

УДК 621.733

В.Б. СТРУТИНСЬКИЙ (д-р техн. наук, проф., зав. каф.),
О.М. КРАВЕЦЬ (канд. техн. наук, доц.)
О.Я. ЮРЧИШИН (канд. техн. наук, старш. викл., oksanajur@mail.ru)
Національний технічний університет України
Київський політехнічний інститут, м. Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛЯ ПАРАМЕТРІВ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ

Розроблено спеціальну методику та обладнання для визначення низькочастотних динамічних процесів, що мають місце при роботі токарного верстата. Згідно методики проведено експериментальне визначення низькочастотних коливальних процесів при токарній обробці. Здійснено обробку і аналіз одержаного масиву експериментальних даних та визначено особливості низькочастотних коливальних процесів при токарній обробці деталей.

токарна обробка, низькочастотні процеси, заготовка, експериментальне визначення

Вступ

Точність токарної обробки визначається динамічними коливальними процесами, що мають місце в пружній системі верстата. Динамічні процеси описуються перехідними або частотними характеристиками верстата. Найбільш достовірним є експериментальне визначення динамічних характеристик верстата безпосередньо під час обробки. Тому експериментальні дослідження динамічних процесів при токарній обробці є актуальним.

Розглянута наукова проблема є основою вирішення важливих наукових та практичних завдань розвитку верстатобудування. Вдосконалення динамічних характеристик верстатів дасть можливість суттєво підвищити точність обробки [1].

В останніх дослідженнях і публікаціях [2, 3] значну увагу приділено питанням визначення динамічних характеристик шпиндельної і супоргної групи верстата. Розроблені методи знаходження перехідних характеристик верстата на основі математичного моделювання процесів у динамічній системі верстата. В літературних джерелах наявний ряд пропозицій по визначенню частотних характеристик верстата [4]. Окремі публікації присвячені визначенню особливостей випадкових коливальних процесів [5]. Наявна значна кількість наукових розробок по проблемі визначення динамічних властивостей верстата при точінні.

До невирішених раніше частин загальної проблеми відноситься створення достатньо простої і надійної методики експериментального визначення характеристик низькочастотних коливальних процесів при токарній обробці деталей та одержання достовірних даних для характеристики поля параметрів низькочастотних коливальних процесів, які визначають точність токарної обробки деталей.

Мета роботи: розробка спеціальної методики та обладнання для визначення низькочастотних динамічних процесів, що мають місце при роботі верстата та експериментальне визначення низькочастотних коливальних процесів при токарній обробці. Основними завданнями досліджень є розробка методики експерименту, обробка і

аналіз одержаного масиву експериментальних даних та визначення особливостей низькочастотних коливальних процесів при токарній обробці деталей.

Основний зміст роботи

Точність обробки на токарному верстаті в основному визначається низькочастотними коливальними процесами, що мають місце в динамічній системі верстата. В залежності від типу верстата низькочастотними вважаються процеси, частоти яких не перевищують 100..500 Гц.

Найбільш достовірну інформацію про параметри низькочастотних процесів дають експериментальні виміри, які здійснюються безпосередньо під час обробки. Для цього розроблена спеціальна методика експериментальних досліджень. Вона полягає в застосуванні спеціальних заготовок, які забезпечують динамічні навантаження на технологічну систему верстата з подальшим виміром і аналізом круглограм обробленої поверхні.

Для формування різко змінних динамічних навантажень застосовувалась заготовка з виступами (рис. 1).

