

УДК 621.906

О.Ф. Гордєєв, канд. техн. наук, проф., **Т.І. Четвержук**, аспірант
Луцький національний технічний університет, Україна
Тел. +38 (099)9075962; E-mail: zhykero@rambler.ru

БЕЗРОЗБІРНА ДІАГНОСТИКА СТИКІВ МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ НА ОСНОВІ САМОПОДІБНОСТІ ДЕФОРМАЦІЙ

У Луцькому національному технічному університеті проводяться дослідження з безрозбірної діагностики стану стиків металорізальних верстатів. Суттєвої особливістю перевірки стану стиків верстатів є неможливість візуального контролю параметрів стиків і великі труднощі апаратного доступу до них при роботі верстату. Значні матеріальні витрати і витрати часу на роботи, які пов'язані з розбиранням і збиранням вузлів верстатів є характерною проблемою для більшості випадків при діагностиці верстатів. Безрозбірна діагностика дозволяє суттєво зменшити рівні ризику і втрат, тому вирішення означеної задачі є актуальним.

Ключові слова: діагностика, деформації, стик, верстат, прогноз, коінтеграція.

1. Вступ.

Важливу роль має своєчасне діагностування при експлуатації стану пружної системи і окремих елементів верстата, зокрема стиків. Технологічна система «верстат – пристосування – інструмент – заготовка» містить безліч деталей і стиків, зокрема паралельно сполучених. В цьому випадку для підвищення для усунення можливих дефектів є розробка ефективної методики технічного діагностування «слабкої» ланки.

Найбільш значущі роботи по вивченню деформаційних властивостей стиків верстатів проводилися в інституті машинознавства під керівництвом проф. І.У. Крагельського, проф. П.Е. Дьяченко и др., роботи ЭНИМС по дослідженню жорсткості МРВ під керівництвом проф. Д.Н. Решетова, дослідження проф. А.П. Соколовського, проф. Хом'якова В.С. і інших авторів.

Докладні експериментальні дані з впливу режимів і методів обробки на деформаційні властивості стиків отримані Е.В. Рижовим [1]. Аналіз процесів, які відбуваються при стикових деформаціях, дозволив отримати ряд аналітичних формул за їх розрахунком. Ряд формул аналогічного призначення були отримані Н.Б. Демкиним [2], Е.В. Рижовим [3] і поряд інших авторів. Проте, слід зазначити швидше оцінний характер цих залежностей, оскільки практично неможливо врахувати всі чинники, що впливають на деформаційні властивості стиків.

В силу різної компоновки и конструкції верстатів, якості їх виготовлення і складання, умов роботи, їм властива анізотропія характеристик навантажень в технологічному робочому просторі (ТРП). При цьому характеристики, пов'язані з продуктивністю і точністю, змінюються у міру фізичного зношення верстата або розрегулювання його елементів.

Проведений проф. Сабіровим Ф.С. в роботі [4] аналіз привів до розробки методології, що дозволяє швидше і точніше оцінювати характеристики в ТРП, що полягає в розумному поєднанні експериментального і розрахункового підходу до оцінки характеристик і діагностування стану пружної системи верстата.

Проведені авторами дослідження [5], а також дана робота, можуть вважатися

розвитком методології [4].

2. Основний зміст і результати дослідження.

Основна ідея, яка покладена в роботу, полягає у тому щоб діагностувати прихований процес на основі паралельно протікаючого процесу, який можна експериментально спостерігати при порівняно менших витратах на проведення досліджень. При цьому було висунуто припущення про функціональний зв'язок між деформаційним процесом u , який вимірюється, і прихованим процесом Φ , який треба діагностувати.

У практиці дослідження випадкових процесів широко використовується поняття коінтеграції рядів динаміки (РД), сутність якої полягає у тому, що два РД $f(t)$ і $F(t)$ коінтегровані (зв'язані), якщо обидва ряди мають однаковий порядок p інтеграції $I(p)$ [6], де $-p$ порядок взяття перших різниць від базового ряду, після якого ряд має порядок $I(0)$. При цьому якщо обидва РД $f(t)$ і $F(t)$ мають однаковий порядок інтеграції, то $F(t)$ можна виразити лінійною комбінацією ряду $f(t)$ або лінійною регресією

$$F(t) = a + b \cdot f(t) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

де $\varepsilon(t)$ - стаціонарний процес або похибка; t - параметр часу.

