УДК 621.822:681.2:369.64

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2022-21-08

**Лапченко Ю.С.,** *к.т.н.,* **Мельник М.В..**

Луцький національний технічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НЕРІВНОСТЕЙ ПОВЕРХНІ**

*В статті проведено дослідження технологічного походження нерівностей поверхні шляхом аналізу впливу технологічних факторів на формоутворення нерівностей поверхні доцільно, у всякому разі в першому наближенні, представити їхню сукупність як лінійну систему впливів, що дозволяє на основі теореми суперпозиції розглядати послідовно ефекти впливу окремих факторів, змінюючи одні фактори іншими, їм еквівалентними. Оскільки дія найважливіших формотворних факторів періодична чи майже періодична, то на основі теореми про спектри поверхні можна простежити ефекти впливу кожного з них, розглядаючи спектри поверхонь і їхніх профілів. Такий підхід дозволяє на основі теореми про частотну діагностику судити про причетність тих чи інших факторів до утворення важливих в експлуатаційному відношенні особливостей профілю нерівностей і його складових. У випадку недостатності випадкової складової профілю нерівностей поверхні можна використовувати на основі відповідної теореми довірчу оцінку профілів, застосовуючи розподіл Стьюдента і Фішера.*

*Дослідження технологічного походження нерівностей поверхні показало що для аналізу спектра нерівностей в разі застосування електронного аналізатора спектрів і частотних характеристик (АСЧХ) необхідно нижню границю вимірювання встановити на 20 Гц. З аналізу аналітичних і експериментальних досліджень точності формоутворення кілець підшипників на операціях точіння і шліфування випливає, що похибки форми від пружних деформацій деталі під дією сил різання складають 80-85% сумарної похибки.*

***Ключові слова:*** *відхилення форми, технологічний процес, точність, підшипник, похибка.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв’язок із важливими науковими чи практичними завданнями.**

Принципи аналізу технологічного походження нерівностей поверхні за експериментальними даними можна сформулювати на основі фізико-технологічної теорії розмірних параметрів у такий спосіб. При аналізі впливу технологічних факторів на формоутворення нерівностей поверхні доцільно, у всякому разі в першому наближенні, представити їхню сукупність як лінійну систему впливів, що дозволяє на основі теореми суперпозиції розглядати послідовно ефекти впливу окремих факторів, змінюючи одні фактори іншими, їм еквівалентними. Оскільки дія найважливіших формотворних факторів періодична чи майже періодична, то на основі теореми про спектри поверхні можна простежити ефекти впливу кожного з них, розглядаючи спектри поверхонь і їхніх профілів. Такий підхід дозволяє на основі теореми про частотну діагностику судити про причетність тих чи інших факторів до утворення важливих в експлуатаційному відношенні особливостей профілю нерівностей і його складових. У випадку недостатності випадкової складової профілю нерівностей поверхні можна використовувати на основі відповідної теореми довірчу оцінку профілів, застосовуючи розподіл Стьюдента і Фішера.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, де розв’язувались завдання цієї проблеми, виділення нерозв’язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена стаття.**

Дослідження в галузі точності технологічних процесів і операцій являються базою та передумовою для створення систем управління якістю виробів, що особливо важливо для умов автоматизованого виробництва. Вимогам сучасного виробництва не задовольняє управління, що обмежується першопочатковим налагоджуванням устаткування, підналагоджуваннями координат розміщення інструменту, або заміною неякісного інструменту. Багато технологічних процесів вимагають використання вдосконалених засобів керування, включаючи самоналагоджувальні системи керування, що забезпечують оптимальний хід технологічного процесу навіть при випадкових коливаннях характеристик оброблюваності матеріалу і інтенсивності зношуваності інструменту, а також при температурних, силових та інших збуреннях. Для створення таких систем управління точністю та якістю виробів необхідне математичне описання технологічного процесу з врахуванням наслідків впливу на нього широкого спектру різнорідних зовнішніх та внутрішніх чинників.

