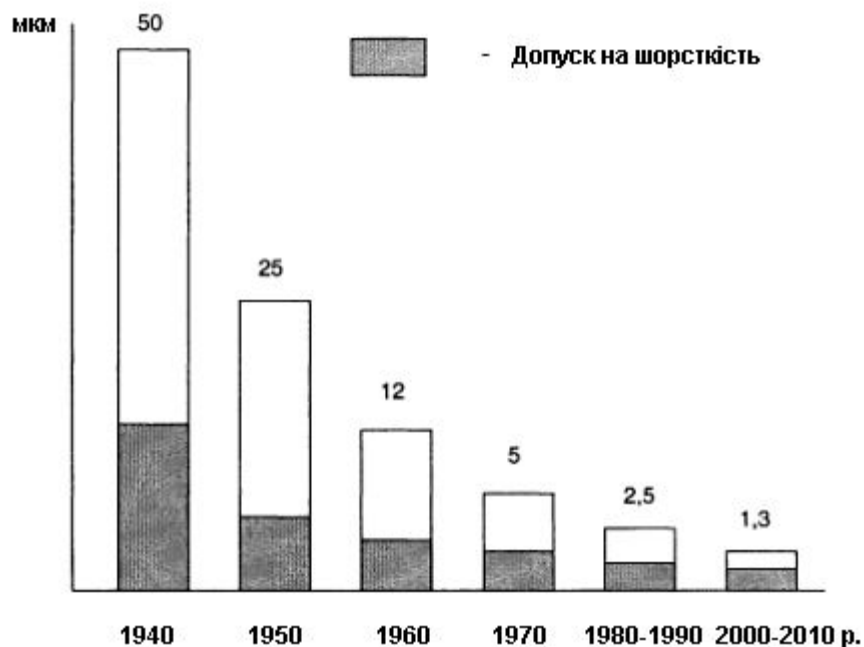


Рис. 1. Зміна відсотку шорсткості в допускові на розмір

В Україні питання, що відносяться до шорсткості поверхонь, регламентують на альтернативних засадах як чинні міждержавні стандарти (ДСТУ 2413-94, ГОСТ 25142-82, ГОСТ 2789-73 і ін.), що, в основному, відповідають минулому стандарту ISO 4287 (видання 1984 р.), так і стандарти, що є тотожними новим стандартам, наприклад, ISO 4287 (видання 1997 р.), тобто, ДСТУ ISO 4287-2002. Аналіз чинних стандартів доводить значну різницю в підходах цих двох груп стандартів до термінів, положень щодо характеристик мікрогеометрії

поверхонь. Хвилястість займає проміжне положення між відхилами форми і шорсткістю [2, 6]. Шорсткість поверхні деталі до певної міри впливає на дійсне значення вимірюваного розміру. Її вплив особливо помітний, якщо поверхня деталі після виготовлення має значення шорсткості сумірне з величиною допуску. Цю обставину у багатьох випадках доводиться враховувати при виборі контрольно-вимірювальних засобів. Щодо хвилястості, то, як показує досвід машинобудівних підприємств, поки що її характеристики, як правило, не вказують; тим більше, що до останніх років вони були нестандартизованими і встановлювались тільки рекомендаційним документом РС 3951. Принагідно зауважити, що фізично обґрунтованої, а тим більше природної фізичної межі між хвилястістю і шорсткістю не існує, і підхід до розподілу обох видів відхилів поверхні від ідеальної (номінальної) поверхні по співвідношенню кроку і висоти нерівностей склався в результаті розвитку техніки вимірювань[4]. За вибраної базової довжини за допомогою різного виду частотних фільтрів (механічних, електричних тощо) автоматично виділяються шорсткість і хвилястість із загальної сукупності нерівностей. Тому терміни та визначення і, перш за все, поняття профілів поверхні, в зазначених стандартах GPS (передусім, ДСТУ ISO 4287-2002) пов'язані з характеристиками пропускання шорсткості і хвилястості профілів поверхні. Набір показників шорсткості тут також суттєво відрізняється від тих, що регламентуються міждержавними стандартами. Згідно ГОСТ 2789-73, при нормуванні шорсткості поверхні до останнього часу в країнах СНД перевага віддавалася (причому і для найбільш гладких і для найбільш грубих поверхонь) параметру  $R_a$ , який більш інформативно, ніж параметри  $R_z$  або  $R_{max}$ , характеризує відхилення профілю, оскільки на відміну від останніх, визначається по всіх точках (або достатньо великому числу точок) профілю. Однак такі рекомендації значною мірою були зумовлені відсутністю зручних у користуванні в цехових умовах вимірювальних засобів контролю  $R_z$  і  $R_{max}$ . Стандарт ISO 4287-1 не містить вказівок про перевагу параметра  $R_a$ , і більшість переносних (в тому числі і портативних) зарубіжних і вітчизняних вимірювальних засобів нині однаково просто і точно вимірюють як всі висотні параметри так і інші, регламентовані міжнародними та національними стандартами. В розглядуваному новому стандарті,  $R_z$  (висота нерівностей профілю за десятьма точками), що регламентується ISO 4287-1:1984 та відповідними описаними вище міждержавними стандартами, відсутня, а позначення  $R_z$  використано для максимальної висоти шорсткості профілю (на відміну від позначення  $R_{max}$ ). З огляду на це, в ДСТУ ISO 4287 – 2002 є застереження відносно неприпустимості застосування приладів, що вимірюють колишній параметр  $R_z$ , для контролю параметра за новим стандартом з таким же позначенням, бо різниця між результатами, отриманими на різних типах приладів, може бути суттєвою. На жаль, як показує, практика машинобудівного виробництва, в нормативно – технічній документації, як правило, не лише не нормуються жоден з додаткових характеристик шорсткості, але навіть з основних параметрів, що регламентуються ГОСТ 2789-73, обмежуються тільки призначенням величин  $R_a$  або  $R_z$ , причому без вказівки напряму нерівностей.