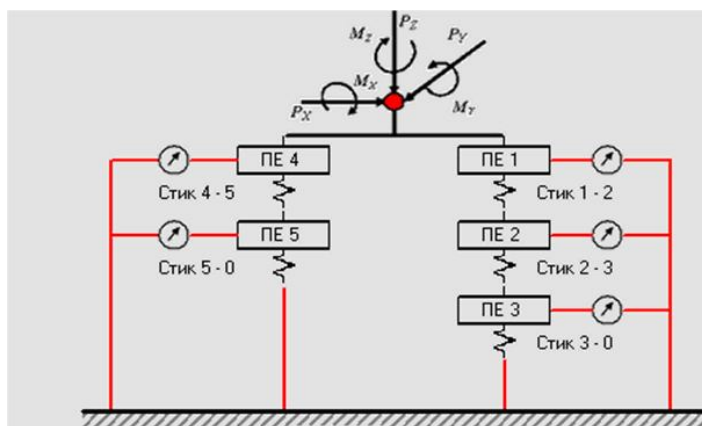
Параметр t може бути будь-яким параметром навантаження p , наприклад, p - дискретний ряд навантажень, який імітує силу різання. В нашому випадку сигнал $f(p)$ може бути дискретним рядом деформацій пружної системи (ПС) верстату в зоні різання, а $F(p)$ - дискретним рядом відповідних деформацій стику.

Коінтеграція двох РД значно спрощує процедури і методи їх аналізу, оскільки у цьому випадку можна будувати рівняння регресії і визначати показники кореляції, використовуючи в якості початкових даних безпосередньо рівні досліджуваних рядів, враховуючи тим самим в повному об'ємі інформацію, яка міститься у початкових

даних.

Існує ще один важливий аспект цієї задачі, який більш характерний в основному для технічних систем. У технічних системах динамічну зв'язність двох РД практично не треба доводити, вона витікає з сутності процесів. Наприклад, деформація стику явно залежить від інтенсивності його навантаження, похибки обробки заготовки визначаються змінним припуском на її поверхні і т.д. У цьому випадку з'являється можливість прогнозування

послідовності ряду $F(p)$ по вимірюваному $u(p)$, якщо коінтегрованість цих двох



БАЗА

ПЕ 0: Горизонтальні напрямні станини (база)

ПЕ 1: Револьверна головка (по фіксатору посадкових шийок)

ПЕ 2: Фіксатор – корпус супорта (по отворі в корпусі)

ПЕ 3: Револьверний супорт (по напрямним каретки)

ПЕ 4: Шпиндель (по опорах в шпиндельній бабці)

ПЕ 5: Бабка шпинделя (по горизонтальній станині)

Рис. 1. Структурна схема елементів ПС токарно-револьверного автомата

РД доведена.

На рис 1 надано структурну схему елементів ПС токарно-револьверного автомата мод. 1Б118. Обґрунтуємо припущення про однозначність зв'язку деформацій

При дослідженнях використовувалися умови й результати експериментів, які наведені в роботі [5]. Зіставлялися два процеси (рис. 2): $f(p)$ - деформації ПС верстату в зоні різання (індикатор 1-2 в напрямку P_Y) і $F(p)$ - деформації стику «направляючі каретки – горизонтальні направляючі станини» (індикатор 3-0 в напрямку L_Y). Параметри стику довільно змінювалися шляхом зміни зусилля затяжки притискної планки направляючих каретки. Виміри виконувалися від бази - горизонтальних направляючих станини.

У табл. 1 наведені дані трьох вимірів із серії навчання і контрольний вимір для перевірки прийнятого припущення.

