

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕДЕННЯ ЇХ НА РЕЖИМИ ШВИДКІСНОГО РІЗАННЯ

© Грицай І.Є., Гурей Т.А., 2007

Наведено метод експериментального прискореного визначення динамічних характеристик металорізальних верстатів. Метод дає змогу модернізувати ненове обладнання для підвищення його вібростійкості під час переведення на режими швидкісного різання.

The method of experimental speed-up determination of dynamic descriptions of metal-cutting machine-tools is resulted. A method enables to modernize a not new equipment for the increase of him vibration firmness at translation on the modes of the speed cutting.

Аналіз стану проблеми. На рубежі ХХІ ст. окреслилися істотні зміни в концепції сучасного виробництва. Насамперед спостерігається тенденція переходу від повної автоматизації виробничих процесів до максимального адаптування до вимог автоматизації. Це проявляється у відмові від використання гнучких автоматизованих виробничих систем і переході до автоматизації на базі багатофункціональних верстатів з ЧПК. Якщо в ГАВС підвищення продуктивності праці забезпечувалося скороченням позациклових витрат часу, то в сучасних умовах цього досягають впровадженням засад високошвидкісного різання. Принцип високошвидкісного різання, реалізований в сучасних верстах з ЧПК – “High speed cutting / High speed machining” (HSC/HSM), стає домінуючим у розвитку виробничих стратегій у галузі металообробки. Якщо в кінці ХХ ст. ця тенденція поширювалася лише на оброблення різанням алюмінієвих сплавів, пластмас та деяких чавунів, то на сучасному етапі вона поступово розповсюджується на оброблення все ширшого найменування конструкційних матеріалів і сталей з середніми фізико-механічними характеристиками і параметрами міцності.

Окрім пришвидшеної інтенсифікації режимів робочих процесів, принцип високошвидкісного різання передбачає також урізноманітнення матеріалів, які використовуються у сучасному промисловому виробництві та розширення меж оброблення; оперативне динамічне (в режимі реального масштабу часу) керування робочими механічними і фізичними параметрами та роботою систем верстатів; неперервний контроль і коректування функціонування, комплексів, систем і окремих верстатів технологічних параметрів у режимі реального масштабу часу, впровадження адаптивних систем керування.

Нова концепція високоефективного виробництва означає також перехід від організації з орієнтацією на техніку до автономної організації з орієнтацією на персонал, від керованої роботи (АСУ) до колективної роботи, від висококваліфікованих працівників вузької спеціалізації до персоналу високої кваліфікації широкого профілю.

Передумовами для надшвидкого прогресу техніки і технології, які сприяли підвищенню технічного рівня верстатів з ЧПК є, насамперед, досягнення в галузі мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки (стрімке зростання ємностей магнітних і оптичних носіїв інформації, можливості перетворення величезних масивів інформації у режимі реального часу; розроблення нових поколінь надпотужних і швидкодійних комп'ютерів та мереж; впровадження у виробництво інформаційних технологій, числового та графічного моделювання процесів і їх оптимізація), а також здобутки в галузі виробничого устаткування і високодинамічних верстатів з ЧПК, їх компонентів та систем. До останнього можемо зарахувати таке:

- використання нових видів і систем приводів потужністю до кількох сотень кВт, керованих безпосередньо від систем ЧПК верстатів;
- створення систем уніфікованого технологічного спорядження з орієнтацією на індивідуальний керований привід окремих інструментів з системами подачі у зону різання МОС під тиском до 450МПа;
- впровадження призматичних та циліндричних напрямних опор кочення, ковзання та гідродинамічні з ефектом „stick-slip”;
- інновації в галузі метрології, розроблення та впровадження високоточних систем і приладів контролю і регулювання швидкостей та прискорень під час механічних переміщень, потоків рідин та газів, стабілізації температури, тиску, вібрацій;
- використання систем ЧПК верстатами на основі багатомікропроцесорної змішаної структури на базі 32- або 64-бітових макропроцесорів в умовах діалогового режиму роботи;
- впровадження прогресивних матеріало- і енергоощадних технологій розроблення і впровадження новітніх методів оброблення металів і неметалевих матеріалів (оброблення струменем води високого тиску, енергією лазера, надзвукове оброблення струменем абразиву і спалюваного гасу тощо).