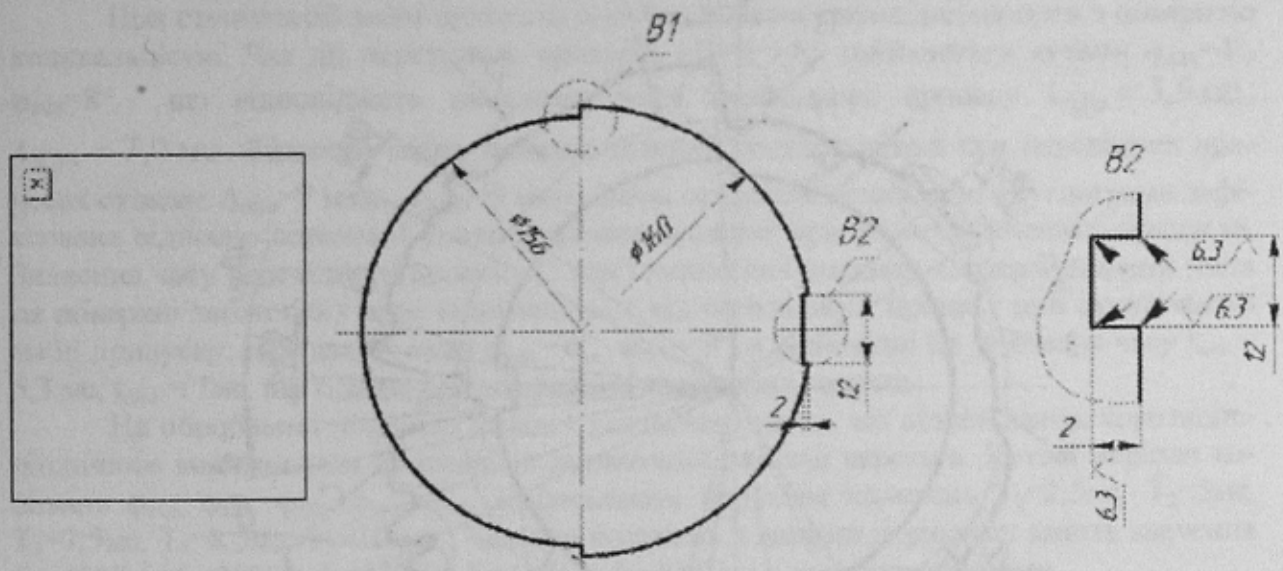


Рис. 1. Форма поперечного перетину і розміри заготовки із ступінчастими виступами

Заготовка має циліндричну форму з виступом висотою 2 мм на половині діаметру. Додатково на поверхні заготовки виконаний паз глибиною 2 мм.

Середньоарифметичне відхилення мікропрофіля зовнішньої поверхні заготовки Ra 3,2 при допуску h9, поверхні виступу і паза Ra 6,3. Для виключення впливу можливого ексцентриситету заготовки в патроні перед початком експерименту проводилося чистове точіння зовнішньої поверхні заготовки з мінімальним (0,1 мм) припуском на обробку.

При обробці заготовки встановлювалась величина припуску 3 мм. Відповідно раптова зміна припуску складала 2 мм.

Окремі вузли динамічної системи верстата мають різну жорсткість. Загальноприйнято, що шпиндельна група верстата є більш жорсткою ніж супортна група. Тому при раптовій зміні припуску переміщення різця будуть суттєво більшими ніж переміщення вісі шпинделя. При обертанні деталі переміщення різця приведуть до зміни фо-

рми обробленої поверхні. Зокрема, раптові зміни припуску обумовляють хвилястий виступ на обробленій поверхні. Вимірявши круглограму обробленої поверхні, можна знайти форму виступа, а відповідно і параметри перехідних процесів у динамічній системі верстата.

Виміри круглограми обробленої поверхні в даному випадку не є доцільними. Практично визначається не круглограма, а огиначна круглограма. Виміри здійснюються безпосередньо на верстаті після обробки заготовки.

Після обробки заготовки здійснено виміри огиначної обробленої поверхні. Виміри проведені індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм. Шпиндель верстата повертався вручну з дискретністю 3^0 . На кожному кроці проводились виміри радіуса обробленої поверхні. Виміри проведені для повного перетину обробленої поверхні при відповідному повороті шпинделя на 360^0 . Виміри проведені в 5-ти сусідніх перетинах обробленої поверхні. Результати вимірів осереднені. Осереднена огиначна круглограма обробленої поверхні має характерний вигляд, відповідний формі заготовки (рис. 2).

