УДК: 621.9.02

Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич, Р.П. Голодюк, О.Ф. Варич
Луцький національний технічний університет

ДО ПИТАННЯ МОНІТОРИНГУ І ДІАГНОСТИКИ ВІБРАЦІЙ ВЕРСТАТІВ

Проведено порівняльний аналіз методів моніторингу і діагностики вібрацій у верстатах та запропоновано безрозбірну вібродіагностику, як раціональну методику.
Ключові слова: *вібрації, металорізальний верстат, моніторинг, діагностика, частота, сигнал.*

Т.И. Четвержук, Р.Н. Полинкевич, Р.П. Голодюк, О.Ф. Варыч

К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ВИБРАЦИЙ СТАНКОВ

Проведен сравнительный анализ методов мониторинга и диагностики вибраций в станках и предложено безразборную вибродиагностику, как рациональную методику.
Ключевые слова: *вибрации, металлорежущий станок, мониторинг, диагностика, частота, сигнал.*

T. Chetverzhuk, R. Polynkevych, R. Golodyuk, A. Varich

FOR QUESTION ABOUT MONITORING AND DIAGNOSTICS OF VIBRATIONS OF MACHINE TOOLS

The comparative analysis of methods for monitoring and diagnostics of vibrations in machine tools and offered CIP diagnostics as a rational method.
Keywords: *vibrations, machine tools, monitoring, diagnostics, frequency, signal.*

Постановка проблеми. Розвиток засобів вимірювання і обчислювальної техніки в останні роки дозволив частково вирішити проблеми контролю і діагностики шляхом створення систем моніторингу машин і устаткування на базі розглянутих інформаційних технологій. Такі системи, орієнтовані на перманентний контроль діагностичних параметрів конкретної машини або устаткування, які мають спеціальні режими адаптації на початковому етапі експлуатації, коли дефекти частіше усього відсутні. На цьому ж етапі виявляються і враховуються особливості впливу режимів роботи машини і зміни зовнішніх умов, таких як температура, якість електричного живлення і т. ін., на діагностичні параметри. Це знижує ймовірність помилкового спрацьовування системи моніторингу при зміні режимів або зовнішніх умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вібраційна діагностика – метод діагностування технічних систем і устаткування, заснований на аналізі параметрів вібрацій, або вібрацій, які створюються працюючим устаткуванням, або вторинною вібрацією, що обумовлена структурою досліджуваного об'єкту.

Методи і засоби оцінки технічного стану верстатів й іншого устаткування розвивалися поетапно. Спочатку використовувалися засоби контролю різних параметрів, потім моніторингу, і, на останньому етапі, системи діагностики і прогнозу технічного стану.

Впровадження кожного наступного виду систем дає користувачу нові можливості для переходу на обслуговування машин і устаткування по його фактичному технічному стану.

Так, контроль дозволяє отримати інформацію про величину параметрів і область їх допустимого відхилення. При моніторингу з'являється додаткова інформація про тенденції зміни параметрів у часі, що може використовуватися і для прогнозу. Ще більший об'єм інформації дає діагностика, як ідентифікація місця, виду і розміру дефекту.

Протягом багатьох років методи контролю і діагностування машин та устаткування по будь-яких видах діагностичних сигналів ґрунтувалися на порівнянні розміру сигналу або його складових із граничними значеннями, що розділяють множини бездефектних і дефектних станів. Системи контролю і діагностики, створювані на базі цих методів, забезпечували виділення інформативних складових із вимірюваного сигналу і реєстрацію моментів перевищення ними граничних значень. Будь-яке перевищення граничних значень реєструвався як дефект, вид якого визначався по сукупності складових, що перевищили задані для кожного із них допустимих границь. Сучасні системи моніторингу стану обладнання, що є логічним розвитком систем контролю, і зараз будуються за цими принципами. Однак деякі системи моніторингу дозволяють уже не тільки контролювати розміри параметрів, порівнюючи їх із граничними значеннями, виявляти тенденції їхньої зміни в часі, але і прогнозувати час, коли вони досягнуть граничних значень.

© Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич, Р.П. Голодюк, О.Ф. Варич

Постановка завдань. В роботі поставлено мету – розробити ефективну методику діагностування вібрацій в металорізальному верстаті з мінімальними трудомісткими і часовими витратами.

Викладення основного матеріалу. Найбільш складною задачею є задача прогнозу розвитку дефекту, а не змін контрольованих параметрів, рішення якої дозволяє визначити залишковий ресурс або прогнозований інтервал безаварійної роботи.

В даний час під терміном моніторинг часто розуміють рішення всього комплексу процедур оцінки стану обладнання, але існуючі системи моніторингу, далеко не завжди вирішують питання ідентифікації дефектів і прогнозу їх розвитку в часі. Тому, під терміном моніторинг варто розуміти контроль основних параметрів, виявлення тенденцій їх зміни в часі і прогноз розвитку контрольованих параметрів, а під терміном діагностика – ідентифікацію дефектів і прогноз їх розвитку.

Сучасні системи моніторингу та діагностики машин і технологічного обладнання будуються на базі неруйнівних методів контролю і діагностування.

Використовувані в них методи діагностування можна розділити на дві основні групи.

До першої відносяться методи тестової діагностики, що вимагають формування штучних збурень, які подають на об'єкт діагностики. По ступеню спотворення введених збурень оцінюють стан об'єкта. Збурення мають відомі характеристики, і предметом вивчення є тільки ті відхилення, що виникають при їх вловлюванні як відгуків системи. Подібні методи будуються на базі досить простих інформаційних технологій і широко використовуються для діагностики вузлів та систем машин і устаткування на етапі їх виготовлення.

Друга група містить у собі методи функціональної діагностики,що використовуються, в першу чергу для машин, в яких є джерела природних збурень. Ці методи орієнтовані, насамперед, на аналіз процесів формування збурень, а не їх спотворення під час поширення. Більш того, спотворення, як правило ускладнюють аналіз вимірюваних сигналів і, як наслідок інформаційну технологію, що використовується.

Вимірювання коливань холостого ходу є основою для віброакустичної діагностики елементів несучої системи верстата, зокрема підшипників шпиндельного вузла [1].

Найпростішою з основних інформаційних технологій функціональної діагностики є енергетична технологія, заснована на вимірюванні потужності або амплітуди контрольованого сигналу. В якості діагностичного сигналу може використовуватися температура (перепад температур), тиск, шум, вібрація і багато інших фізичних параметрів. Технологія будується на вимірюванні розмірів сигналів у контрольних точках і порівнянні їх із граничними значеннями.

Розвитком енергетичної технології є інформаційна частотна технологія, що припускає виділення з вимірюваного сигналу складових у визначених частотних діапазонах і подальший енергетичний аналіз виділених складових. Технологія частотного аналізу використовується не тільки для контролю і діагностики машин, але і для їх аварійного захисту.

Ще одна, інформаційна фазо-часова технологія, заснована на порівнянні форми сигналів, які вимірюються через фіксовані інтервали часу. Ця технологія успішно використовується для контролю стану машин зворотно-поступальної дії з декількома однаковими вузлами (циліндрами і поршнями), що навантажуються послідовно через однакові інтервали часу.

Порівняння форми сигналів, але вже з еталонної, можна здійснювати за допомогою ще однієї інформаційної спектральної технології, заснованої на вузькосмуговому спектральному аналізі сигналів. При використанні такого виду аналізу сигналів діагностична інформація міститься в співвідношенні амплітуд і початкових фаз основних складових і кожної з кратних їй по частоті складових. Така технологія застосовується для аналізу сигналів із датчиків тиску, вібрації, шуму, а також датчиків струму і напруги в електричних машинах і апаратах [47, 48].