Комплексна задача підвищення точності і ефективності обробки вирішується як за рахунок використання традиційних методів підвищення точності, які ґрунтуються на покращенні технологічних характеристик верстатів і проектування технологічних процесів з заданою точністю (конструкторські методи керування точністю та керування положенням розміщення інструменту відносно заготовки), так і за рахунок безпосереднього керування режимами різання, пружною системою, збуреннями, що впливають на процес механообробки. Переваги останнього напряму полягають не тільки в можливості зменшення впливу деяких чинників, що сприяють появі похибок обробки, але і повного їх виключення шляхом використання зворотних зв’язків. Дослідження взаємозв’язків між чинниками, що супроводжують процес формоутворення, являється досить складним завданням багатофакторного аналізу, вирішення якого дозволило виділити домінуючі з них, які і покладені в основу функціонування систем автоматичного та адаптивного керування процесом механічної обробки деталей.

Під точністю в технології машинобудування розуміється ступінь відповідності виробів наперед встановленому зразку. Загально признано [1, 2, 3], що проблема точності в технології машино- та приладобудування повинна розглядатись комплексно для всього технологічного процесу. При цьому похибки залежать не тільки від варіанту технологічного процесу, але і визначаються взаємодією на технологічний процес значної кількості систематичних та випадкових чинників, таких як неточність встановлення інструменту, його зношуваність, неточність вимірювання розмірів і т. п. [4].

Аналіз робіт показує, що в дослідженні точності можливо виділити три основних напрямки [5]: перший напрямок носить геометричний характер, базується на теорії розмірних ланцюгів, розроблений [6]; другий пов’язаний з дослідженням в основному жорсткісних характеристик деталей, технологічного устаткування, спорядження і їх впливу на точність та міцність технологічних систем [7]; третій напрямок базується на поєднанні та врахуванні всього комплексу чинників, в тому числі геометричних і жорсткісних [2, 4].

**Мета статті (формулювання цілей статті).**

Метою статті є дослідження технологічного походження нерівностей поверхні шляхом аналізу впливу технологічних факторів на формоутворення нерівностей поверхні на базі фізико-технологічної теорії.

**Постановка завдання.**

Оскільки дія найважливіших формотворних факторів періодична чи майже періодична, то на основі теореми про спектри поверхні можна простежити ефекти впливу кожного з них, розглядаючи спектри поверхонь і їхніх профілів. Такий підхід дозволяє на основі теореми про частотну діагностику судити про причетність тих чи інших факторів до утворення важливих в експлуатаційному відношенні особливостей профілю нерівностей і його складових. У випадку недостатності випадкової складової профілю нерівностей поверхні можна використовувати на основі відповідної теореми довірчу оцінку профілів, застосовуючи розподіл Стьюдента і Фішера.

**Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих результатів.**

В геометричному розмірному аналізі на основі теорії розмірних ланцюгів розроблені правила та принципи, як наприклад принцип єдності баз [6], принцип найкоротшого шляху [7], принцип суміщення та постійності баз [8], умова найменшої похибки [9], котрі дозволяють раціонально вибирати способи базування деталей для забезпечення заданої точності. Розроблена схема формування похибок, що враховує реальні форми деталей, дозволила допуски на положення деталі в машині виразити як функції параметрів, які характеризують відхилення форм від ідеальних. В результаті такого підходу встановлено, що внаслідок криволінійності поверхонь деталі можуть взаємодіяти між собою через комплект опорних точок, котрі розглядаються як матеріалізація системи координат, що зв’язана з деталлю. При цьому до кожної деталі прив’язуються системи координат, що побудовані на основних і допоміжних базах, та система координат машини. Складові переносу і відносного повороту координатних систем дозволяють судити про відносне положення як поверхонь деталей, так і деталі в цілому. Цей підхід віддзеркалився в ГОСТ 21495-76 згідно з яким при базуванні деталей досягається співпадіння координатних систем опорних точок, побудованих на елементах пристроїв і на основних базах деталей. Деталі розглядаються як абсолютно тверді тіла, форма яких не змінюється від зусиль закріплення та різання, що має підґрунтя при обробці жорстких деталей.