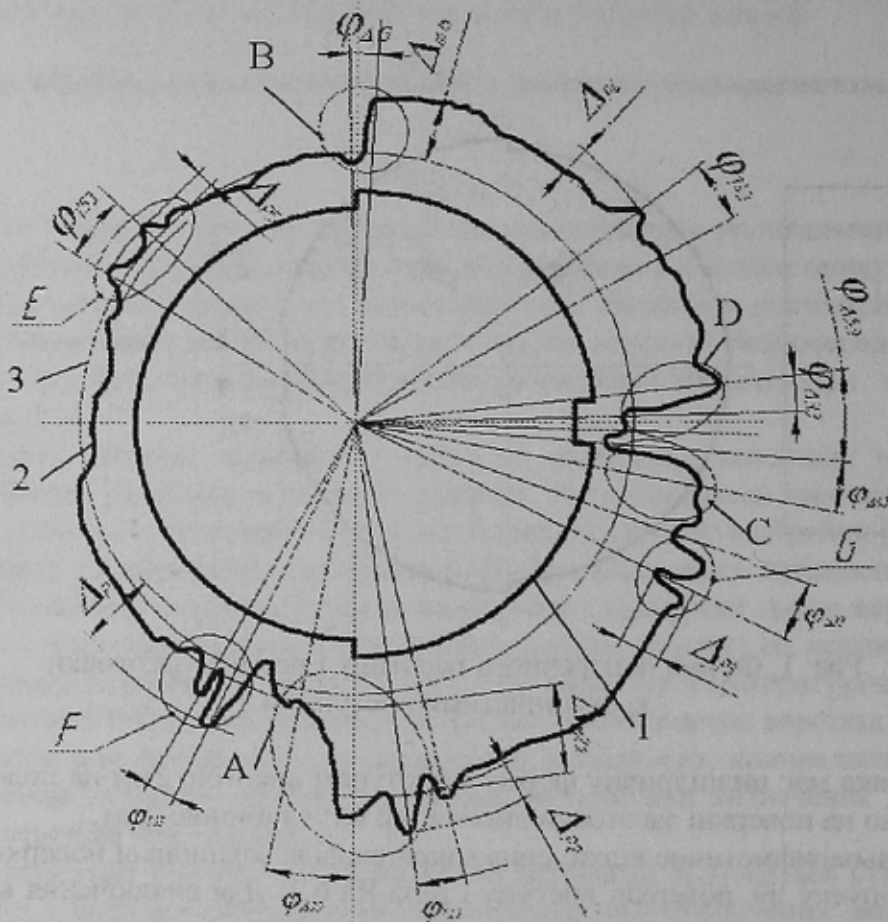


Рис. 2. Огиначна круглограма обробленої поверхні, одержаної при обробці заготовки із ступінчастою зміною припуску:

- 1 – форма заготовки; 2 – огиначна круглограма обробленої поверхні;
- 3 – базове коло, відносно якого визначено відхилення огиначної круглограми

На обробленій поверхні наявні області зменшеного діаметра та збільшеного діаметра. Вони відповідають різній величині припуску, що має місце при обробці різних ділянок заготовки. Перехідні низькочастотні коливальні процеси мають місце при

зміні діаметрів обробленої поверхні. Перехідний процес «А» відповідає різкому збільшенню припуску при взаємодії різця із виступом заготовки. Перехідний процес «В» відповідає різкому зменшенню припуску. Дані перехідні процеси є ізольованими і визначають власні процеси в динамічній системі верстата. Перехідні процеси «С» і «D» є результатом різкого зменшення припуску з подальшим різким збільшенням. Дані перехідні процеси співпадають в часі, а динамічні процеси, які відповідають даним процесам, накладаються. Тому перехідні процеси «С» і «D» є взаємозалежними.

На огинальній круглограмі простежуються окремі перехідні процеси «Е», «F», «G», які не пов'язані із ступінчастою зміною припуску. Дані перехідні процеси мають вигляд ізольованих хвилеподібних змін форми обробленої поверхні. Вони пов'язані із додатковими динамічними навантаженнями, які мають місце в динамічній системі верстата.

Перехідний процес «Е» затухає, хоча коливання незначної амплітуди спостерігаються на значній частині периферійної частини заготовки.

Перехідні процеси «F» і «G» мали місце безпосередньо при змінах припуску. Тому вони вплинули на формування перехідних процесів «А» і «С».

При ступінчатій зміні припуску спостерігаються перехідні процеси з помірного коливальностію. Час дії перехідних процесів «В» і «А» оцінюються кутами $\varphi_{\Delta 13} = 4^\circ$, $\varphi_{\Delta 23} = 8^\circ$, що відповідають значенням часу перехідного процесу $t_{\Delta 13} = 3,5$ мс, $t_{\Delta 23} = 7,0$ мс. Відносна зміна значень ординат контуру деталі при перехідних процесах складає $\Delta_{m13} = 7$ мкм, $\Delta_{m23} = 9$ мкм. Зміна ординати огинальної круглограмі зафіксована відносно середньої різниці значень ординат при різних значеннях припуску. Значення часу перехідного процесу С для ізольованої впадини кінцевої ширини (паза на поверхні заготовки) мало відрізняються від перехідного процесу при ступінчастій зміні припуску. При цьому кути $\varphi_{\Delta 33} = 6^\circ$, $\varphi_{\Delta 43} = 8^\circ$, а відповідні їм значення часу $t_{\Delta 33} = 5,3$ мс, $t_{\Delta 43} = 7$ мс, що є близьким до раніше одержаних значень.