Перераховані вище інформаційні технології застосовувалися дуже давно для контролю роботоздатності парових машин. Лише остання, спектральна технологія, почала широко використовуватись в середині XX століття після створення відносно простих аналізаторів спектру сигналів різної природи. В даний час ці технології широко застосовуються в системах контролю і керування машин і устаткування.

Всі вони, однак, мають загальний недолік при використанні в задачах діагностики, коли потрібно виявити дефекти різних вузлів, що зароджуються. Він пов'язаний із тим, що діапазон величин вимірюваних параметрів навіть у групі однакових бездефектних машин, як правило, перевищує зміни, характерні для появи дефектів, що зароджуються.

© Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич, Р.П. Голодюк, О.Ф. Варич

Результати статистичних досліджень показують, що типовий розкид розмірів багатьох складових лежить у межах 20 дБ, тобто 10 разів, а для деяких складових виявляється ще вище. У той же час дефекти в початковій стадії розвитку можуть чинити значно менший вплив, змінюючи характерні для цих дефектів розміри параметрів вібрації усього в 2-3 рази.

Іншою найважливішою характеристикою систем діагностики є необхідний ступінь підготовки оператора. По об'єму необхідної від оператора діагностичної підготовки, системи можуть бути розділені на три групи.

Перша група – професійні системи діагностики, у яких оператор самостійно вибирає інформаційну технологію і засоби вимірювання. Знання і досвід оператора-експерта при використанні подібної системи цілком визначають глибину і достовірність діагнозу і прогнозу.

Друга група – експертні системи діагностики, що включають у себе експертні програми, що містять відповіді на типові запити оператора, тобто такі, що допомагають оператору приймати рішення у визначених ситуаціях. Експертні системи можуть застосовуватися операторами, що мають спеціальну підготовку, але не володіють досвідом експертів.

Третя група – системи автоматичного діагностування. Вони будуються по методах, що дозволяє автоматизувати постановку діагнозу, формуючи для оператора програму вимірів, і не вимагають від користувача спеціальної підготовки.

Проблеми користувача систем моніторингу пов'язані з необхідністю інтерпретування виявлених та прогнозованих змін стану об'єкта дослідження. Природною межею, що розділяє системи моніторингу і діагностики, міг би бути етап розподілу виявлених змін на дві групи, зворотні (зміна умов роботи машини) і незворотні (дефекти).

На жаль, жодна із систем моніторингу не вирішує цілком задачу такого розподілу. Тому системи діагностики повинні вступати в дію до того, як виявлені системою моніторингу зміни будуть розділені на групи зворотних і незворотних.

У зв'язку з цим, однієї з основних характеристик систем діагностики варто вважати глибину її інтеграції в систему моніторингу.

При безрозбірній вібродіагностиці вирішується не тільки, які деталі втратили працездатність, але ідентифікується, які фактори і якою мірою визначають цю втрату. В техніці ремонт на практиці здійснюється трьома основними способами:

– робота до відмови;

– виведення техніки в ремонт за результатами експертних оцінок;

– виведення техніки в ремонт за результатами діагностики і прогнозу його технічного стану.

Але значний економічний ефект дає лише третій спосіб. Успішне його використання дозволяє:

– скоротити час, обсяг ремонту і кількість запасних частин більше, ніж на третину,

– зменшити число раптових відмов у десятки разів,

– скоротити упущений прибуток через простоювання в декілька разів.

Для останнього способу необхідна повна діагностика об'єкта, причому бажано виявляти всі дефекти, що впливають на ресурс, щоб підготуватися до ремонту. В механіці, як показує практика, ефективна діагностика машин можлива по вібрації, тому що:

– коливальні сили виникають безпосередньо в місці появи дефекту, а машина «прозора» для вібрації;

– вібрація містить максимальний об'єм діагностичної інформації;

– діагностувати можна на місці, без розбирання і зупинки устаткування.

Але глибока діагностика машин і устаткування по вібрації це не тільки методи діагностики й апаратура для виміру й аналізу процесів, є ще дві обов'язкові складові частини:

– база даних по вимірах великої кількості устаткування протягом тривалого часу з можливістю оперативно одержувати будь-які дані і проводити їхній аналіз;

– способи прийняття діагностичних рішень.