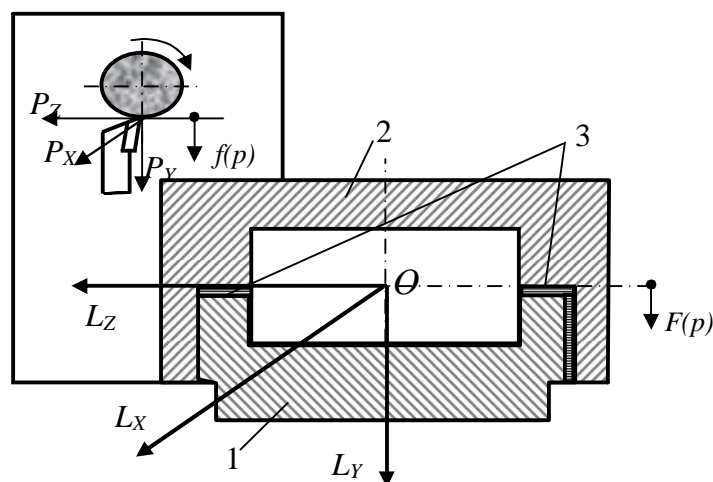


Рис. 2. Схема стику «направляючі каретки – горизонтальні направляючі станини»: 1 – станина верстату; 2 – каретка револьверного супорту; 3 – стик

Таблиця 1. Результати вимірювання деформацій від параметру навантаження, мкм

P, H	$u1(p)$	$u2(p)$	$u3(p)$	$u4(p)$	$f1(p)$	$f2(p)$	$f3(p)$	$f4(p)$
70	2,9	2,9	2,6	4,0	0,1	0,1	0,1	0,2
170	7,5	8,5	6,3	9,6	2,8	2,8	2,5	3,5
270	15,3	16,6	13,7	19,6	5,6	6,3	5,3	7,2
370	20,5	22,4	18,3	26,2	8,1	8,9	7,2	10,5
470	25,3	27,7	22,8	32,8	10,3	11,3	9,3	13,7
570	30,0	32,9	27,2	38,9	12,2	13,6	11,0	15,8
670	34,9	38,3	31,8	45,5	13,8	15,2	12,4	17,8
770	40,0	43,9	36,4	51,7	14,9	16,4	13,3	19,2
870	43,6	48,1	39,6	56,7	15,6	17,0	14,3	20,3

3. Цифрові моделі

Для автоматизації означеної методики була розроблена програма ConRow в середовищі Borland Delphi-7, інтерфейс якої на розкритій вкладці «Часові ряди»

представлений на рис. 3. Форма має ще 2 вкладки: «Прогноз» і «Протокол». Нижня панель форми (поз. 16) має кнопки відкриття інформаційних файлів: «Правила формування задачі», «Основні поняття» і «Метод оцінювання $\Phi(t)$ », які дозволяють користувачеві адаптуватися до роботи з програмою.

Режим введення даних (поз. 1) передбачає дві можливості: генерацію траєкторій рядів даних (див. поз. 4 і 5) і читанням даних з файлу (див. поз. 6). В режимі «Генерації траєкторій» довжина рядів даних задається користувачем у вікні поз. 2.

У таблицях і на графіках прийняті такі позначення: $f(t)$ і $u(t)$ - вхідні сигнали відповідно навчаючи і для прогнозу; $F(t)$ і $\Phi(t)$ - вихідні сигнали (відгуки) відповідно при навчанні і прогнозований; $h(t)$ – дискретна вагова функція.

У програмі закладена можливість стабілізації значень $u(t)$ і $f(t)$ на рівні u_{\max} , f_{\max} (вікно «Мах $f(t)$:», поз. 4).