На верстатах останніх поколінь з ЧПК підвищення продуктивності досягають багатократним скороченням основного часу оброблення завдяки роботі зі швидкостями різання 1000 м/хв (в окремих випадках – до 1500–1800 м/хв.) та робочими подачами порядку 50 мм/хв. (за умови малої глибини і багатопрхідного різання). Істотного скорочення допоміжного часу і підвищення точності механооброблення в сучасному обладнанні досягають пришвидшеними неробочими переміщеннями елементів верстатів на високих швидкостях під час досягнення точності зупинення і позиціонування в межах 0,1 мкм, скороченням кількості переустановок і операцій, обробленням деталей за одну установку (токарні обробні центри, токарно-фрезерні, фрезерно-свердлильно-багатоопераційні верстати з ЧПК тощо).

Шляхи вирішення. Сьогодні в Україні, як і на переважній частині пострадянського простору, більшість існуючих підприємств та новостворених фірм не мають можливостей придбати нове обладнання, ціна якого становить сотні тисяч доларів США. В умовах, коли підприємства використовують вже наявне, часто не нове і таке, що вже тривалий час експлуатується, обладнання, воно потребує істотного доопрацювання для використання у високошвидкісному режимі.

Під час модернізування металорізальних верстатів для переходу на режими високошвидкісного оброблення на першому етапі необхідно здійснити техніко-економічні розрахунки ефективності інвестицій в переоснащення обладнання і спорядження. Щоб цей захід не був формальним і не став лише даниною новітній тенденції, а призвів до реального покращання, необхідно врахувати якомога більше факторів як економічного, так і технічного і технологічного плану: нову продуктивність обладнання, очікувані технологічну собівартість, приведені витрати, прогнозований економічний ефект, підвищення якості оброблення тощо.

Якщо попередній аналіз засвідчить можливість досягнення позитивного результату, то на наступному етапі реалізації цієї мети здійснюють заходи щодо модернізації металорізальних верстатів. Вирішальними факторами слугують технічний стан обладнання, геометрична точність, статична жорсткість і динамічна характеристика (“динамічна жорсткість”). У низці технічних проблем, які треба вирішити технічним службам підприємства, першочерговим завданням є підвищення частоти обертання шпинделя з 1000–1200 хв⁻¹ до набагато вищих значень. Як свідчить досвід таких робіт, реально при цьому вдається досягти максимальної частоти обертання шпинделя не вище 4000–5000 хв⁻¹. Хоча це ще не відповідає умовам HSC/HSM, проте і тут вже виникають проблеми у забезпеченні відповідних динамічних параметрів верстатів, їх шпиндельних вузлів, шліфувальних бабок, зубофрезерних супортів, приводів і передач, підвищення жорсткості вузлів, жорсткості та міцності різальних інструментів, точності оброблення у разі переходу на вищі робочі режими. Окрема проблема – вибір мастильно-охолоджувальних середовищ для ефективної роботи на втричі, вп’ятеро разів вищих швидкостях різання, за яких рідина перетворюється в аерозоль і

втрачає первинні властивості. Такі проблеми актуальні насамперед для токарних, шліфувальних, зубообробних верстатів.

Метод оцінки динамічної якості верстатів. Для попередньої оцінки динамічної якості верстатів і оцінки можливості їх подальшого переоснащення можна використати розроблений метод прискореного дослідження динамічних характеристик пружної системи верстата за її імпульсним збудженням [1]. Цей метод, розроблений початково для зубофрезерних верстатів, робочі процеси в яких перебігають в умовах високих ударних навантажень, періодичного нерівномірного різання і збурення від зовнішніх і внутрішніх чинників, можна застосовувати також для інших типів верстатів, зокрема токарних і шліфувальних, в яких на високих швидкостях також виникають інтенсивні коливання і вібрації.

Суть цього методу полягає в тому, що пружні контури різального інструменту і заготовки збуджують одночасно прямокутним імпульсом з наступним спектральним аналізом вихідних сигналів. Збудження створюється під час розмикання системи у точці спряження підсистем інструменту і заготовки, а реакція цих підсистем на дію вхідного імпульсу фіксується у двох точках робочого простору верстата, що знаходяться у безпосередній близькості до ділянки, де створюється вхідна дія. Для автоматизованого оброблення експериментальних даних розроблено комплект програм на основі математичного апарата теорії випадкових функцій, який дає змогу виявити резонансні частоти, знайти характеристики нормальних форм коливань верстата в широкому частотному діапазоні та встановити його динамічну характеристику.