На обробленій поверхні деталі є ізольовані хвилі, які відповідають короткоперіодичним коливальним процесам в динамічній системі верстата. Куткові періоди коливань φ_{T13} , φ_{T23} , φ_{T33} , φ_{T43} , φ_{T53} відповідають періодам коливань $T_1 = 2,5$ мс, $T_2 = 5$ мс, $T_3 = 7,5$ мс, $T_4 = 8,5$ мс, $T_5 = 10$ мс. Частоти коливань з даними періодами мають значення $f_1 = 400$ Гц, $f_2 = 200$ Гц, $f_3 = 133$ Гц, $f_4 = 118$ Гц, $f_5 = 100$ Гц і є низькочастотними.

Відносні розмахи коливань є суттєвими і складають $\Delta_{p1} = 1.21$, $\Delta_{p2} = 0.86$, $\Delta_{p3} = 0.57$, $\Delta_{p4} = 0.5$, $\Delta_{p5} = 0.43$.

В результаті аналізу круглограм встановлено, що форма циліндричної обробленої поверхні в різних перерізах по довжині поверхні є ідентичною. Геометричні параметри перерізів відрізняються на величину випадкових флуктуацій. Порівняння різних перерізів дало можливість встановити смугу розташування контурів випадкових перерізів обробленої поверхні. Це явище має місце при обробці всіх видів заготовок.

Для встановлення впливу випадкових змін форми заготовки на точність обробки проведені спеціальні експериментальні дослідження. При цьому використовувалася заготовка ступінчатої форми [5], профіль якої було сформовано як комбінацію двох випадкових процесів. Довжина кожної сходинки формувалась як випадкова величина, розподілена за законом Пуассона, а висота сходинки визначалась як випадкова величина, сформована генератором випадкових чисел з нормальним законом розподілу (рис. 3).

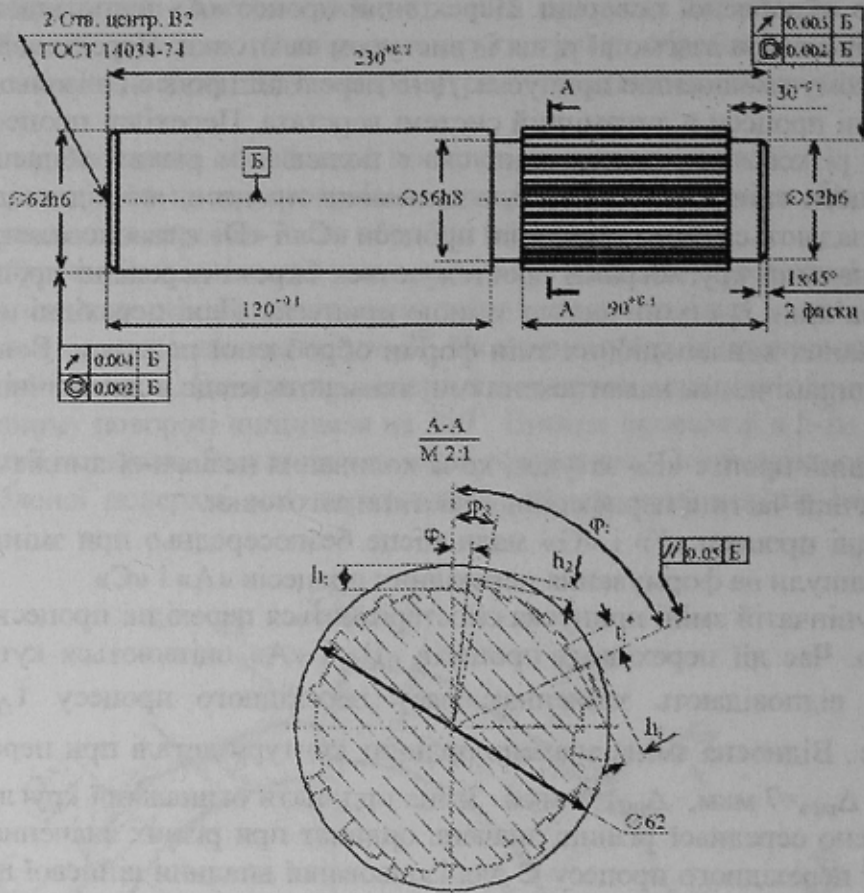


Рис. 3. Креслення заготовки для імітації стохастичного навантаження на динамічну систему верстата