Статистика за результатами аналізу рядів відображається у таблиці (поз. 7). Тут задається рівень значущості статистик в % (за умовчанням - 5%), а також можна перейти до односторонніх критеріїв. Виводяться наступні статистики:

- 1) коефіцієнт кореляції в парах рядів R_{uf} ;
- 2) коефіцієнт детермінації в парах рядів R^2 ;
- 3) автокореляція для залишків, модель AR(1) [6];
- 4) автокореляція для залишків, модель AR(2);
- 5) підтвердження (або ні) гіпотези про коінтеграцію пари рядів за статистикою Енгла – Гренджера [6];
- 6) підтвердження (або ні) гіпотези про коінтеграцію пари рядів за статистикою Дарбіна – Уотсона [6].

Введені, або генеровані дані відображаються в двох відповідних таблицях (поз. 9): «Траєкторії впливів ...» $f(t)$ і «Траєкторії відгуків ...» $F(t)$. Останні строки цих таблиць містять дані для прогнозованого рядку, який оцінюється. В третій таблиці (поз. 11) відображаються результати передбачення (прогнозу). Таблиця має 4 рядки, в яких надаються для кожної точки залежного ряду $F(t)$ наступні дані:

- 1) $F(t)$ – введені дані, якщо вони звісні;
- 2) $\Phi(t)$ – прогнозовані дані за методом багатовимірної лінійної екстраполяції (БВЛЕ);
- 3) величина похибки по точках $\Delta(t)$ - ваги = $100 \cdot [\Phi(t) - F(t)] / \Phi(t)$, %;
- 4) $h(t)$ - ваги по точках, які зв'язують вплив $u(t)$ з прогнозом $\Phi(t)$ за формулою
$$\Phi(t) = u(t) \cdot h(t).$$

Прогнозований за методом БВЛЕ ряди $\Phi(t)$, $\Delta(t)$ і $h(t)$ - ваги виводяться в таблицю клацанням по кнопці «Оцінка $\Phi(t)$ » (поз. 13).

Графічне відображення даних (поз. 12) призначене для візуалізації аналізу. Тут відображаються по точках графіки: $f(t)$, $u(t)$; $F(t)$; $\Phi(t)$; $h(t)$. Додатково показані криві згладжування $\Phi[u(t)]$ і $h[u(t)]$, які обчислюються як поліноміальні регресії Φ і h від регресору $u(t)$. Найліпше наближення $\Phi[u(t)]$ і $h[u(t)]$ контролюється візуально по відповідних графіках, а також мінімізацією їх середньоквадратичних похибок Sf і Sh.

Графічне відображення даних (поз. 12) призначене для візуалізації аналізу. Тут відображаються по точках графіки: $f(t)$, $u(t)$; $F(t)$; $\Phi(t)$; $h(t)$. Додатково показані криві згладжування $\Phi[u(t)]$ і $h[u(t)]$, які обчислюються як поліноміальні регресії Φ і h від регресору $u(t)$. Найліпше наближення $\Phi[u(t)]$ і $h[u(t)]$ контролюється візуально по відповідних графіках, а також мінімізацією їх середньоквадратичних похибок Sf і Sh.

Для врахування (і визначення) впливу попередніх станів ряду $u(t)$ на значення веденого ряду $\Phi(t)$ необхідно знати модель такого впливу. Ця модель будується за аналогією з моделями авторегресії для одного ряду AR(p) [6], де p - порядок (лаг) моделі. Моделі CR(p) для $\Phi[u(t)]$ і $h[u(t)]$ будуються за формулами:

$$\begin{aligned} \text{CR}(p)_{\Phi[u(t)]} : \Phi_t &= a_0 + a_1 u_{t-1} + a_2 u_{t-2} + \dots + a_p u_{t-p} + \varepsilon_{\Phi t}; \\ \text{CR}(p)_{h[u(t)]} : h_t &= b_0 + b_1 u_{t-1} + b_2 u_{t-2} + \dots + b_p u_{t-p} + \varepsilon_{ht}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\varepsilon_{\Phi t}$ і ε_{ht} - процеси, які пов'язані з залишками.