Такий аналіз можна здійснювати за допомогою механічних і електронних аналізаторів, а також застосовуючи розповсюджені в даний час електронне обчислювальні машини (ЕОМ). Механічні аналізатори при порівняно низькій швидкості їхньої дії мають перевагу великої наочності. Механічний гармонійний аналізатор МГА дозволяє визначати коефіцієнти an і bn ряду Фур’є

, (1)

де х, у – абсциса й ордината періодичної систематичний складової профілю;B1 – крок першої (основної) гармоніки;

– (2)

нульовий член розкладання (ордината середньої лінії профілю в такій вихідній системі координат, у якій абсциса рівнобіжна середній лінії профілю); l – довжина ділянки профілю, на якій здійснюється розкладання профілю в ряд Фур’є (l=B1); N – число ординат уі профілю у вихідній системі на довжині В, вимірюваних для наближеної оцінки ; an – коефіцієнт при косинусах

; (3)

n – порядковий номер "гармоніки", що вказує, у скільки разів її крок менше В1, bn – коефіцієнт при синусах

. (4)

Ряд (1) можна представити у вигляді

, (5)

де  крок n-ї гармоніки;

 (6)

її амплітуда;

 (7)

її фазовий кут.

Ступінь повноти представлення профілю нерівностей тригонометричним поліномом виду (1) чи (2) оцінюють на підставі рівняння Парсеваля–Ляпунова співвідношенням

, (8)

де Rq – середнє квадратичне відхилення профілю.

МГА включає синусно-косинусний механізм і два геодезичних планіметри. За допомогою синусно-косинусного механізму функція (1) перетвориться у функції

Yc (Xc) або Ys (Xs), (9)

де



На профілограмі, використовуваної при гармонійному аналізі, вибирають характерну ділянку, довжина якої повинна бути не більш Lкр=400 мм (краще до 350 мм). При цьому коефіцієнти bn і аn можуть мати значення від –160 до +160 мм графіка. Профілограму з записаним профілем 14 приколюють до креслярської дошки і на профілі проводять вісь х як його середню лінію (рис. 1).

До приладу прикладається металевий настановний косинець 15 під кутом 90°. На його повздовжній лінійці (вісь х) нанесена шкала з нулем посередині й оцифрованими поділками 2, 4, ..., 40 з інтервалом у 5 мм у кожну сторону від нуля. Нульову поділку шкали сполучають із серединою обраної ділянки профілю, прикладаючи повздовжню лінійку впритул до осі х, і відзначають кінці обраної ділянки за оцифрованими поділками лінійки. Наприклад, якщо ділянка має по середній лінії довжину 200 мм, то кінці його повинні збігатися з відмітками 20 по одну й іншу сторону від нульової поділки повздовжньої лінійки. На поперечній лінійці косинця 15 (вісь у) нанесена риска, проти якої встановлюють нульовий розподіл металевої рейки 5 з направляючим пазом, по якому переміщуються ролики великої каретки 6. Рейку кріплять спеціальними кнопками до тієї креслярської дошки, до якого приколена профілограма. Косинець 15 забирають і ставлять каретку 6 роликами в паз рейки 5. В отвір, що є в правій частині каретки 6, вводять вісь 11, яка знаходиться поблизу вершини прямого кута обвідного Г-подібного важеля 12, на довгому плечі якого нанесена шкала з оцифрованими поділками від 2 до 40; вздовж цього плеча може переміщуватися візира 13, із внутрішньої сторони двигуна якого є риска. Візира 13 установлюють на важелі 12 так, щоб його риска збіглася з поділкою, цифра якої дорівнює довжині обраної ділянки, вираженої в сантиметрах. Другу вісь 10, що знаходиться на кінці короткого плеча важеля 12, вставляють у повздовжній паз 9 малої каретки 7, що переміщується по направляючим 8 каретки 6. На каретці 7 жорстко закріплена зубчаста рейка 16 із двома рисками у верхній частині й однією рискою у нижній частині. На каретці 6 жорстко закріплені дві металеві пластини 17 із гніздами для змінних зубчатих коліс 3. Кожне гніздо і кожне змінне зубчасте колесо відзначені однаковими номерами n тих гармонік, коефіцієнти an, і bn яких визначають з їх допомогою. зубчаті колеса є для всіх гармонік з n=1 до n=25, за винятком n=20, 22 і 24. На кожному зубчатому колесі є по два малих отвори, розташованих на однакових відстанях від осі обертання на радіусах, кут між якими дорівнює 90°. Один отвір, позначений буквою С (косинус), використовують при визначенні коефіцієнта аn, інший отвір, позначений буквою S (синус), служить при визначенні коефіцієнта bn.

