

УДК 620.179.118

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.5.2>

ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ЯК ОДНА ІЗ ОСНОВНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ

Шорнікова С. В. – начальник відділу

Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки

та судових експертиз Служби безпеки України

ORCID ID: 0000-0002-9038-2457

Будь-яка, оброблена самим ретельним чином поверхня деталі, не може бути ідеально рівною. Значення шорсткості поверхні деталі в будь-якому випадку буде відрізнятися від заданого в кресленню, тобто від номінального значення. При цьому, відхилення може бути або макрогеометричним, або мікрогеометричним. Макрогеометричні відхилення можуть бути охарактеризовані хвилястістю деталі або невідповідністю форми (контуру деталі). Мікрогеометричні, в свою чергу, визначаються ні чим іншим як шорсткістю поверхні. Шорсткість поверхні – характеристика нерівності, виражена у числових величинах, що визначає ступінь їхнього відхилення на базовій довжині від теоретично гладких поверхонь заданої геометричної форми [3], іншими словами це сукупність мікронерівностей, які з'являються на поверхні готових виробів чи деталей після обробки. Слід зазначити, що саме шорсткість має найбільш сильний вплив на експлуатаційні характеристики виробів а також деталей та вузлів різного призначення. Можливо, саме через це, точне визначенні шорсткості – одна із самих важливих задач метрології. Є досить багато методів визначення ступеня шорсткості. Деяке обладнання відноситься до контактного типу, інші до оптичного і змішаного типу. Вибір залежить від того, наскільки висока повинна бути точність проведених вимірювань [1]. А деякі засоби і методи вже практично не застосовуються через появу більш сучасних інструментів, які дозволяють підвищити точність вимірювання і знизити ймовірність помилки. В статті пропонується огляд сучасних методів і пристроїв для досліджень та контролю шорсткості поверхні деталей. Детально розглянуто вплив шорсткості на експлуатаційні показники деталей. Визначено, що для виготовлення якісної та надійної продукції необхідно проводити обов'язковий контроль шорсткості поверхні. Стверджено, що вибір методів та засобів вимірювання шорсткості залежить від фізичних та механічних властивостей матеріалів деталей, від їх геометричних розмірів а також від умов їх застосування та експлуатації.

Ключові слова: шорсткість, контактні методи, профілометр, профілограф, безконтактні оптичні методи, поверхня, якість.

Shornikova S. V. Surface roughness as one of the main geometric characteristics of the surface details. Methods and means of control

Any surface of the part, even carefully processed, cannot be completely perfectly flat. The value of the smoothness and flatness of the surface of the part in any case will differ from the value specified by the drawing, that is, from the nominal value. In this case, the deviation can be either macrogeometric or microgeometric. Macro geometric deviations can be characterized by the waviness of the part and the inconsistency of the shape. Microgeometric deviations, in turn, are determined by nothing other than the roughness of the surface. Surface roughness is a characteristic of irregularities expressed in numerical dimensions and indicates the degree of their deviation along the base length from theoretically smooth surfaces of a given geometric shape. In other words, it is a set of micro-irregularities that appear on the surface of finished parts after processing. It should be noted that it is the roughness that has the strongest impact on the performance characteristics of products, as well as parts and assemblies for various purposes. Perhaps that is why the exact determination of the roughness parameter is one of the most important tasks in metrology. There are many methods for determining the degree of roughness. Some tools and methods are practically no longer used due to the advent of more modern tools that can increase the accuracy of measurements and reduce the likelihood of error. The choice depends on how high the accuracy of the measurements should be. The article offers an overview of modern methods and devices for research and control of surface roughness of parts. The influ-

ence of roughness on the performance of parts is considered in detail. It has been determined that for the manufacture of high-quality and reliable products it is necessary to carry out mandatory control of surface roughness. It is proved that the choice of methods and means of measuring roughness depends on the physical and mechanical properties of the materials of the parts, on their geometric dimensions and on the conditions of their application and operation

Key words: roughness, contact methods, profilometer, profilograph, non-contact methods, surface, quality.

Постановка проблеми. Шорсткість поверхні має великий вплив як на надійність і довговічність виробів, так і на вартість виготовлення деталей. Раціональні значення шорсткості залежать від багатьох чинників, а саме [1]:

допуску, посадки і номінального розміру з'єднання; методу складання; зносу, що допускається; умов експлуатації рухомих і нерухомих з'єднань; стабільності технологічних процесів.

