

УДК 621.924

В.О. Залога, д-р. техн. наук, В.В. Нагорний, Суми, Україна

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛООБРОБНОГО ВЕРСТАТУ

Важливою складовою підвищення ефективності металооброблення є впровадження сучасних методів діагностування технічного стану верстатного обладнання, що дозволяє обслуговувати обладнання за його фактичним станом. У статі розглянуто спосіб діагностування технічного стану верстата, що дозволяє розширити перелік його контрольованих дефектів, підвищити точність визначення дефекту з одночасним прогнозуванням моменту досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню. Це дає можливість своєчасно зупинити верстат на ремонт і уникнути його непередбаченої аварії і браку оброблюваної деталі.

Важной составляющей повышения эффективности металлообработки является внедрение современных методов диагностирования технического состояния станочного оборудования, обеспечивающее обслуживание оборудование в зависимости от его фактического состояния. В статье рассмотрен способ диагностирования технического состояния станка, который позволяет расширить перечень его контролируемых дефектов и повысит точность определения дефектов с одновременным прогнозированием момента достижения дефектами своего предельно допустимого состояния. Это даёт возможность своевременно остановить станок на ремонт и избежать его непредвиденной аварии и брака обрабатываемой детали.

An important part of improving the efficiency of metalworking is the introduction of modern methods of diagnostics of technical condition of machining equipment, providing maintenance equipment depending on its actual condition. The article describes the method of diagnosis of the technical state of the machine, which allows it to expand the list of controlled defects and improve the accuracy of prediction of defects while it reaches its maximum allowable defect state. This enables timely stop the machine for repair and to avoid unexpected accidents and defect of the workpiece.

Вступ. В даний час підприємства проводять обслуговування верстатів або за системою планового-попереджувального ремонту (ППР) або експлуатують обладнання до його відмови або в деяких випадках навіть і поломки [1]. При проведенні капітальних ремонтів відбувається повне розбирання верстатів, з подальшою дефектацією деталей і комплектуючих на основі їх огляду. Даний підхід вимагає значних витрат трудових ресурсів, що, однак, не гарантує безаварійність роботи верстата в міжремонтний період. Тому важливою складовою підвищення ефективності металооброблення є впровадження сучасних методів діагностування технічного стану верстатного обладнання, що дозволяє обслуговувати обладнання за його фактичним станом.

Методи, які засновані на тому, що технічний стан верстата оцінюється без його розбирання, називаються методами безрозбірної дефектації [2].

При цьому визначаються окремі вузли і деталі, які мають дефекти, і тому ремонт проводиться цілеспрямовано з метою усунення конкретних дефектів.

Це забезпечує стабільність роботи виробництва, дозволяє прогнозувати час безаварійної роботи обладнання, заздалегідь замовити необхідні комплектуючі для проведення ремонту, а вартість обслуговування обладнання може знижуватися до 40-50% [3].

Впровадження безрозбірної дефектації дозволяє:

1) в період експлуатації і технічного обслуговування обладнання:

- проводити експрес-аналіз технічного стану верстата;
- визначати і при необхідності підвищувати технологічну точність верстата;
- визначати дефекти, у тому числі приховані, і усувати їх на етапі виникнення;
- прогнозувати зношування вузлів і деталей верстата;
- планувати терміни проведення ремонту, замовлення комплектуючих і запчастин для ремонту;

2) при проведенні ремонтних робіт:

- планувати обсяг ремонтних робіт;
- підвищити якість ремонту;
- знизити вартість ремонту в 1,5-2 рази;
- скоротити терміни виконання ремонтних робіт в 1,5 рази.

Безрозбірна дефектація виконується за допомогою різноманітних методів вібродіагностики технічного стану верстата, один з котрих якраз і розглядається в даній статті.

Постановка проблеми. Найбільш інформативним інструментом для ідентифікації дефектів верстата є отримання його вібраційних характеристик [2]. Так відомо, що амплітуди вібрацій відповідних елементів верстатів безпосередньо позначаються на якості обробленої деталі, що і визначає точнісні показники [4]. При роботі верстатів виникає широкий спектр коливань, природа яких має як стаціонарний, так і нестаціонарний характер. Можуть мати місце як вимушені коливання, так і автоколивання. У свою чергу автоколивання розрізняються: а) при продуктивній роботі (різанні); б) при роботі на холостих ходах. Оскільки динамічні складові сил різання в більшості випадків мають нелінійний характер, то для ідентифікації дефектів власне верстата найбільш доцільним є режим його функціонування на холостому ході [3]. У цьому режимі вібраційні характеристики верстата в цілому визначаються роботою саме тих деталей і вузлів, що вимагають діагностування.