Рис. 1. Механічний гармонійний аналізатор МГА

В отвори С й S вставляють обвідний штифт одного з геодезичних планіметрів 2, а голку його фіксатора зміцнюють у металевій пластині дерев’яної підставки 1, присунутої впритул до рейки 5. Вставляючи вісь зубчастого колеса, потрібного для визначення того чи іншого коефіцієнта аn чи bn, домагаються, щоб наявна на зубчатому колесі риска збіглася з відповідною рискою на рейці 16, а потім з’єднують обвідний штифт планіметра з отвором С чи S. При цьому перехрестя візира 13 повинне збігатися з початком координат на профілограмі 14, тобто з крайньою лівою точкою на середній лінії аналізованої ділянки профілю. У цьому положенні роблять за відліковим пристроєм планіметра початковий відлік. Візиром 13 акуратно обводять профіль до кінця обраної ділянки і повертають його в початок координат по осі х (по середній лінії профілю), після чого роблять кінцевий відлік і віднімають з нього початковий відлік. Це і буде значення обумовленого коефіцієнта в поділках відлікового пристрою планіметра 2. Його потрібно помножити на ціну поділки, щоб одержати обумовлений коефіцієнт аn чи bn у міліметрах профілограми. Для гармонік 1–6 ціна поділки j дорівнює 0,1 мм.

Гармоніки 7–25 визначають, застосовуючи один з п’яти прикладених до приладу проміжних блоків 4, що складаються з двох зубчатих коліс кожний. Одне зубчасте колесо блоку вводять у зачеплення з рейкою, а друге із шестернею, призначеною для визначення коефіцієнта аn чи bn гармоніки. У цьому випадку j=0,05 мм. Користуючись обома планіметрами 2, можна одночасно визначати коефіцієнти an двох різних гармонік (чи аn однієї гармоніки і bn іншої гармоніки). Для того щоб уникнути грубих помилок, процедуру визначення кожного коефіцієнта Фур’є виконують 2 рази, і якщо дві отримані різниці відліків за планіметрами відрізняються один від одного не більше ніж на 5 одиниць, то коефіцієнт Фур’є визначають за середнім значенням із двох отриманих різниць відліків за планіметром. Якщо ж вони відрізняються більше, ніж на 5 одиниць, то процедуру виконують утретє, а розрахунок ведуть по середній із двох досить близьких різниць. Якщо вісь абсцис не збігається із середньою лінією профілю, то нульовий член розкладання а0 визначають за допомогою планіметра без застосування аналізатора: обводять штифтом профіль планіметра, повертають штифт у початкове положення й отриману різницю кінцевого і початкового відліків поділяють на довжину аналізованої ділянки. Дослідження показали, що похибка обведення складного профілю нерівностей з імовірністю Р=0,7 лежить у межах 17–25% значення обумовленого коефіцієнта високої гармоніки. У випадку істотної некратності кроків компонент профілю нерівностей спектр його може бути описаний тригонометричним поліномом.

Коефіцієнти при косинусах і синусах можуть бути знайдені за формулами

; (10)

, (11)

де 2N+ 1 – непарне число ординат аналізованого профілю;

; (12)

 (α=0, 1, 2, …,N), (13)

причому в суму (10) перше й останнє значення входять з коефіцієнтом 1/2; Yα , Y\_α – ординати профілю в точках α і – α, при розташуванні початку відліку в середній точці профілю по його довжині.

Якщо періоди всіх компонентів такі, що відношення  є цілими числами, то співвідношення (10) і (11) визначають амплітуди при косинусах і синусах. Якщо точне значення m+ε цього відношення лежить між двома цілими числами m й m+1, тo останні розпізнаються за перериванням знаками + + чи – – регулярного чергування знаків ± амплітуд ak і bk.

Поправка визначається співвідношенням

, (14)

де

. (15)

Якщо коефіцієнт ak чи bk не дорівнює нулю, то це вказує на те, що вихідні дані містять частоти

. (16)

Якщо число спостережень відносно мале, а пікові значення дуже близькі один до одного, то фокусуюча дія вагової функції підсилюють σ-згладжуванням, перед утворенням сум вихідні дані множать на вагові множники

; (17)

. (18)

У тім же випадку несумірності періодів періодичних складових профілю для одержання тригонометричного полінома виду

, (19)

де An – амплітуда n-ї компоненти;  – кутова частота; Bn – крок n-ї складової, відділення парної частини (11) профілю від непарної виробляється за допомогою перетворення (10).