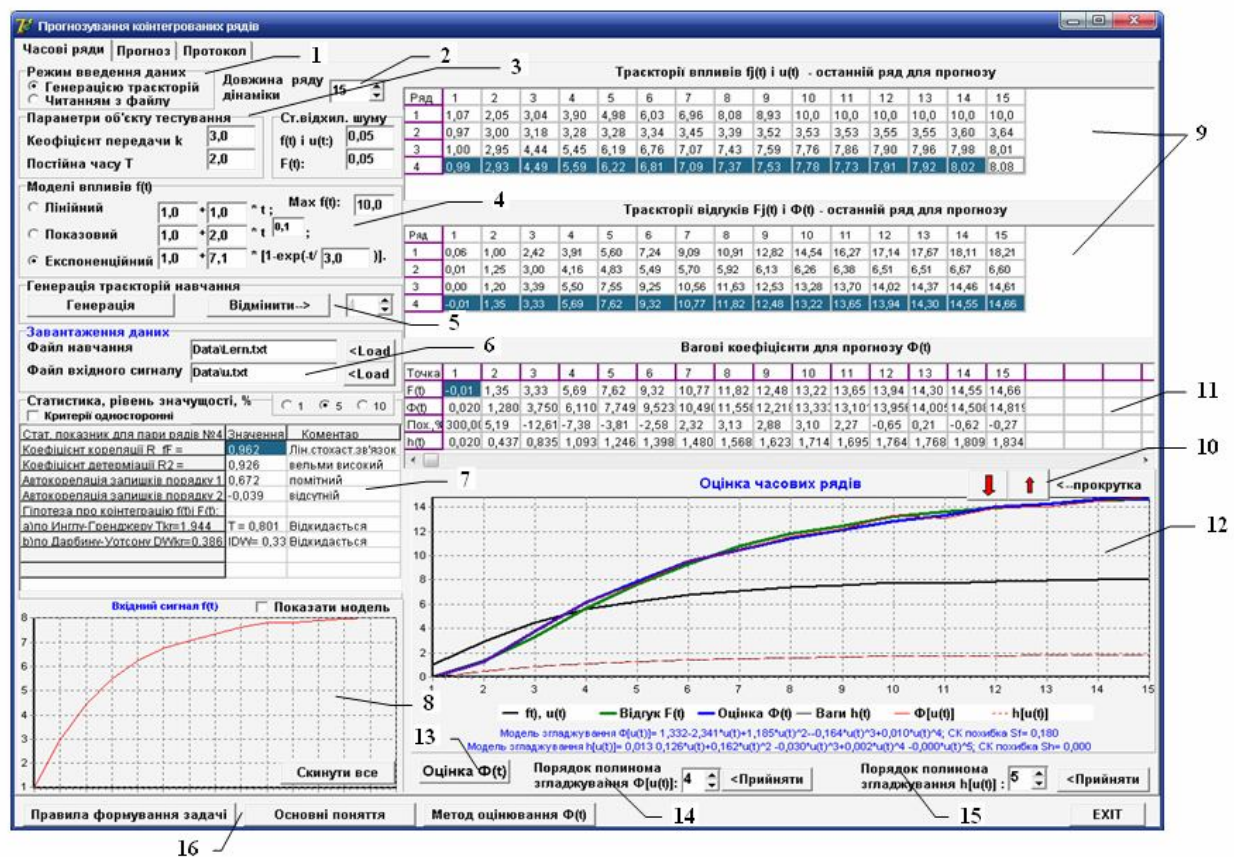


Рис. 3. Інтерфейс (головна форма) програми **ConRow**

Ці моделі візуально і у вигляді формул регресуї відображаються на графіках (поз. 4). При цьому визначається середнє залишків і перевіряється за статистикою знаків їх випадковість. За отриманими моделями визначаються також й прогнозні значення $\Phi[u(t)]$ і $h[u(t)]$.

Встановлення порядку моделей CR(p) коінтеграційної регресії здійснюється окремими елементами управління (поз. 5 і 6).