Вібродіагностика дозволяє визначати дефекти тих чи інших

конструктивних елементів верстата, наприклад: підшипників (зношування зовнішнього або внутрішнього кільця, перекіс зовнішнього кільця, зношування кульок або роликів); биття або перекіс валів і шпindelів; зношування шестерень у коробках швидкостей або подач, а також похибка зачеплення кожної передачі; зношування деталей кулько-гвинтової пари (гайок, гвинта, кульок, перекіс гвинта кулько-гвинтової передачі) тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз відомих і найбільш прийнятних для діагностування технічного стану металообробного обладнання показав, що вони мають такі недоліки, що суттєво знижують як перелік контрольованих дефектів, так точність їх визначення. Наприклад, у відомому способі [5] діагностування елементів технологічної системи, як замкнутої динамічної системи «верстат - пристосування - інструмент - заготовка», пропонується встановлювати «слабкий» (дефектний) елемент конструкції верстата шляхом аналізу записаної колограми поперечного перерізу оброблюваної заготовки. По цій колограмі можна отримати як спектр відносних коливань між інструментом і заготовкою, так і виявити домінуючі частоти власних коливань елементів замкнутої динамічної системи верстата при різанні. Дефектний елемент конструкції верстата встановлюють шляхом порівняння домінуючих частот із частотами заздалегідь знайдених власних коливань основних елементів верстата. До основних недоліків цього способу, що можуть призводити до суттєвих помилок в діагностуванні слабого елемента, можна віднести:

- 1) необхідність зняття колограми для виявлення з її допомогою спектра відносних коливань між інструментом і заготовкою;
- 2) необхідність математичної обробки спектра відносних коливань між інструментом і заготовкою з метою отримання домінуючих частот;
- 3) діагностування здійснюється в процесі різання, коли динамічна система верстата є замкнутою, що істотно спотворює вібраційний сигнал, що встановлюється за допомогою колограми.

Існує також спосіб визначення люфтів приводу верстата [6], який полягає в тому, що вимірюють спектр обвідної вібраційного сигналу при переміщеннях приводу верстата на всьому робочому діапазоні, після чого визначають спектр обвідної вібраційного сигналу при переміщенні приводу верстата в величинах, що відповідають тим можливим люфтам в приводі верстата, які треба знаходити. Далі визначають середні значення пікфакторів при двох режимах роботи верстата на частотах, що відповідають частоті тіл кочення або кратних ній. Фактичний люфт у відповідному приводі верстата знаходять шляхом порівняння отриманих двох режимів роботи верстата середніх значень пікфакторів. Недолік даного способу полягає в тому, що, по-перше, перелік дефектів, які при цьому виявляються, обмежений лише дефектами підшипників кочення у відповідному приводі і, по-друге, він не

дозволяє прогнозувати момент досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню для своєчасної зупинки верстата на ремонт і уникнення таким чином його можливої аварії.

Мета дослідження. Метою даної роботи є розроблення способу діагностування технічного стану верстата, який би дозволив підвищити точність визначення відповідного дефекту з одночасним прогнозуванням моменту досягнення ним свого гранично допустимого ступеню, що дозволить уникнути можливої аварії верстату за рахунок його своєчасної зупинки на ремонт.

Основні матеріали дослідження. Запропонований спосіб діагностування дозволяє уникнути недоліків існуючих методів діагностування за рахунок розширення переліку контрольованих дефектів верстату з одночасним прогнозуванням моменту досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню. Останнє дає можливість для своєчасної зупинки верстата на ремонт і уникнути таким чином його і уникнути таким чином його ймовірної аварії. Діагностування проводиться за допомогою датчика вібрації (акселерометра), накопичувача - перетворювача сигналу (комп'ютера) і програми розшифрування отриманих даних. У процесі функціонування технологічної системи проводиться зняття вібросигналів з певних точок верстата, перетворення і трансляція їх у комп'ютерну програму для розшифрування і встановлення діагнозу технічного стану як того чи іншого вузла, так верстата в цілому.

Зазначений технічний результат досягається тим, що у запропонованому способі вібродіагностування технічного стану верстата проводиться при роботі верстата на холостому ході в усьому допустимому його кінематикою робочому діапазоні швидкостей або подач відповідно. При цьому по чергово здійснюють спочатку вимірювання спектру обвідної вібраційного сигналу при роботі приводу подач, а потім - при роботі приводу шпинделя.