Для судження про ступінь кратності кроків складових профілю використовують автокореляційну функцію Ку (τ) і спектральну щільність S (θ) у якості фокусуючих перетворень, що обчислюються за формулами

, (20)

де  ; 2L – довжина аналізованого профілю; τ – змінна відстань між ординатами y (х) і y (х+τ) того ж профілю; n – число ділянок розбивки довжини аналізованого профілю; m=0, 1, 2... (до таких значень, при яких автокореляційна функція стає практично рівної нулю); y(xi) і y(xi+m) відраховуються від середньої лінії профілю:

, (21)

де θ – "частота" профілю, що відповідає відношенню кроку складової аналізованої довжини.

У кореляційно перетвореному профілі Ку (τ) роль гармонік з малими ампулітудами послаблюється і виразно виступають складові з істотними амплітудами, кроки яких оцінюються за графіком перетвореного профілю.

Спектральна щільність є результатом накладання піків профілю (який має полігармонійну і випадкову складові) теоретично нескінченної висоти на частотах, що відповідають частотам гармонік у профілі, на відносно гладку спектральну щільність випадкової складової. За місцевим розташуванням піків можна визначити значення частот (чи періодів) складових аналізованого профілю.

Перетворений профіль Ку (τ) є сумою складових вихідного профілю з тими ж періодами, але з амплітудами, помноженими на коефіцієнт ρn:

. (22)

При великому інтервалі задання профілю маємо

. (23)

Якщо частоти гармонійних компонентів у профілі не занадто близькі, тобто

, (24)

то

. (25)

Іншими словами, якщо зробити парне розкладання (10) кореляційного перетворення Ку (τ), то амплітуди розкладання в зазначеному випадку будуть являти собою напівквадрати амплітуд гармонійних компонентів, і тим самим визначаються амплітуди An. Алгоритми обчислення параметра пекло є ключем до можливого подальшого аналізу зв’язків нерівностей поверхонь деталей з визначеними технологічними факторами (параметри системи СНІД, характеристики інструмента і заготовки, режими обробки і т.д.).

Інший спосіб аналізу спектра нерівностей полягає в застосуванні електронного аналізатора спектрів і частотних характеристик (АСЧХ). При використанні АСЧХ аналізований профіль вводять у нього за допомогою голівки, що общупує, і підсилювача (з фільтром у випадку індуктивної голівки) щупового електромеханічного чи профілографа-профілометра. На екрані осцилоскопа АСЧХ при цьому спостерігаються вертикальні смуги, що відповідають кожна визначеній гармоніці аналізованого профілю. Висота кожної смуги пропорційна амплітуді даної гармоніки, а відстань по горизонталі від її до смуги, що відповідає основній гармоніці, пропорційна її частоті. Сітку екрана осцилоскопа попередньо тарують шляхом подачі від генератора синусоїдальних сигналів з відомими амплітудами і частотами. Утруднення полягають у тому, що АСЧХ повинна мати діапазон частот, що спостерігаються, майже від 0 чи профіль повинний бути попередньо записаний на магнітну стрічку, а потім відтворений зі збільшеної на постійний коефіцієнт частотою, оскільки діапазони звичайних АСЧХ мають нижню границю порядку 20 Гц.

Для швидкої грубої оцінки спектра нерівностей профілю поверхні у виробничих умовах можна використовувати спосіб прямого виміру амплітуд. Він полягає в тому, що за профілограмою чи круглограмою вимірюють кроки В й висоти НВ від дна западини до вершини виступу й останні приймають за подвоєні амплітуди нерівностей із кроками В, тобто

. (26)

Аналіз впливу технологічних факторів на нерівності поверхні. Такий аналіз можна здійснювати за допомогою інформації про спектри нерівностей. У цьому випадку параметром оптимізації служить фізично обґрунтований параметр нерівностей поверхні, що характеризує вплив нерівностей даної поверхні на відповідний експлуатаційний показник. Наприклад, якщо експлуатаційним показником є границя витривалості σ\_1, то обґрунтованим критерієм оптимізації може служити надлишковий коефіцієнт концентрації напруг. Характер і інтенсивність впливу αR на σ\_1 можна визначити, наприклад, по рівнянню:

.

У свою чергу параметр αR зв’язаний зі спектром нерівностей співвідношенням:

.