За умовою, покладеною в основу аналізу динамічних характеристик верстата [2], його пружну систему приймають лінійною. З цього випливає, що граничні переміщення у них дорівнюють сумі максимальних переміщень на кожній із власних частот, а передавальна функція системи визначається сумою передавальних функцій коливних ланок.

Імпульсне збудження пружної системи верстата однократним короткотривалим ударом створює прямокутний імпульс. Такий імпульс є широкополосним, має рівномірний спектр у широкому діапазоні частот. При достатній інтенсивності імпульсу відбувається його спектральний розклад та збудження пружної просторової системи на власних частотах. Реакцію багатомасової просторової системи верстата, яка є результатом інтегрального ефекту у вигляді загасаючих коливань, записуємо окремо на осях інструменту 1 і деталі 2 (рис. 2). Спектри вихідних сигналів включають усі власні частоти пружної системи і характеризують її динамічні властивості. Завдяки малій тривалості імпульсу порівняно з часом вільних коливань можлива оцінка динамічних характеристик системи лише на основі вимірювання і аналізу реакції системи на виході [3]. Оскільки на цьому етапі досліджень ставиться завдання дослідити можливість переходу на вищі робочі режими, тобто дати відповідь у вигляді “так-ні”, то не важливо, скількима і якими саме масами зумовлений резонанс, а значить, немає потреби в ототожненні окремих гармонічних складових із елементами системи, рухомими з'єднаннями, а також у встановленні форм цих коливань.

У розробленому методі визначення динамічної якості верстата та записування коливань здійснювали за допомогою вібровимірної системи (рис. 1), у складі якої прилад VIBROTEST 30 SCHENCK, 16-тирозрядний аналого-цифровий перетворювач сигналів ES-1868, вібраційні давачі VS-080 та комп'ютер. Коливання y_1 , y_2 фіксували одночасно по двох каналах. Збудження в системі необхідно створювати ударом у напрямку головної складової сили різання P_z .

Для описування нестационарних процесів, якими є реалізації вихідних коливань, використана модель локально-стаціонарного випадкового процесу з вибором ділянок, на яких сигнал зберігає ознаки стаціонарності [4]; бажано кількакратне дублювання експерименту та усереднення по всіх реалізаціях. Сигнали на ділянках локальної стаціонарності обробляють автоматизовано за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, [5], яке дає змогу розкласти сигнали у ряд Фур'є, розраховувати постійні складові, комплексні амплітуди і фази окремих гармонік, здійснювати статистичний аналіз результатів на основі положень теорії випадкових функцій. Частота дискретизації вихідного сигналу – 11025 Гц, інтервал квантування амплітуди – 10^{-4} мкм.