Результати вимірювань піддають аналізу, під час якого виділяють інформаційні дискретні складові спектру на частотах, що свідчать про наявність дефектів відповідних вузлів верстату і визначають поточне значення їх амплітуд. На основі цих даних та інформації про попередні вимірювання та час їх проведення, що зберігається в базі даних, складають часові ряди для кожної інформаційної складової.

Ці ряди піддають апроксимації, шляхом мінімізації функціонала U з визначенням величини прогнозованого ресурсу верстата

$$U = \sum_{i=1}^m \left[A_K^\Phi(\tau_i) - A_K^P(\tau_i, \alpha, \gamma, \beta, \eta, T_{BT}^K, T_{3H}^K) \right]^2, \quad (1)$$

де $A_K^P(\tau_i, \alpha, \gamma, \beta, \eta, T_{BT}^K, T_{3H}^K) = A_K^\Phi(\tau_0) - \alpha \cdot \left(\frac{\tau_i - \tau_0}{T_{BT}^K - \tau_i} \right)^\gamma + \beta \cdot \left(\frac{\tau_i - \tau_0}{T_{3H}^K - \tau_i} \right)^\eta -$

- апроксимаційна модель;
- $A_K^{\phi}(\tau_i), A_K^{\phi}(\tau_0)$ – поточне і початкове значення рівня амплітуд κ -тої інформаційної частотної складової, яка входить в інформаційну базу даних верстату і реагує на κ -тий дефект;
- τ_i, τ_0 – поточне і початкове значення часу контролю технічного стану верстата;
- m – кількість вимірювань рівня амплітуд κ -тої інформаційної частотної складової;
- α, β – коефіцієнти форми графіка апроксимаційної моделі;
- γ, η – показники ступеня;
- T_{BT}^K і $T_{ЗН}^K$ –прогнозований ресурс верстата, який обмежується розвитком κ -того дефекту, природа появи якого пов'язана, відповідно, з розвитком механічної втоми або зношування.

За отриманими результатами приймають рішення про наявність і ступінь розвитку контрольованих дефектів верстата, яку оцінюють за величиною прогнозованих ресурсів, знайдених для кожного з дефектів. Напрацювання верстата до ремонту і причину ремонту визначають мінімальним ресурсом найбільш розвиненого дефекту і природою його появи.

Виконання даного способу вібродіагностики технічного стану металообробного верстату дозволяє:

–підвищити точність і достовірність діагностики технічного стану верстатів, виявляючи окремо дефекти приводу подачі і приводу шпинделя, уникаючи їх взаємного спотворення ;

–контролювати повний перелік властивих верстатному обладнанню дефектів;

–перейти на експлуатацію верстата за його фактичним станом, уникаючи непередбачені зупинки або аварії верстата і істотно скорочуючи тривалість ремонту за рахунок прогнозування напрацювання верстата до ремонту з вказівкою причин цього ремонту;

–збільшити надійність та продуктивність верстата за умов безперервності роботи в заданому режимі, ефективності та мінімізації витрат часу на ремонт.

Приклад виконання запропонованого способу. Запропонований спосіб вібродіагування технічного стану металообробного верстата розглянемо на прикладі діагностування типових вузлів токарно-

гвинторізного верстата 16K20T1: шарикопідшипникових опор 1 та 3, шпинделя 2 (рис.1) і кінематичної пари «гвинт-гайка» 1 в приводі подач (рис.2). Точки 4 контролю вібрації опор 1,3 шпинделя 2 розміщувалися на корпусі передньої бабки верстату в зонах передньої та задньої шарикопідшипникових опор 1 та 3 (рис.1), а точка контролю 3 стану пари «гвинт-гайка» 1 – на супорті 2 (рис.2).

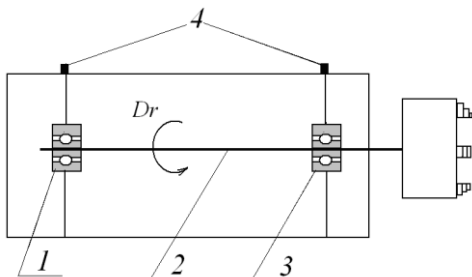


Рисунок 1– Схема розміщення точок контролю вібрації опор шпинделя : 1 - задня опора, 2- шпиндель, 3- передня опора, 4 - точки контролю вібрації.