Якщо наявна інформація про спектр нерівностей поверхні, то тим самим визначений не тільки αRС, але також крок і частота Вnα, амплітуда Аnα, при яких має місце максимум відносини – далі виявляють ті технологічні фактори, що діють у процесі формоутворення нерівностей з такою частотою, що дорівнює чи близька частоті, що відповідає кроку Вnα нерівностей поверхні. Деякі технологічні фактори, наприклад розміри зерен абразиву, застосовуваного при шліфуванні чи поліруванні поверхонь, узяті з урахуванням фракційного складу, безпосередньо визначають кроки складових загального профілю, що виникають внаслідок дії даного технологічного фактора. У багатьох інших випадках завдання полягає у виявленні тих технологічних факторів, що причетні до утворення складових, визначальні значення фізично обґрунтованих у даній ситуації параметрів нерівностей поверхні, наприклад αR, βR, γR, θR і т.д. У цьому випадку може бути використана теорема про частотну діагностику і методика її застосування.

**Висновки.** Дослідження технологічного походження нерівностей поверхні показало що для аналізу спектра нерівностей в разі застосування електронного аналізатора спектрів і частотних характеристик (АСЧХ) необхідно нижню границю вимірювання встановити на 20 Гц. З аналізу аналітичних і експериментальних досліджень точності формоутворення кілець підшипників на операціях точіння і шліфування випливає, що похибки форми від пружних деформацій деталі під дією сил різання складають 80-85% сумарної похибки.

**Список використаної літератури**

1. Петренко В.А., Левченко О.М., Шубін Є.С. Управління якістю на підприємстві: Навчальний посібник. – КДТУ, Кіровоград, 2021. – 262 с.

2. Гавриш А. П. Мікрогеометрія поверхні і стан поверхневого шару зносостійких деталей тертя з високолегованих композитів за умови абразивного суперфінішування / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, О. І. Лотоцька, Ю. Ю. Віцюк // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". - 2015. - № 5. - С. 81-88.

3. Гаврилюк В. Г., Кукляк М. Л. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання. Навчальний посібник для студентів механічних та машинобудівних спеціальностей. – К: УМКВО, 2020. – 210с.

4. ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію (EN ISO 1302:2002, IDT; ISO 1302:2002, IDT).

5. Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зєнкін, В. Д. Каразей. - Львів : Новий світ-2000, 2020. - 358 с.

6. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні: Навч. посібник // За редакцією А.І. Грабченко. – Харків, ХДПУ, 2019. – 436 с.

7. Струтинський В.Б., Кравець А.М., Дем’яненко С.К. Спектральний аналіз форми поверхні, одержаної при обробці заготовок зі спеціальним профілем. // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2020. –№14. – С.54-63.

8. Струтинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів. – Житомир: ЖІТІ, 2021. – 570 с.

9. Якимов О.В., Усов А.В. та ін. Теплофізика механічної обробки. – Одеса: Астропринт, 2020. – 256 с.

**Y. Lapchenko,** **M. Melnyk**

Lutsk National Technical University

**INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGICAL ORIGIN OF SURFACE IRREGULARITIES**

The article investigates the technological origin of surface irregularities by analyzing the influence of technological factors on the formation of surface irregularities. It is advisable, at least in the first approximation, to present their totality as a linear system of influences, which allows, on the basis of the superposition theorem, to consider sequentially the effects of the influence of individual factors, changing some factors others equivalent to them. Since the action of the most important shape-forming factors is periodic or almost periodic, based on the theorem on surface spectra, it is possible to trace the effects of the influence of each of them, considering the spectra of surfaces and their profiles. This approach allows, based on the theorem on frequency diagnostics, to judge the involvement of certain factors in the formation of features of the unevenness profile and its components that are important in terms of operation. If the random component of the profile of surface irregularities is insufficient, it is possible to use a confidence estimate of the profiles using the Student and Fisher distribution based on the corresponding theorem.

The study of the technological origin of surface irregularities showed that for the analysis of the spectrum of irregularities in the case of using an electronic analyzer of spectra and frequency characteristics (ASFC) it is necessary to set the lower limit of measurement to 20 Hz. From the analysis of analytical and experimental studies of the accuracy of forming bearing rings during turning and grinding operations, it follows that form errors due to elastic deformations of the part under the action of cutting forces make up 80-85% of the total error.

Key words: form deviation, technological process, accuracy, bearing, error.