У першому питанні лідерами завжди були фірми США, що створювали протягом багатьох років ефективні комп'ютерні системи моніторингу, тобто спостереження за процесами, що протікають, у тому числі і за вібрацією машин і устаткування. До складу програмного забезпечення входила база даних із характеристиками контрольованого устаткування і результатами вимірів, зручний інтерфейс для користування з можливістю графічного аналізу з побудовою трендів, і іншими засобами представлення даних.

Друге питання в більшості систем діагностики вирішувалось одним способом – залученням експерта по діагностиці конкретного виду устаткування.

Але існує ще два можливих напрямки вирішення другого питання, це розробка штучного інтелекту [2]. Перший напрямок – навчання штучного інтелекту. Навчання проводить спочатку розроблювач системи, потім користувач доповнює систему потрібними йому правилами. Другий напрямок – самонавчання (адаптивний) системи за жорсткими алгоритмами навчання, заданими розроблювачами.

У вібродіагностиці дефект визначається коливальною силою, що діє в зоні дефекту, а сила зв'язана лінійно з коливальним прискоренням, а не зі швидкістю. Тому в діагностиці часто користуються вимірами віброприскорення, а для вібраційного контролю машин додатково вимірюють і віброшвидкість, причому лише в обмеженому низькочастотному діапазоні.

Ефективним експериментальним методом визначення динамічних характеристик несучої системи верстата є аналіз мод коливань [3] на основі результатів вимірювань і аналізу вимушених механічних коливань. Існує два методи модального аналізу: традиційний і операційний.

У традиційному модальному аналізі створюється контрольоване вхідне збудження і проводиться аналіз між вихідним відгуком і вхідним збудженням. Джерелом вхідного збудження є ударний молоток з вбудованим датчиком сили або електродинамічний збудник з вбудованим датчиком сили. У реальних умовах експлуатації для складних конструкцій з багатомодовими коливаннями, часто немає можливостей провести традиційний модальний аналіз.

Операційний модальний аналіз дозволяє провести модальний аналіз, використовуючи тільки вихідний відгук конструкції при нормальних експлуатаційних режимах. Визначення модальних параметрів в робочому режимі володіє величезною користю, оскільки отримана модальна модель показує фактичні сили і рівні вібрації за дійсних граничних умов. Це також дозволяє проводити випробування механічної системи, коли її важко порушити штучно і коли неможливо безпосередньо зміряти вхідні сили [4].

Спеціальна програма дозволяє отримувати з сигналів акселерометрів, які віддають сигнал пропорційний прискоренню, сигнали віброшвидкості і віброзміщення.

Після перетворення сигналу вібрації (шуму) в електричний сигнал, останній необхідно ретельно аналізувати, не втрачаючи діагностичну інформацію. До приладів, що аналізують, у діагностиці пред'являються самі жорсткі вимоги. До типових операцій, що повинні виконувати прилади, що аналізують вібрацію, варто віднести:

1. Визначення рівня (загального) вібрації в смузі частот, регламентованої стандартами вібраційного контролю.

2. Спектральний аналіз вібрації.

3. Аналіз коливань потужності окремих складової вібрації, попередньо виділених із сигналу вібрації.

4. Аналіз форми сигналу вібрації, тобто аналіз тимчасової розгортки сигналу (робота в режимі осцилографа).

Одна з вимог, які ставляться до приладів контролю – висока лінійність. Природно, що межею є лінійність, обмежена динамічним діапазоном 80 дБ, тобто не гірше 0,01%. На практиці, як правило, вдасться досягти в кращому випадку 0,03%, тобто спотворення з'являються на рівні 70 дБ, і це цілком достатньо для діагностичних вимірів.