Для заготовки з контуром у вигляді процесу Пуассона визначені статистичні характеристики. Зокрема, кореляційна функція даного процесу, згідно з [6], має вигляд експоненціальної залежності:

$$R(\tau) = D \cdot e^{-\frac{|\tau|}{T_r}}$$

де D – дисперсія амплітудних значень радіальної координати профілю;
 T_r – середня довжина сходинки на поверхні заготовки.

Спектральна щільність випадкового процесу, що відповідає перерізу даної заготовки згідно з [6] визначена у вигляді:

$$S(\omega) = \frac{2T_r D}{1 + \omega^2 T_r^2}$$

При обробці заготовки вимірювалось вібраційне просторове поле коливань різця. Для цього використовувались датчики віброприскорень, встановлені безпосередньо на різці в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 4).

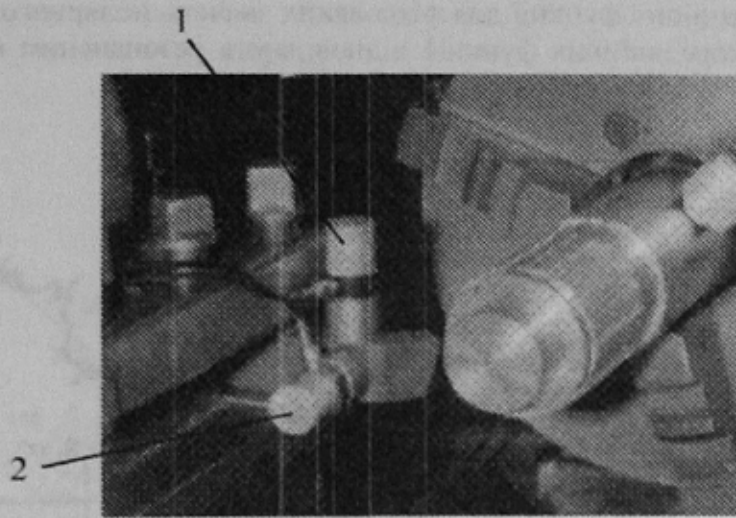


Рис. 4. Встановлення датчиків віброприскорень при обробці заготовки із випадковим контуром поверхні

Датчик прискорень 1 визначав віброприскорення різця в тангенціальному до обробленої поверхні напрямку. Датчик 2 призначено для виміру осьових віброприскорень. Для виміру нормальної складової віброприскорень застосовувався датчик, встановлений на кінцевій частині різця (на фото не показаний).

Разом з вимірами віброприскорень після обробки заготовки здійснено виміри кругло грами обробленої поверхні.

Циліндрична поверхня, одержана в результаті обробки даної заготовки, також мала характерну хвилястість. Параметри поверхні в невеликих межах змінювались випадковим чином по довжині деталі.

В результаті обробки експериментальних круглограм одержані статистичні характеристики зміни форми перерізу по довжині деталі. На рис. 5 наведена смуга розташування вимірних десяти поточних перерізів обробленої поверхні, по довжині деталі. Знайдені їх математичне сподівання та автокореляційні (коваріаційні) функції. Автокореляційні функції визначені як зміни радіальних координат в залежності від полярного кута.

Значення коваріаційних функцій розраховані за формулою [6]:

$$R(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k(t) - \mu(t))(x_k(t+\tau) - \mu(t+\tau)),$$

де $x_k(t)$, $x_k(t+\tau)$ – радіальні координати контуру обробленої поверхні в k -му перерізі відповідно в моменти часу t та $(t + \tau)$;

$\mu(t)$, $\mu(t+\tau)$ – математичне сподівання радіальної координати контуру обробленої поверхні в моменти часу t та $(t + \tau)$;

N – кількість точок, в яких проводились виміри радіальної координати обробленої поверхні.