В останні десятиліття активно ведуться дослідження з розробки міжнародних стандартів, еталонів і засобів вимірювання шорсткості поверхні на основі її тривимірного аналізу [3, 7]. Це пов'язано з тим, що профільні вимірювання поверхні і здійснювана на їх основі оцінка поверхні носить обмежений характер. Наприклад, можна розглянути найбільш поширений параметр -  $R_a$ . На рис. 2 представлені профілі двох поверхонь, що мають однакове значення  $R_a$ . Як видно з рисунка функціональні властивості таких поверхонь просто не можуть бути однаковими. У випадку з вимірюванням і описом профілю поверхні так само не завжди можна однозначно визначити справжню природу елемента рельєфу і, отже, його вплив на функціональність поверхні. Першим міжнародним стандартом, що враховує специфіку вимірювання і аналізу 3D текстури поверхні став стандарт ISO 25178 «Геометричні характеристики виробів (GPS). Структура поверхні: Ареал» Міжнародної організації зі стандартизації, розроблений технічним комітетом ISO / TC 213 «Технічні вимоги щодо розмірностей і геометричних розмірів продукції і їх перевірки».

Найбільша відмінність між методами опису профілю і методами опису тривимірної текстури поверхні полягає в використовуваних способах фільтрації. Профіль, отриманий з SL- або SF-поверхні, математично нерівний профілю, який аналізується за допомогою методів, викладених в стандартах по опису профілю поверхні. В останньому випадку використовується фільтрація профілю (ортогонального напрямку нерівностей поверхні), а в першому - тривимірна фільтрація. Два таких типи фільтрації можуть дати абсолютно різні результати навіть при використанні фільтрів однакового виду (наприклад, гауссовських) з однаковою відсічкою (або індексом вкладення). З параметрами опису профілю можна зіставляти лише ті

параметри тривимірної текстури поверхні, які мають прямий «профільний» еквівалент, наприклад, середньоквадратичні параметри висоти поверхні  $R_q$  і  $S_q$ . Зворотним прикладом є аспектно відношення тривимірної текстури поверхні  $Str$ , що не має профільного аналога. Параметри тривимірної текстури поверхні, що описують екстремуми поверхні (наприклад, параметр максимальної висоти піків,  $S_p$ ), зазвичай мають великі значення, ніж їх профільні еквіваленти внаслідок того, що «вершини» і «впадини», відображені на профілі, не є реальними екстремумами (тобто профіль зазвичай не проходить по «вершинах» і «впадинах»). Так само слід зазначити, що згідно з поточними планами ISO, стандарти опису профілю поверхні стануть підрозділом стандартів опису тривимірної текстури поверхні, хоча зміст стандартів і не зазнає істотних змін.