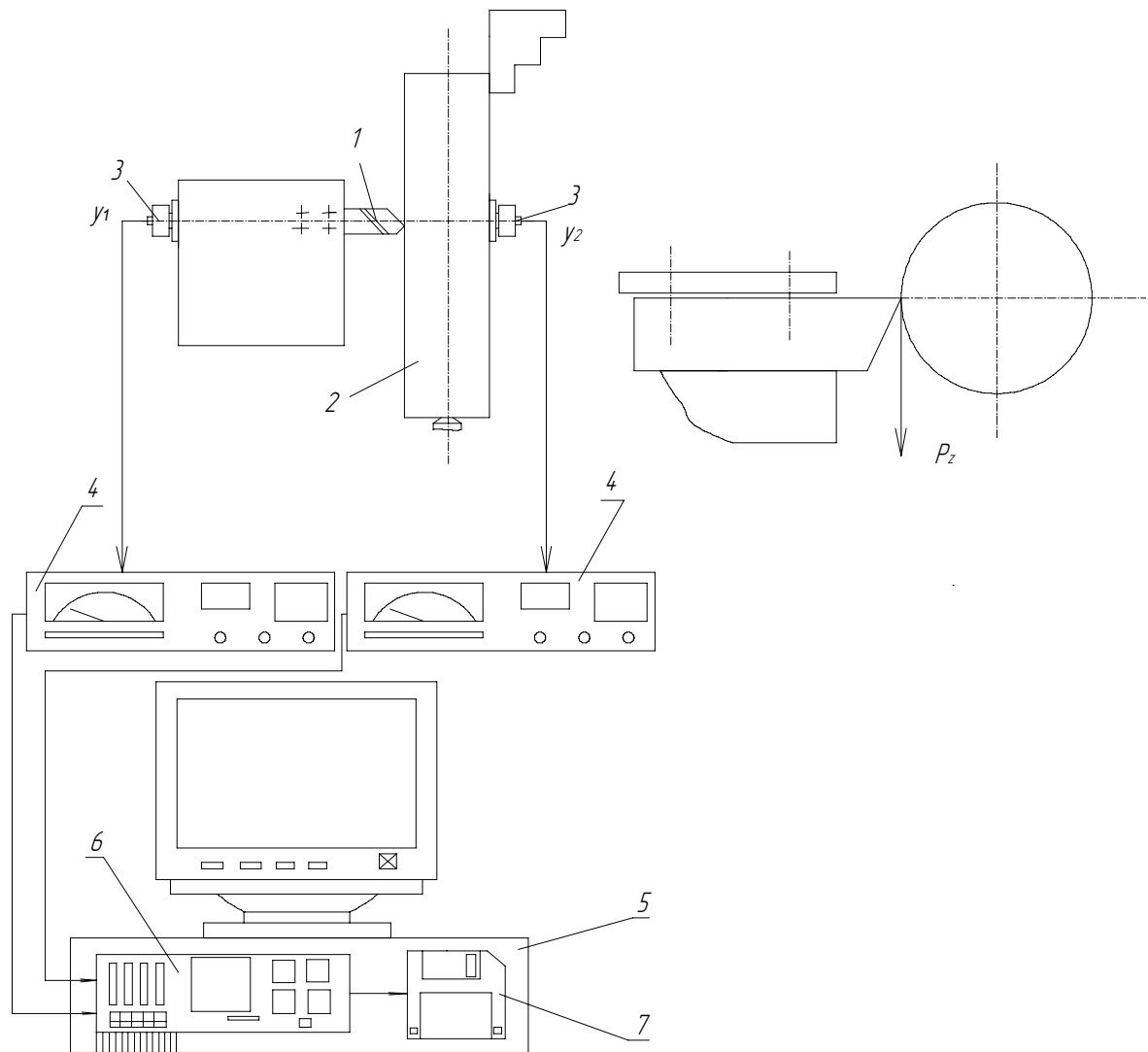


Рис. 1. Схема вимірювання коливань у робочій зоні токарного верстата:
 1 – різець; 2 – заготовки; 3 –здавачі (первинні перетворювачі сигналів);
 4 – прилад VIBROTEST 30; 5 – PC; 6 – аналого-цифровий перетворювач сигналів;
 7 – твердий диск комп'ютера

У спектрах вихідних сигналів можна виділити обмежену кількість коливань з найбільшими амплітудами, які істотно відрізняються від інших складових спектра. Частоти, на яких спектральна густина має пікові значення, можна вважати власними, або близькими до власних частот пружної системи. Ці частоти відповідають нормальним формам коливань елементів верстата і є визначальними для його динамічної характеристики.

Для прикладу на рис. 2 показано вихідні коливання на осях заготовки і фрези зубофрезерного верстата мод. 5К32 від однократного імпульсного збудження, а на рис. 3 – усереднені амплітудно-частотні і фазочастотні характеристики. Розподіл по частотах енергії коливних процесів на осях інструмента і заготовки характеризує спектральна густина відносних коливань на виході пружної системи (рис. 4). Цей графік показує, що найінтенсивніші коливання в цьому верстаті виникають на власних частотах у діапазоні від 10 до 150 Гц. Отже, при роботі верстата на частотах, значення яких близькі до вказаних, можлива втрата сталості. Зокрема, інтенсивних коливань можна очікувати на частотах, близьких до 878 Гц, оскільки елементи з такою власною частотою є в обох гілках верстата.