Шорсткість поверхні визначає тривалість нормальної роботи деталей, що сполучаються. Наявність мікронерівностей викликає концентрацію напруги в западинах, сприяє розтріскуванню і знижує міцність, зносостійкість та довговічність деталі. У западинах нерівності утворюються вогнища корозії, тому чим більша шорсткість поверхні, тим більше деталь схильна до корозії. Зауважимо, що міцність деталей також залежить від шорсткості поверхні. Руйнування деталі, особливо за умов змінних навантажень, у більшій мірі пояснюється концентрацією її напружень, внаслідок наявних нерівностей. Чим меншою є шорсткість, тим меншою є можливість виникнення поверхневих розтріскувань внаслідок втоми матеріалу. Фінішна обробка деталей (доведення, полірування, тощо) забезпечує значне підвищення межі їх втомної міцності. Зменшення шорсткості поверхні у значній мірі покращує антикорозійну стійкість деталей (за умови, коли неможливо застосовувати захисні покриття) [11].

Шорсткість поверхні відіграє велику роль і у з'єднаннях, які відповідають умовам щільності та герметичності. Від величини шорсткості залежать також міцність посадок із натягом, стабільність посадок із зазором та експлуатаційні показники виробу. Необхідність вимірювання шорсткості на відповідність заданим параметрам є запорукою якісного та стабільного виробництва деталей і виробів та сприяє виключенню запуску у виробництво продукції, що не відповідає заданим вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням проблемних питань аналізування методів контролю шорсткості поверхні деталей займалися такі науковці, як М.А.Зенкін, А.С. Назаренко, Л.П. Клименко, Л.В. Пізінцалі, Н.І. Александровська, В.Д. Євдокимов [8,10]. В публікації Сичевського В. С. [6] описано задачі, які вирішують процеси контролю шорсткості деталі в умовах виробництва.

Адаменко Ю.І., Герасимчук О.М., Майданюк С.В., Плівак О.А в своїй роботі [7] детально описали виконання вимірювань контактними методами на профілометрії і обґрунтували оброблення профілограм та визначення параметрів шорсткості. Але найбільш актуальними, на момент написання статті, є оптичні методи.

Постановка завдання. Високоєфективні методи для контролю стану поверхні створюють великі резерви для підвищення якості продукції, що виробляється. В залежності від матеріалу та відповідності вимогам мікрорельєфу а також точності розмірів деталі, яка обробляється, можливе застосування різних методів та засобів для контролювання. Параметр шорсткості поверхні деталей та складальних одиниць – один із головних показників якості, надійності та терміну експлуатації виробів. І одним із важливих чинників тут є фінішна технологічна

обробка поверхні деталей (шліфування), яка забезпечує хороші експлуатаційні характеристики. Перевірку якості результатів такої технологічної обробки необхідно проводити за допомогою приладів, які вимірюють шорсткість поверхні. Метою статті є вибір методів та засобів контролю з метою підвищення якості та надійності виробів, які виготовляються на підприємствах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Шорсткість поверхні є однією із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей, яка, у свою чергу, впливає на її експлуатаційні показники в цілому. Вимоги які висуваються до шорсткості поверхні необхідно встановлювати виходячи із функціонального призначення поверхні для забезпечення заданої якості виробів. Якщо в цьому немає необхідності, то вимоги щодо шорсткості поверхні не встановлюють і шорсткість такої поверхні не піддається контролю. Вимоги які висуваються до шорсткості поверхні не включають в себе вимог щодо дефектів поверхні (тріщини, раковини), тому під час контролю шорсткості поверхні вплив дефектів поверхні необхідно виключити. Зазначимо, що, у деяких випадках, нормативними документами допускається встановлення вимог відносно шорсткості окремих ділянок однієї поверхні, які номінально є різними [11].

Нормативним документом ДСТУ ISO 4287:2012 [2] встановлено вимоги, які висуваються до шорсткості поверхні, незалежно від способу її отримання або обробки. Це дає можливість застосовувати дані вимоги до поверхонь, які оброблені різними способами.

Взагалі прийнято виділяти три види шорсткості об'єкта : *вихідна шорсткість* (виникає в результаті технологічної обробки виробу різними інструментами та абразивами); *експлуатаційна шорсткість* (з'являється під час експлуатації в результаті зносу та робочого тертя); *стабільна шорсткість* (вид експлуатаційної шорсткості, який можна відтворити в стаціонарних умовах тертя).