Для уточнення кореляційних властивостей радіальних координат контурів в тангенціальному напрямку визначені потокові діаграми кореляційних функцій. Поточні діаграми одержані в результаті апаратурної обробки записів віброприскорень різця. При цьому здійснено подвійне інтегрування запису віброприскорення із визначенням поля віброшвидкостей та вібропереміщень різця. Наближеними методами знайдено

значення кореляційної функції для фіксованих значень полярного кута. Одержані поточкові діаграми кореляційних функцій відповідають резонансним випадковим процесам різного ступеня інтенсивності (рис.6).

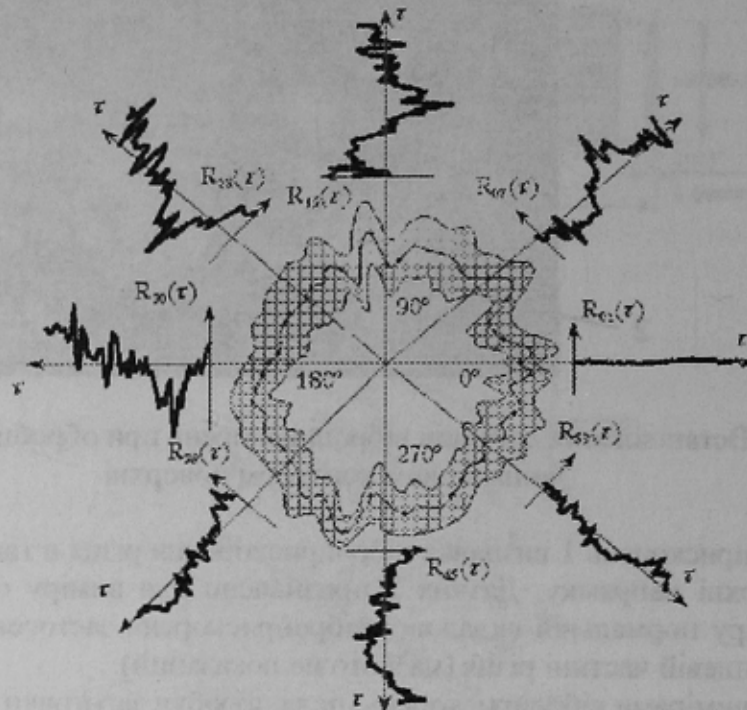


Рис. 5. Смуга зміни радіальної координати контурів обробленої поверхні в різних перерізах та коваріаційні функції випадкового процесу при різних значеннях полярних кутів

Зміни кореляційної функції мають груповий характер по полярному куту.

Як правило, кореляційні функції є затухаючими знакозмінними із короткоперіодичною та довгоперіодичними складовими.

Висновки

1. Розроблена методика експериментальних досліджень дозволяє визначити характеристики низькочастотних коливальних процесів, зокрема, частоти власних коливань, параметри перехідних процесів, а також кореляційні характеристики випадкових процесів у динамічній системі верстата.

2. Показники точності токарної обробки визначались низькочастотними коливальними процесами, які мають перехідні складові, відповідні власним частотам динамічної системи верстата: 100 Гц, 118 Гц, 133 Гц, 200 Гц.

3. Кореляційні функції, які відповідають різним радіальним перетинам обробленої поверхні, розрізняються своїми значеннями, але мають близькі області максимумів, відповідні власним частотам динамічної системи верстата.

4. Як напрямок подальших досліджень рекомендується розглянути просторове поле вібраційних параметрів ріжучих поверхонь, які формують оброблену поверхню.