У таблиці над графіками показано точне («Точн») розрахункове значення відгуку $F(t)$, його прогнозоване значення (« $\Phi(t)$ »), а також відсоток помилки для кожної точки ряду за формулою:

$$\delta = \frac{F(t) - \Phi(t)}{F(t)} \cdot 100\%. \quad (3)$$

На рис. 4 наведені результати розрахунку прогнозних значень $\Phi(t)$. З аналізу бачимо, що при досить різноманітних вхідних сигналах, як у навчаючій вибірці, так і у прогнозованому процесі помилки прогнозування за винятком початкової точки 1 знаходяться у межах 3 %.

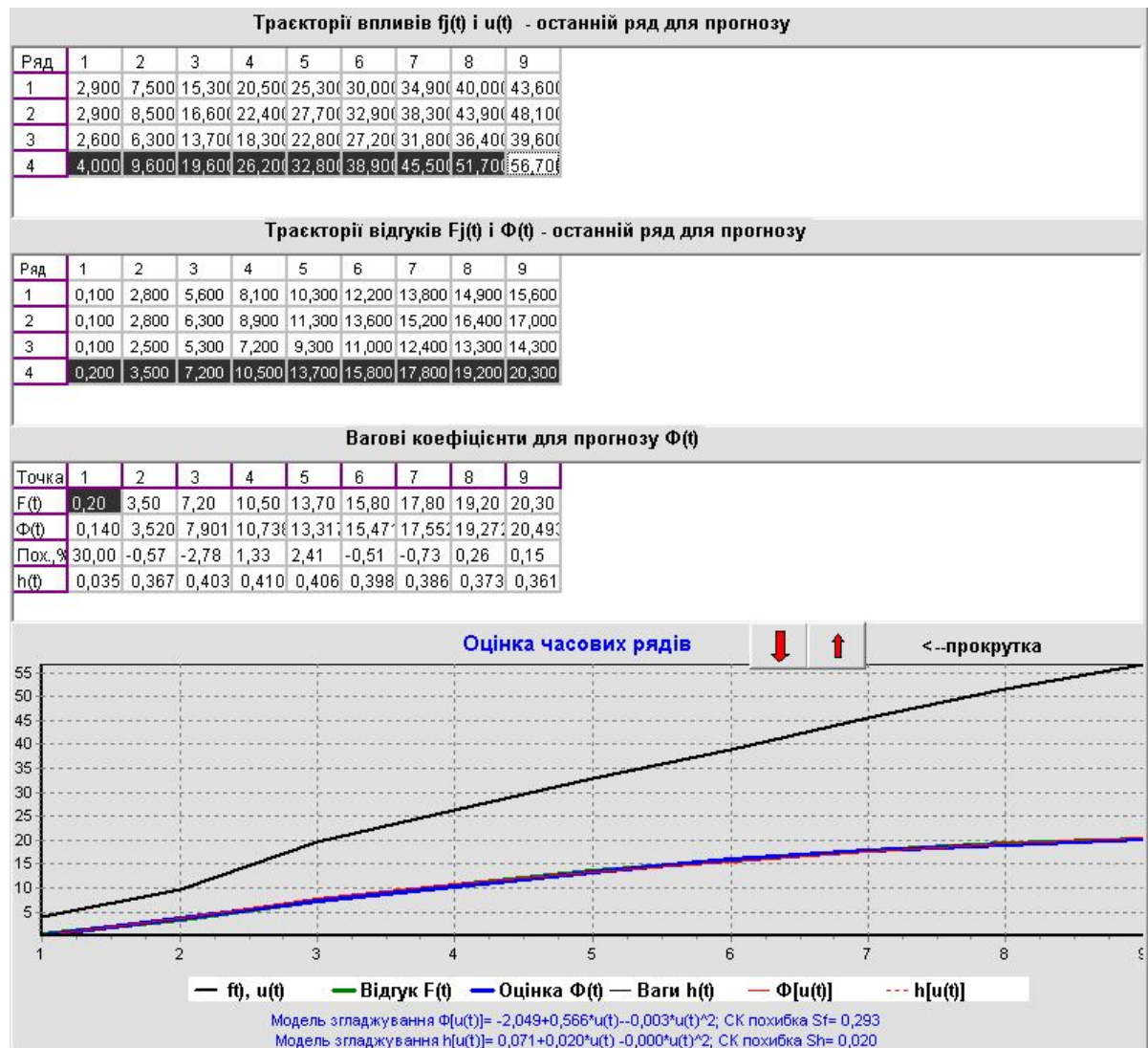


Рис. 4. Результати розрахунку прогнозних значень $\Phi(t)$

Можна констатувати, таким чином, що розроблена методика прогнозування динамічних рядів забезпечує достовірний прогноз і може використовуватися при експериментальних дослідженнях зв'язаних рядів деформацій стиків верстатів.