Параметри шорсткості визначені в ДСТУ ISO 4287:2012 [2].

Цей документ виділяє такі шість показників шорсткості поверхні (рис. 1):

Висотні:

Ra – це середнє арифметичне значення відхилень профіля;

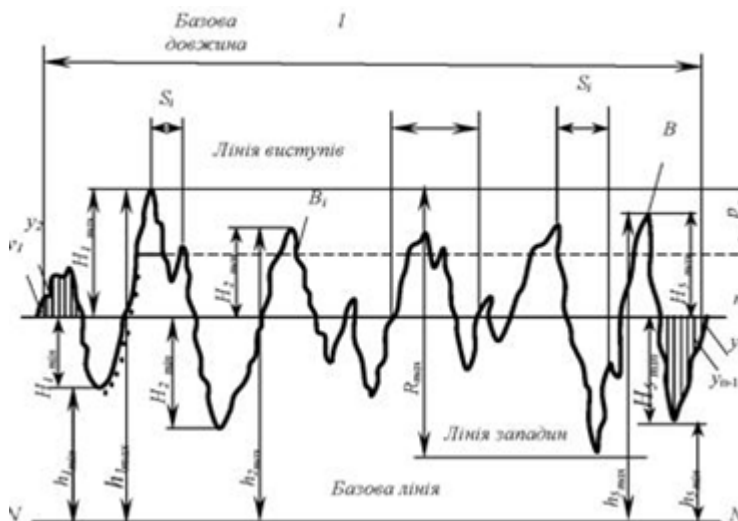


Рис. 1. Параметри шорсткості поверхні

Rz – висота нерівності профілю по 10 точках;

Rmax – найбільша висота профілю.

Крокові:

S – середній крок місцевих виступів профілю;

Sm – середній крок нерівності профілю по середній лінії.

Висотно-крокові:

tp – відносна опорна довжина профілю, де p – значення рівня перерізу профілю.

Розглядаючи поверхню визначається шорсткість, яка позначається Rz або Ra. Шорсткість Rz – показник 5-ти найбільш піднесених точок, з яких беруться усереднені значення. Контроль проводять в межах базової довжини. Шорсткість Ra являє собою середній показник арифметичних абсолютних значень, які стосуються відхилення профілю поверхні від середньої лінії в межах вимірюваної бази [9].

Доречно сконцентрувати увагу на тому, що поверхню, яка досліджується по параметрам вищенаведених показників, оцінити візуально практично не можливо. Для проведення вимірювання шорсткості поверхні слід враховувати те, який параметр при цьому вимірюється. Візуальний спосіб непридатний в промисловості або в іншій виробничій діяльності. Тому слід розглядати особливості *інструментального* методу визначення шорсткості, так як він дозволяє визначити потрібні показники з високою точністю.

Поверхня може мати найрізноманітніші показники і саме шорсткість один з найбільш складних у вимірі. Оцінювати поверхню, а точніше, розглянутий показник можна двома найбільш поширеними методами, які отримали назву *якісний і кількісний*.

Особливостям *якісного* методу притаманні нижченаведені моменти:

- візуальний огляд проводиться за наявності еталона [3] (подібний спосіб застосовується протягом багатьох років, але сьогодні через невисоку ефективність зустрічається вкрай рідко);

- поверхня може перевірятися при використанні лупи, мікроскопа або просто візуально (спеціаліст з високою ймовірністю може на дотик визначити те, до якого класу можна віднести поверхню).

Застосування методу візуального огляду можливо тільки в тому випадку, коли клас точності обробки поверхні невисокий. Цей метод передбачає використання еталонів, які повинні мати відповідну шорсткість та бути повірені. Контролювати показник можна тільки в тому випадку, якщо еталон виготовлений з того ж матеріалу, що і контрольована деталь. До візуального огляду можна віднести також використання лупи або спеціального мікроскопа.

Застосовується також *метод зіпків*, який використовується для оцінки шорсткості різних важкодоступних поверхонь, а також поверхонь зі складною конструкцією. Метод зіпків базується на знятті негативних копій поверхні за допомогою воску, парафіну, гіпсу або масляно-гутаперчевої маси з подальшим вимірюванням копій контактним або оптичним методом. Метод зіпків – не самостійний метод, а лише початковий етап під час проведення вимірювань. Він застосовується тільки спільно з одним із способів вимірювання шорсткості.