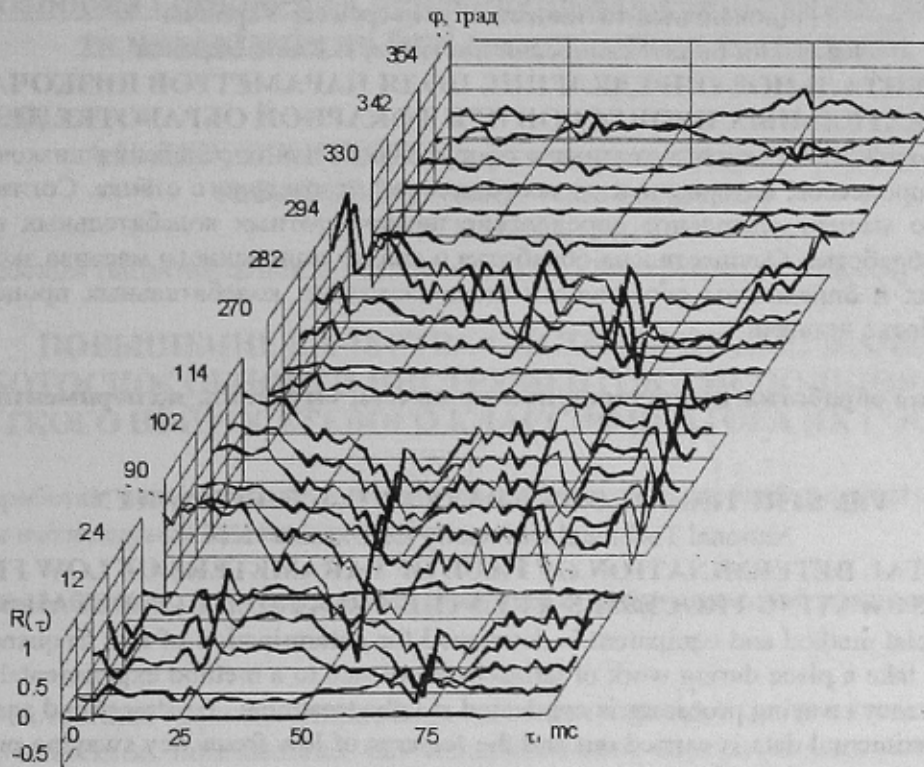


Рис. 6. Поточкова діаграма автокореляційних функцій параметрів випадкового процесу зміни радіальної координати контуру обробленої поверхні в залежності від тангенціальної координати для різних полярних кутів φ

Список літератури

1. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: підручник / В.Б. Струтинський. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.
2. Струтинський В.Б. Математичне моделювання металорізальних верстатів: монографія / В.Б. Струтинський, П.П. Мельничук. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 570 с.
3. Науково-технічні проблеми верстатобудування та їх вирішення при розробці нової гама металорізальних верстатів Київського верстатобудівного концерну / В.М. Дрозденко, В.Е. Перфілов, П.О. Піддубний та ін. // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия: Машиностроение. – 2008. – №54. – С. 220–238.
4. Струтинський В.Б. Математичне моделювання динамічних характеристик пружної системи супортної групи токарного верстата / В.Б. Струтинський, В.О. Ципоренко, О.Я. Юрчишин // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – 2009. – Вип. 25 (ч.2). – С. 265 – 271.
5. Струтинський В.Б., Кравець О.М., Юмашев В.Е. Математична модель випадкових складових сил тертя, які виникають при лезовій обробці деталей на металорізальних верстатах / В.Б. Струтинський, О.М. Кравець, В.Е. Юмашев // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наукових праць. Житомир. Житомирський державний технологічний університет. – 2007. – Вип. 5 Ч. II. – С. 87–95.

В.Б. СТРУТИНСКИЙ, А.М. КРАВЕЦ, О.Я. ЮРЧИШИН

Национальный технический университет Украины
Киевский политехнический институт, г. Киев, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Разработана специальная методика и оборудование для определения низкочастотных динамических процессов, которые имеют место при работе токарного станка. Согласно методике проведено экспериментальное определение низкочастотных колебательных процессов при токарной обработке. Осуществлена обработка и анализ полученного массива экспериментальных данных и определены особенности низкочастотных колебательных процессов при токарной обработке деталей.

токарная обработка, низкочастотные процессы, заготовка, экспериментальное определение

V.B. STRUTINSKY, O.M. KRAVETS, O.J. JURCHYSHYN

National Technical University Of Ukraine "KPI"

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PAUL OF PARAMETERS OF LOW FREQUENCIES SWAYING PROCESSES AT LATHE TREATMENT OF DETAILS

The special method and equipment is developed for determination of low frequency dynamic processes which take a place during work of lathe. In obedience to a method experimental determination of low frequency swaying processes is conducted at lathe treatment. Treatment and analysis of the got array of experimental data is carried out and the features of low frequency swaying processes are certain at lathe treatment of details.

lathe treatment, low frequencies processes, purveyance, experimental determination

Рецензент: д.т.н., проф. Гусев В.В.

Надійшла до редколегії 19.02.2010