4. Висновки.

Таким чином, виконані дослідження дозволили реалізувати наступне:

1. Обґрунтовано припущення про функціональний зв'язок між деформаційним процесом u , який вимірюється, і прихованим процесом Φ , який треба діагностувати.

2. Дослідження показали, що методика, яка пропонується, і програма, складена на її основі, дозволяють достатньо достовірно і оперативно прогнозувати РД, які характерні для деформаційних характеристик стиків верстатів.

3. Тестування показало високу надійність і достовірність розроблених методики і програми.

4. Методика і програма можуть використовуватися при експериментальних дослідженнях і прогнозуванні точності якості металорізальних верстатів.

Список літератури:

1. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин / Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1966. – 163 с.
2. Демкин Н.Б. Контактирование шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. – М.: Изд-во «Наука», 1962. – 112 с. ISBN 5-12-004493-X.
3. Рыжов Э.В. Основы расчета стыковых поверхностей деталей машин на контактную жесткость / Э.В. Рыжов. – М.: МашГИЗ, 1962. – 143 с. ISBN 5-12-001622-7.
4. Сабиров Ф.С. Повышение эффективности станков на основе их диагностирования и определения виброустойчивости в рабочем пространстве: дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.05, М., 2009. – 215 с. ISBN 5-7995-0438-09.
5. Гордеев А.Ф. Идентификация и моделирование деформационных свойств стыков металлорежущих станков / А.Ф. Гордеев, П.А. Захаров, Т.И. Четвержук // Журнал «Сборка в машиностроении, приборостроении». – 2012/11. – С. 10-16. ISSN: 0202-3350.
6. Эконометрия / Суслов В. И., Ибрагимов Н. М., Талышева Л. П., Цыплаков А. А. – Новосибирск: СО РАН, 2005. – 744 с. ISBN 5-94356-457-8.

Надійшла до редакції 21.01.2014

А.Ф. Гордеев, Т.И. Четвержук

БЕЗРАЗБОРНАЯ ДИАГНОСТИКА СТЫКОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ САМОПОДОБИЯ ДЕФОРМАЦИЙ

В Луцком национальном техническом университете проводятся исследования по безразборной диагностике состояния стыков металлорежущих станков. Существенной особенностью проверки состояния стыков станков является невозможность визуального контроля параметров стыков и большие трудности аппаратного доступа к ним при работе станка. Значительные материальные затраты и затраты времени на работы, связанные с разборкой и сборкой узлов станков являются характерной проблемой для большинства случаев при диагностике станков. Безразборная диагностика позволяет существенно уменьшить уровни риска и потерь, поэтому решение обозначенной задачи является актуальным.

Ключевые слова: диагностика, деформации, стык, станок, прогноз, коинтеграция.

A.F. Gordeev, T.I. Chetverzhuk

CIP DIAGNOSTICS OF MACHINE TOOLS JOINTS BASED ON STRAIN SELF-SIMILARITY

Lutsk National Technical University conducts the studies of the diagnostics of the state of machine tools joints. An essential feature of joints diagnostics is the inability to control the visual parameters of joints and it is very difficult to get hardware access to them when using the machine. Considerable costs and time spent on the work connected with disassembly and assembly of machine units is a characteristic problem for the majority of cases of machines diagnostics. Diagnostics without folding can significantly reduce the level of risk and loss that is why to solve the above-mentioned task is urgent.

Keywords: diagnostics, strain, joint, machine tool, prediction, cointegration.