Недоліком візуальних методів класифікації є суб'єктивність оцінювання. Такий спосіб порівняння дає правильні результати при перевірці деталей від 1-го до 7-го класів чистоти. При використанні допоміжних засобів, таких як лупа або мікроскоп, область правильної перевірки розширюють до 10-го класу.

Найбільш поширений *кількісний* метод. Він заснований на вимірі параметрів за допомогою *профілометра* і *профілографа*.

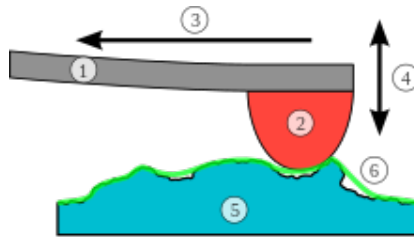
Профілограф (в металообробці) це прилад для вимірювання нерівності поверхонь та наданні результатів у вигляді кривої лінії (профілограми), яка характеризується хвилястістю (шорсткістю поверхні). Це контактний інструмент, за допомогою якого проводиться вимір досліджуваного зразка. Дана методика заснована на вимірі показника шляхом отримання зображення мікронерівностей профілю. Після одержання й обробки зображень проводяться певні розрахунки.

Цьому методу характерні наступні моменти: це контактний метод, тому що поверхню обмацують за допомогою тонкої алмазної голки; цей прилад належить до оптико-механічної групи обладнання. Подібна методика дозволяє отримати фотографію – деталь обмацують і зображення наноситься на стрічку в збільшеному вигляді. При контактній методиці перевірка дозволяє визначити значення шорсткості від 4-го до 11-го класу точності. Перевірити подібним способом можна метал та інші матеріали.

Розглянемо методику вимірювання *профілометром*.

Контактний профілометр це прилад, призначений для вимірювання шорсткості (нерівності профілю поверхні), який має шкалу на якій відраховуються значення показника шорсткості поверхні. Профілометри за типом перетворювача сигналів поділяють на п'єзоелектричні, електронні, індукційні та індуктивні. Найбільш поширені прилади з індуктивними перетворювачами сигналів.

Принцип роботи типового профілометра представлений на рисунку 2.



Консоль (1) тримає голку (2), яка переміщується горизонтально в напрямку (3) над поверхнею об'єкта (5). Рух голки повторює основні нерівності профілю та відповідно рухає тримач. Вертикальна позиція (4) записується як вимірний профіль (6)

Рис. 2

Дану методику вимірювань розробив вчений В.М. Кисельов. Вона передбачає використання інструменту, який не потребує отримання зображень та має такі особливості: використовується контактний метод обмацування досліджуваної поверхні тонкою алмазною голкою; оцінка проводиться за рахунок переміщення голки уздовж своєї осі (при цьому оцінюється частота і амплітуда коливання – їх визначення дозволяє визначити клас шорсткості); прилад відноситься до електричних систем, має спеціальні датчики і процесор (перетворювачі сигналів) для обробки отриманої інформації. В даному випадку для визначення R_a або R_z .

Перевага цього метода в тому, що не потрібно проводити складні розрахунки (виключення похибки оператора) Але цей метод має і ряд недоліків, а саме: безпосередній контакт з поверхнею, що може призвести до появ подряпин на поверхні досліджуваної деталі (в результаті чого прилад може неточно оцінити наявність шорсткості); крихкість пристрою; висока вартість.

Для вимірювання характеристик шорсткості деталей створено комбіновані пристрої – профілографи-профілометри. Вони одночасно обробляють і фіксують результати вимірювань шорсткості у графічному та цифровому вигляді. Такі прилади універсальні – у комплект їх поставки входить оснащення, яке забезпечує вимірювання шорсткості поверхні деталей різної конфігурації.

На теперішній час контроль стану поверхневого шару деталей повинен забезпечувати високу точність, швидкість, локальність та відтворюваність отриманих в процесі вимірювання результатів. Тому важливою задачею є створення безконтактних автоматичних систем контролю з комп'ютерною обробкою результатів. *Оптичний метод* дозволяє досліджувати поверхню безконтактним способом. Такі пристрої зчитують інформацію про наявність шорсткості завдяки відображенню світла від поверхні деталі, тобто безконтактні методи вимірювання шорсткості поверхні використовують параметри відбитої хвилі. Оптичний метод це безконтактний метод вимірювання шорсткості, який складається з групи методів [4]. Найбільш розповсюджені з них це: растровий метод; метод світлового та тіньового світіння; мікроінтерференційний метод.