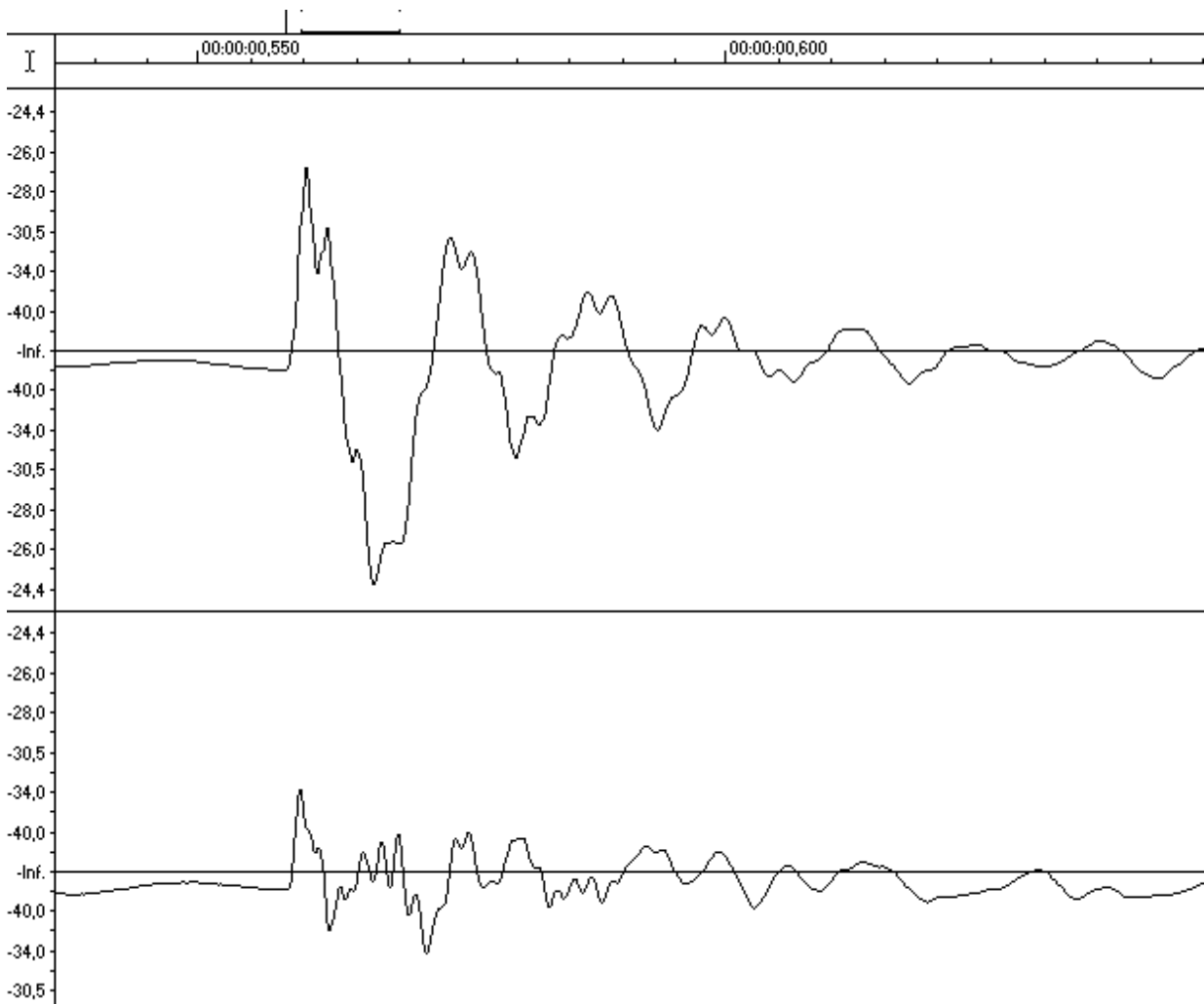


Рис. 2. Загасаючі вихідні сигнали в ланцюгах інструмента і заготовки зубофрезерного верстата