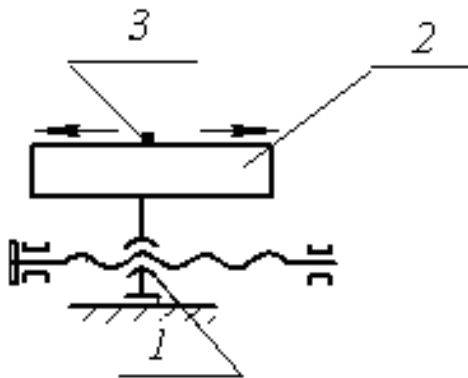


Рисунок 2 – Схема розміщення точок контролю стану пари «гвинт-гайка»: 1 - пара «гвинт-гайка», 2 - супорт, 3 - точка контролю вібрації

Контроль за станом верстата і в тому числі за зазначеними його вузлами здійснювався регулярно кожен раз перед початком процесу механічної обробки на холостому ході верстата.

Контроль стану підшипників проводився протягом 7 місяців до настання прогнозованого моменту заміни одного з них, а за приводом подач – протягом 50 місяців до моменту виявлення дефекту пари «гвинт - гайка ». Запис вібросигналу здійснювався за допомогою комп'ютера, де огинаюча вібросигналу піддавалася спектральному аналізу (рис.3 і 4).

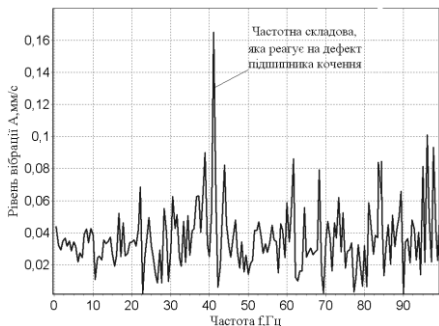


Рисунок 3—Приклад спектру вібрації передньої опори шпинделя

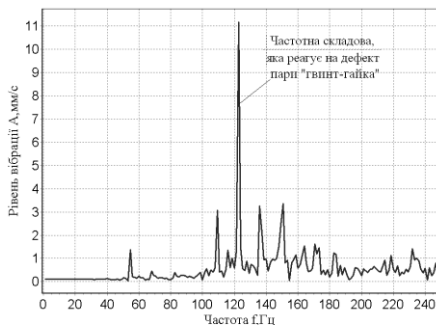


Рисунок 4 – Приклад спектру вібрації супорта

В отриманих за цей час спектрах виділялися інформаційні частотні складові, що реагують на дефекти, що з'являються у підшипниках кочення і пари «гвинт-гайка» (рис. 3 і 4), а також визначалися поточні значення амплітуд кожної з інформаційних складових. На основі цих даних та інформації про попередні вимірювання та час їх проведення, що зберігалися в базі даних, склали часові ряди для кожної інформаційної складової, що піддавали апроксимації з метою прогнозування ресурсу верстату шляхом мінімізації функціоналу (1) (рис. 5 і 6).

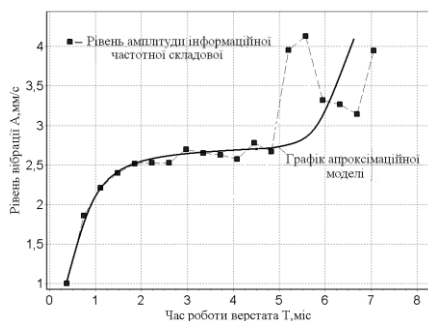


Рисунок 5– Часовий ряд, що характеризує зміну технічного стану передньої опори шпинделя і графік його апроксимуючої функції

В результаті мінімізації знаходились параметри апроксимаційної моделі, головними з яких є два параметри T_{BT}^K і $T_{ЗН}^K$, які в даному прикладі представляють ресурси підшипників і пари «гвинт - гайка», що

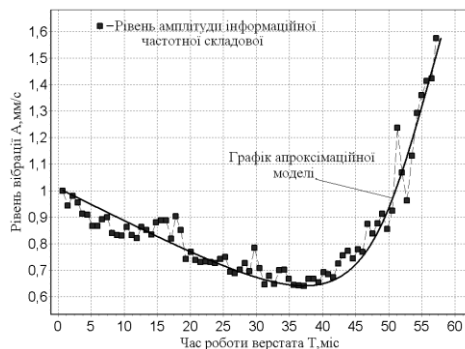


Рисунок 6 – Часовий ряд, що характеризує зміну технічного стану кінематичної пари «гвинт - гайка»

визначаються, відповідно, втомною міцністю і зношуванням цих вузлів верстата. Величини прогнозованих і фактичних ресурсів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1– Прогнозне напрацювання верстата до ремонту і його причина