Отже *растровий* метод передбачає наступну послідовність дій – на поверхню, яка досліджується кладеться скляна пластинка з нанесеною на неї растровою сіткою (тобто системою рівновіддалених паралельних ліній) з дрібним кроком. Потім, на пластинку подаються світлові промені під нахилом в місцях макроскопічних нерівності. Штрихи відображеної растрової сітки накладаються на реально намальовану сітку, в результаті чого виникають муарові смуги, які свідчать про наявність виступів та впадин на поверхні досліджуваного об'єкта. За допомогою растрового мікроскопа визначають параметри нерівності. Растровий метод використовується для обстеження поверхонь, сліди нерівності на яких мають переважно однаковий напрям, що є недоліком.

Метод *світлового та тіньового світіння* – це найбільш часто застосовуваний метод вимірювання параметрів нерівності. Метод *світлового світіння* зводиться до того, що світловий потік від джерела світла, проходячи скрізь вузьку щілину, перетворюється в тонкий, вузький пучок. Потім, за допомогою об'єктива, він направляється на досліджувану поверхню під певним кутом. Відбиваючись, промінь знову проходить через об'єктив і формує зображення щілини в окулярі. При цьому, абсолютно рівна поверхня буде мати ідеально прямий світовий пучок (лінію), а шорстка поверхня – криву лінію.

Тіньовий метод – це удосконалений метод світлового свічення. Сутність його полягає в тому, що недалеко від досліджуваної поверхні пристосовується лінійка зі скошеним ребром. Пучок світла долає ту ж саму відстань, однак, ніби ножем, зрізується ребром лінійки. При цьому на досліджуваній поверхні можна спостерігати тінь, верхня частина якої в точності повторює досліджуваний профіль. За допомогою мікроскопа зображення порівнюють, аналізують та роблять висновки щодо параметрів та характеру шорсткості.

Мікроінтерференційний метод – реалізується за допомогою спеціального вимірювального приладу, який складається з вимірювального мікроскопа та інтерферометра. Використовуючи інтерферометр, отримують інтерференційну картину поверхні досліджуваного об'єкта з викривленням смуг в місцях нерівності. Параметри шорсткості потім вимірюють за допомогою мікроскопа.

Для безконтактного вимірювання шорсткості поверхні матеріалів також мають місце прилади із використанням *лазерного випромінювання методом порівняння*. У приладі для контролю шорсткості поверхні лазерний промінь за допомогою

розділювальної призми ділиться на два промені, одним з яких зондується еталон, а іншим – поверхня, яка підлягає дослідженню. За допомогою напівпрозорих дзеркал розсіяні еталоном і об'єктом вимірювання світлові потоки направляються на фотоперетворювачі, а отримані з них електричні сигнали на пристрій порівняння та індикатор результатів [5].

Прилади, призначені для реалізації оптичних методів вимірювання шорсткості, знімають інформацію про шорсткість завдяки відображенню світла від поверхні деталі, дана інформація автоматично обробляється за допомогою комп'ютерної техніки. Обробка даних за допомогою комп'ютерів із відповідним програмним забезпеченням суттєво пришвидшує процес вимірювання (що є перевагою), тому оптичні методи вимірювання шорсткості можуть бути застосовані в умовах безперервного виробництва [8].

Висновки. Створення високоефективних методів для контролю стану поверхні надає великі резерви для підвищення якості продукції, що виробляється. В залежності від матеріалу, і у відповідності з вимогами до мікрорельєфу поверхні та точності розмірів деталі, що піддається обробці, можливо застосування різних методів та засобів для контролю шорсткості. Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що оптичні методи контролю шорсткості мають більше переваг і, на сьогодні, є більш придатними для використання у виробничих умовах, оскільки вони дають змогу значно прискорити обробку результатів вимірювань і на відміну від механічних методів не псують поверхню деталі.

З розглянутих методів, на мій погляд, найбільш перспективним для використання, перш за все з метрологічної точки зору, є метод світлового та тіньового перетину, оскільки тільки він забезпечує більш точні і обґрунтовані результати досліджень. Однак візуальні методи з використанням еталонів також застосовуються при контролі деталей від 1-го до 7-го класів чистоти так як не потребують висококваліфікованого персоналу.