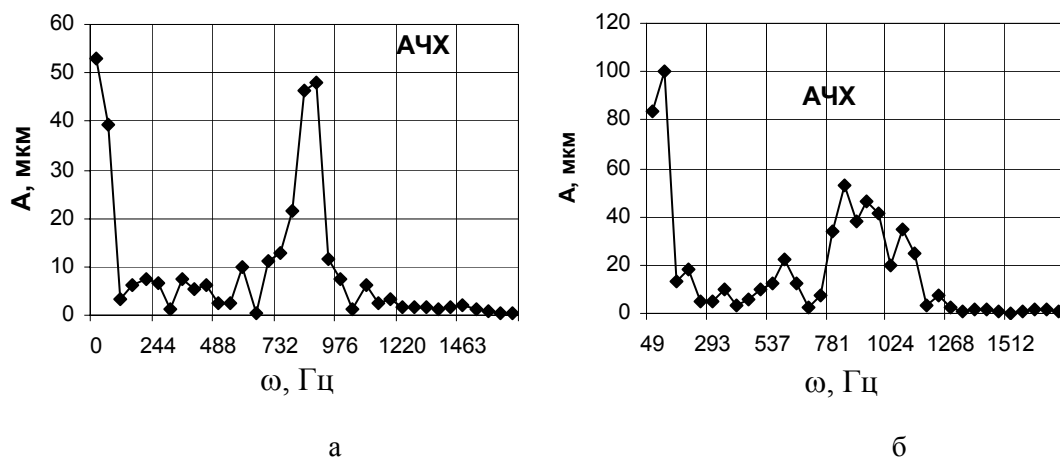


Рис. 3. Амплітудно-частотні характеристики спектра вихідних сигналів на осях заготовки (а) та інструмента (б) зубофрезерного верстата

За отриманими експериментальними даними, у цьому випадку, складну багатомасову пружну систему зубофрезерного верстата можна подати домінуючою коливною системою з 11 ступенів вільності. На наступному етапі робіт необхідно з'ясувати, які саме елементи верстата є джерелом підвищених коливань та розробити заходи для зменшення їх віброактивності під час роботи на інтенсивних режимах, щоб усунути можливі резонанси.

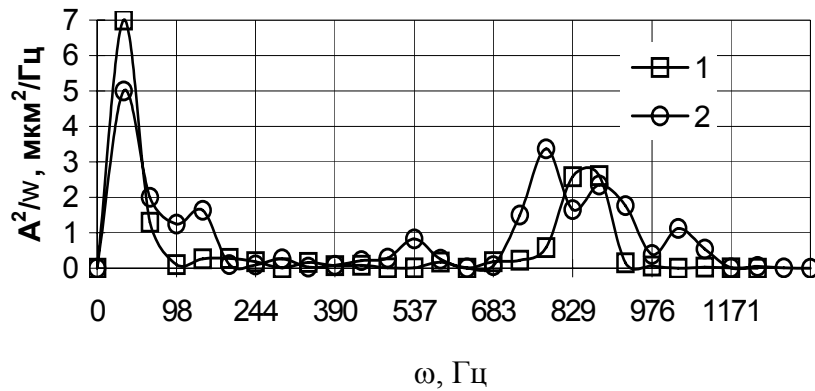


Рис. 4. Спектральна густина коливань у контурах інструмента (1) і заготовки (2)

Висновки. Наведений метод простий у виконанні, не вимагає складної і дорогої апаратури, забезпечений відповідними програмами. Мінімальні обсяги дослідного матеріалу у поєднанні з високою інформативністю, технічна простота і використання звичайної вібровимірної апаратури, автоматизоване фіксування та оброблення експериментальних даних за допомогою комп'ютера допомагають звести до мінімуму затрати часу, зменшити працемісткість досліджень та використовувати цей метод у виробничих умовах. Результати досліджень на підставі цього методу дають можливість виявити можливості й напрямки модернізації верстатів для їх переведення на функціонування в режимі швидкісного оброблення різанням.

1. Грицай І.Є. Метод оцінки динамічної характеристики металорізального верстата обладнання // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 2002. – № 467. – С. 114–118. 2. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с. 3. Каминская В.В. Исследование динамики тяжелых карусельных станков // Станки и инструмент. – 1984. – № 12. – С. 8–12. 4. Методы автоматизированного исследования вибраций машин: Справочник / А.С. Добрынин, М.С. Фельдман, Г.И. Фирсов. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с. 5. Pogribny W., Rozhankivsky I., Hren Y. Adaptive Local-Stationarity Research Algorithm Based on the Moving Windows // Proceedings of International Conference on Modern Problems of Telecommunications, Computer Science and Engineers Training, Lviv-Slavskop. – 2000. – P. 104–105. 6. Погрібний В.О., Рожанківський І.В., Грень Я.В. Використання різницевого підходу для діагностики дефектів енергетичного обладнання // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1999. – № 371. – С. 127–132.