Контрольований вузол верстата	Напрацювання до ремонту ^{*)}				Причина ремонту
	$T_{вт}$, міс		$T_{зн}$, міс		
	Прогноз	Факт.	Прогноз	Факт.	
Підшипник передньої опори шпинделя	27	- ^{**)}	7.5	7.0	Зношування обоймі тіл кочення підшипника
Підшипник задньої опори шпинделя	35	- ^{**)}	10	9.5	Підшипник у задовільному стані
Кінематична пара «гвинт-гайка»	78	- ^{**)}	58	57	Зношування гайки кінематичної пари «гвинт-гайка»

^{*)} Напрацювання верстата $\tau_{ПОР}$ на момент контролю становив: підшипників - 7 місяців, пари «гвинт-гайка» – 50 місяців. ^{**)} Напрацювання до втомного руйнування не було реалізовано, тому що ресурс верстата лімітувався механічним зносом.

Дефектація верстата, яка була проведена в ході зупинок його на ремонті через вичерпання прогнозованих ресурсів приводу шпинделя і приводу подач, свідчили кожен раз про своєчасність зупинки верстата на ремонт і підтверджували виявлену при діагностуванні причину появи і ступінь розвитку дефектів, які були розглянуті в прикладі.

Так, дефектація виявила неприпустиме зношування обойм і тіл кочення підшипника, встановленого в передній опорі шпинделя, а так само граничний стан зношування гайки, що входить до кінематичної пари «гвинт-гайка», що підтвердило результати діагностування.

Напрацювання до втомного руйнування кожного разу не було реалізовано, тому що ресурс з причини втомного руйнування перевищував ресурс розглянутих вузлів верстата, який був обмежений їх механічним зносом (табл.1).

Висновки і перспективи розвитку. Запропоновано спосіб діагностування технічного стану верстата, який дозволяє розширити перелік його контрольованих дефектів, підвищити точність визначення дефекту з одночасним прогнозуванням моменту досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню. Останнє дозволяє уникнути можливої аварії верстату за рахунок його своєчасної зупинки на ремонт.

Надалі становить науковий і практичний інтерес розробка методики адаптивного управління режимом роботи верстата, яка б дозволила виконати поточну технологічну операцію навіть у разі виявлення дефекту верстата.

Список використаних джерел: 1. *Клягин В. И.* Типовая система технического обслуживания и ремонта металлорежущего и деревообрабатывающего оборудования / *В. И. Клягин, Ф. С. Сабиров.* М.: Машиностроение, 1988.– 672 с. 2. *Савинов Ю. И.* Определение параметров механических систем станков / *Ю. И. Савинов // Станки и инструмент.* 2010. № 10. С. 8-10. 3. *Савинов Ю. И.* Удаленная диагностика деталей станков / *Ю.И. Савинов // РИТМ.* 2012. № 1. С. 58-61. 4. *Барков А. В.* Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / *А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев.* С.Петербург: Изд. Центр СПбГМТУ, 2000.–159 стр. 5. Способ диагностики элементов замкнутой динамической системы СПИД: а. с. СССР N 1296370 , заявл. 02.07.1985; опубл. 15.03.87 , Бюл. 10. 3 с. 6. Способ определения люфтов в приводе станка : пат. 2399033 Рос. Федерация. № 2009103084/28, заявл. 02.02.2009; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 39. 3 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kljagin V.I. Tipovaja sistema tehničeskogo obsluživanja i remonta metallorėzushhego i derevoobrabatyvajushhego oborudovanija / *V.I. Kljagin, F.S. Sabirov.* М.: Mashinostroenie, 1988.– 672 s. 2. Savinov Ju.I. Opredelenie parametrov mehanicheskih sistem stankov / *Ju.I. Savinov // Stanki i instrument.* 2010. № 10. S. 8-10. 3. Savinov Ju. I. Udalennaja diagnostika detalej stankov / *Ju.I. Savinov // RITM.* 2012. № 1. S. 58-61. 4. Barkov A. V. Monitoring i diagnostika rotornyh mashin po vibracii / *A. V. Barkov, N. A. Barkova, A. Ju. Azovcev.* S.Peterburg: Izd. Centr SPbGMTU, 2000.–159 str. 5. Sposob diagnostiki jelementov zamknotoj dinamicheskoj sistemy SPID: a.s. SSSR N 1296370, zajavl. 02.07.1985; opubl. 15.03.87, Bjul. 10. 3 s. 6. Sposob opredelenija ljuftov v privode stanka: pat. 2399033 Ros. Federacija. № 2009103084/28, zajavl. 02.02.2009; opubl. 10.09.2010, Bjul. № 39. 3 s.

Надійшла до редколегії 23.12.14