Але, все ж таки прилади із використанням лазерного випромінювання методом порівняння та оптичні безконтактні методи є найбільш актуальними як відносно прості і такі, що вимагають найменших затрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Контроль і вимірювання шорсткості. URL: <https://studfile.net/preview/5730200/page:8>.
2. ДСТУ ISO 4287:2012 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури.
3. Засоби вимірювання шорсткості поверхні. URL: <http://obrobka.pp.ua/646-zas>.
4. ДСТУ ISO 10110-8:2018 (ISO 10110-8:2010, IDT) Оптика та оптичні прилади. Розроблення креслеників оптичних елементів та систем. Частина 8. Текстура поверхні, шорсткість і хвилястість. Терміни та визначення.
5. Альховик О.В. Сучасні методи та засоби контролю мікрогеометричних параметрів поверхонь деталей і виробів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 32(71) С. 30–34.
6. Сичевський В.С. Аналіз методів контролю шорсткості поверхні деталей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle>.
7. «Вимірювання шорсткості поверхні, визначення параметрів шорсткості за профілограмою». URL: <https://itm.kpi.ua/wp-content/uploads>.
8. Зенкін М.А., Назаренко А.С. Сучасні оптичні методи контролю шорсткості відповідальних деталей машин. *Вісник Інженерної академії України*. 2014. № 2. С. 220–224.

9. Контроль шорсткості поверхні. URL: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/kontrol-shorstkosti-poverhni.php>.

10. Метрологія, стандартизація та управління якістю. URL: <https://buklib.net/books>.

11. Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей. URL: <https://stud.com.ua/tehnika>.

REFERENCES:

1. Kontrol i vymiriuvannya shorstkosti [Control and measurement of roughness] Retrieved from: <https://studfile.net/preview/5730200/page:8/> (accessed 7 August 2022).

2. DSTU ISO 4287:2012 (2012) Tekhnichni vymohy do heometrii vyrobiv (GPS). Struktura poverkhni. Profilnyi metod. Terminy, vyznachennia poniat i parametry struktury. [Technical requirements for product geometry (GPS). Surface structure. Profile method. Terms, definition of concepts and structure parameters].

3. Zasoby vymiriuvannya shorstkosti poverkhni. [Means of measuring surface roughness] Retrieved from: <http://obrobka.pp.ua/646-zas> (accessed 7 August 2022).

4. DSTU ISO 10110-8:2018 (ISO 10110-8:2010, IDT) (2018) Optyka ta optychni prylady. Rozroblennia kreslenyiv optychnykh elementiv ta system. Chastyna 8. Tekstura poverkhni, shorstkist i khvyliastist. Terminy ta vyznachennia [Optics and optical devices. Development of drawings of optical elements and systems. Part 8. Surface texture, roughness and waviness. Terms and definitions].

5. Alkhovyk O.V. Suchasni metody ta zasoby kontroliu mikroheometrychnykh parametriv poverkhon detalei i vyrobiv. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. p. 30-34 [Modern methods and means of controlling the microgeometric parameters of the surfaces of parts and products].

6. Sychevskyi V.S. Analiz metodiv kontroliu shorstkosti poverkhni detalei [Analysis of methods for controlling surface roughness of parts] Retrieved from: <https://ela.kpi.ua/handle> (accessed 1 August 2022).

7. Vymiriuvannya shorstkosti poverkhni, vyznachennia parametriv shorstkosti za profilohramoiu [Measurement of surface roughness, determination of roughness parameters by profilogram] Retrieved from: <https://itm.kpi.ua/wp-content/uploads/> (accessed 1 August 2022).

8. Zenkin M.A., Nazarenko A.S. Suchasni optychni metody kontroliu shorstkosti vidpovidalnykh detalei mashyn. Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy. (2014) p. 220–224. [Modern optical methods of roughness control of important machine parts].

9. Kontrol shorstkosti poverkhni [Control of surface roughness] Retrieved from: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/kontrol-shorstkosti-poverhni.php> (accessed 1 August 2022).

10. Metrolohiia, standartyzatsiia ta upravlinnia yakistiu [Metrology, standardization and quality control] Retrieved from <https://buklib.net/books> (accessed 1 August 2022).

11. Vplyv yakosti poverkhni na ekspluatatsiini vlastyvoli detalei [Effect of surface quality on operational properties of parts] Retrieved from: <https://stud.com.ua/tehnika> (accessed 1 August 2022).