Рис. 2. Профілі двох поверхонь а) та б), які мають однакове значення параметру шорсткості  $R_a$

З розвитком техніки і технології з'являється необхідність більш повної і різнобічної оцінки і опису мікрогеометрії поверхні. Шість показників якості нормовані ГОСТ 2789-73 вже не можуть описати всю мікрогеометрію поверхні і отже її функціональні властивості. Отже, у вітчизняній науці існує необхідність в тому, щоб переглянути раніше прийняті профільні параметри оцінки, регламентувати нові показники, що описують мікрогеометрію. В якості основи можна взяти досвід зарубіжних країн. Другою проблемою вітчизняної системи стандартів на шорсткість є відсутність стандартів, що регламентують тривимірну оцінку топографії поверхні. У зв'язку з цим, вивчення зарубіжного досвіду нормування топографії (3D) поверхні, а також розробка на його базі методик вимірювання та створення (або модернізація наявного) сучасного обладнання для тривимірного аналізу параметрів шорсткості і хвилястості поверхні є актуальним завданням.

Тому для якнайшвидшого освоєння українськими інженерними фахівцями міжнародного досвіду нормування поверхні і формування у них сучасного уявлення про шорсткості поверхні необхідно:

- розробити на національному рівні стандарти автентичні міжнародним стандартам на профільну оцінку поверхні (ISO 4287, ISO 4288, ISO 1302, ISO 11562, ISO 12085, ISO 13565 та ін.);
- розробити на національному рівні стандарт автентичний міжнародним стандартом на топографічну (3D) оцінку поверхні (ISO 25178);
- У вищих навчальних закладах для студентів, які навчаються на інженерних спеціальностях, що пов'язані з виготовленням приладів та машин, ввести дисципліну «Метрологія поверхневого шару», спрямовану на формування у студентів комплексних знань про взаємозв'язки між методами обробки поверхонь виробів, нормуванням і вимірюванням цих поверхонь та їх експлуатаційними властивостями.

#### Інформаційні джерела

1. Табенкин А.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт/ А.Н. Та- бенкин, С.Б.Тарасов, С.Н. Степанов; под ред. канд. техн. наук Н.А. Табачниковой, - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.- 136 с.
2. Хусу А. П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход)/ А. П.Хусу, Ю. Р.Витенберг, В. А.Пальмов; под общей редакцией А. А.Первозванского; Глав. ред. физ-мат. литературы – М.: Наука, 1975. - 344 с. .
3. Порошин, В.В. Основы комплексного контроля топографии поверхности деталей: Монография/ В. В. Порошин – М.: Машиностроение-1, 2007. – 196 с.
4. ISO 25178 Технические требования к геометрическим параметрам продукции (GPS). Структура поверхности. Википедия, материалы бесплатной энциклопедии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/ISO\\_25178](http://en.wikipedia.org/wiki/ISO_25178) - 23.11.2013.

5. ISO/TC 213 - Технические требования в отношении размерностей и геометрических размеров продукции и их проверки. Каталог стандартов. [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid= 54924](http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=54924) - 23.11.2013.

6. Лич, Р. Инженерные основы измерений нанометрической точности: Учебное издание/ Р. Лич – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 400 с.

7. Уайтхауз Д. Метрология поверхностей. Принципы, применяемые методы и приборы. Под ред. Мышкина Н.К. Московская обл.: Издательство Дом «Интеллект», 2009. – 180 с.

8. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / Суслов А.Г. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

**Мороз С.А.** к.т.н.

Луцкий национальный технический университет

**ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЕОМЕТРИИ  
ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ПРИБОРОВ**

*В работе проанализирован международный опыт в сфере стандартизации параметров шероховатости поверхности. Рассмотрено состояние описания профиля поверхности в Украине в настоящее время. Установлено, что поскольку профильные измерения поверхности и осуществляемая на их основе оценка поверхности носит ограниченный характер, то активно ведутся исследования по разработке международных стандартов, эталонов и средств измерений шероховатости поверхности на основе ее трехмерного анализа. Данные рекомендации предназначены для приобретения отечественными инженерными специалистами международного опыта нормирования поверхности и формирование у них современного представления о шероховатости поверхности.*

**Ключевые слова:** шероховатость, стандарт ISO, трехмерный анализ, описание профиля поверхности.

**S.Moroz** Ph.D

Lutsk National Technical University

**THE SPECIALTY OF STANDARDIZATION PARAMETERS OF SURFACE  
MICROGEOMETRY OF MACHINE PARTS AND DEVICES**

*In the work analyzed the international experience in the sphere of standardization parameters. Considered status surface descriptions of the profile in Ukraine at present time. Established something profile since the measurement surface and implemented as basis for evaluation of surface wear limitations character, underway research under active development international standards, sample funds and surface measurements roughness surface it based on 3D analysis. The recommendations are for purchase of domestic engineering experts on international experience of rationing the surface and the formation of their current understanding of the surface roughness.*

**Keywords:** roughness surface, standard ISO, three-dimensional analysis, description of the profile surface.