Наступна вимога пред'являється до величини частотного діапазону. Типові вимоги – від 2 Гц до 20 кГц, але іноді потрібно збільшення діапазону частот. У ряді випадків необхідно збільшення діапазону зверху до 40 кГц, у деяких галузях промисловості потрібно розширення діапазону частот знизу до 0,3 Гц або навіть до нуля. Остання вимога – по роздільній здатності приладів. Типові вимоги – від 100 до 800, але в деяких приладах зустрічається і більша кількість смуг – до 6400 і вище.

Поширена на сьогодні технологія вібродіагностики верстатів складається з наступних етапів [5]:

1. Фахівець вивчає креслення верстата і визначає точки, в які встановлюватиметься акселерометр. Операція складна, але проводиться тільки 1 раз для кожного верстата - навіть верстати одного типу часто відрізняються по конструкції, не говорячи вже про відмінності між фрезерним і наприклад, токарним верстатом.

2. У повністю робочому верстаті фахівець по черзі встановлює акселерометр, знімаючи еталонні показники вібрації в різних місцях конструкції – підготовка завершена.

3. Після встановленого терміну експлуатації верстата фахівець знову встановлює акселерометр в потрібних вузлах і знімає дані. По змінах люфтів (вібрації) в різних місцях верстата фахівець визначає зношення, або дрібні поломки в механіці верстата.

Частоти, які обумовлені неврівноваженістю валу, виявляються на частоті обертання валу і на кратних частотах, що говорить про дефекти складання і виготовлення. Подвійна частота обкатки тіл кочення по зовнішньому кільцю показує перекіс зовнішнього кільця підшипника. Автоколивання, що виникають на половині частоти обертання валу, можуть бути пов'язані з автоколиваннями в підшипнику ковзання.

Час для проведення вимірювань одного верстата в цеху складає 2-3 години. Заздалегідь формується керуюча програма на певну модель верстата. При виконанні вимірювань за керуючою програмою необхідно зняти заздалегідь певні вібраційні характеристики в намічених точках шляхом почергового переустановлення одного акселерометра.

Далі фактично відбувається порівняння експериментальних даних і розрахункових показників, що характеризують роботу нових і бездефектних вузлів і тих, що комплектують.

Висновки. В статті проведено класифікацію та порівняльний аналіз методів діагностування вібрацій металорізальних верстатів і запропоновано власну методику безрозбірної діагностики.

Замість повного розбирання верстата потрібне лише часткове розбирання тих вузлів, де є дефектні деталі і усунення конкретних несправностей. Тобто реально необхідний об'єм роботи складає не більше 40% в порівнянні з іншими методами.

Список використаних джерел:

1. Сабиров Ф.С., Кочинев Н.А., Козочкин М.П., Хомяков В.С., Суслов Д.Н., Сенькина В.В. Диагностика, моделирование и расчет шпиндельных узлов станков // «Комплект: ИТО». 2009, № 3, С. 52-54.
2. Давиденко В.І. Застосування різних методів оцінювання взаємозв’язку між факторами при побудові мереж Байєса [Текст] / Давиденко В.І., Трофименко Д.В., Свердел К.О. // Системний аналіз та інформаційні технології : сб. наук. праць по матеріалам XII міжнар. наук.-прак. конф.. – К:НТУУ “КПІ”, 2010. – С. 448.
3. Металорізальні верстати : навч. посіб. / В. М. Бочков, Р. І. Сілін, О. В. Гаврильченко; Нац. ун-т "Львів. політехніка", Хмельниц. нац. ун-т. – Л., 2009. – 268 с.
4. Четвержук Т. І. Вібродіагностика верстата з використанням мереж Байєса / О. Ф. Гордєєв, Р. М. Полінкевич, Н. Т. Зубовецька, Т. І. Четвержук // Наукові нотатки: міжвуз. зб.наук. праць. – Луцьк, 2013. – Вип. 40. – С. 62-70.
5. Савинов Ю.И. Обслуживание станков по фактическому состоянию. РИТМ, №4, 2011 г., стр. 130-133.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2016.

© Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич, Р.П. Голодюк, О.Ф. Варич