

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Зінченко Руслан Миколайович

УДК 621.941.004.65:620.179.17

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОЧІННЯ
ЗА РАХУНОК ДІАГНОСТИКИ ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ
ПО АКУСТИЧНОМУ ВИПРОМІНЮВАННЮ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі „Металорізальні верстати та інструменти” Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник -

доктор технічних наук, професор
Залога Вільям Олександрович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри „Металорізальні
верстати та інструменти”

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Верезуб Микола Володимирович,
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри „Інтегровані технології
машинобудування” ім. М.Ф. Сємко;

кандидат технічних наук, доцент,
Тарасюк Анатолій Петрович
Українська інженерно-педагогічна академія
(м. Харків),
проректор з навчальної роботи та виробничого
навчання

Провідна установа -

Донбаська державна машинобудівна академія,
кафедра „Металорізальні верстати та інструмен-
ти”, м. Краматорськ

Захист дисертації відбудеться „20” жовтня 2005р. о 14 годині 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.12 у Національному технічному університеті „Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий „__ 19 __” _____ вересня _____ 2005 ____ р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасному машинобудуванні обробка різанням все ще залишається переважним способом формоутворення, на частку якого припадає більше третини загальної трудомісткості виготовлення виробів. Відносно велика вартість різального інструменту вимагає максимального використання ресурсу його роботи, оскільки тільки в цьому випадку можливе отримання економічного ефекту від його використання. В умовах, коли в собівартості продукції питома вага витрат на інструмент виявляється значною, довіряти лише досвіду робітника або наладчика верстатів із ЧПК є економічно невиправдано. Вирішенням цієї проблеми може бути діагностика процесу обробки і, зокрема, діагностика зношування різального інструменту. Реалізація традиційних систем діагностики на основі вимірювання сили, температури різання та/або акустичної емісії (АЕ), незважаючи на їх точну достовірність, як правило, пов'язана із достатньо складною модернізацією устаткування, необхідністю застосування дорогих засобів реєстрації та обробки сигналів і т.п. До того ж відомі випадки, коли традиційні схеми діагностики зношування різального інструменту взагалі не можуть бути практично реалізовані.

Питаннями діагностики процесу різання займалися Барзов О.О., Бахіреєв М.А., Герасимов С.А., Горелов В.А., Жигіка Я., Кокаровцев В.В., Подураєв В.М., Ко J.T., Chen J.C., Cho D.W., Shirase K., Chen I.J., Li X., Marek Miernik, Mou J., Yonghong P. Вони показали можливість підвищення ресурсу інструменту на 20-35% і зменшення кількості браку за рахунок своєчасного корегування процесу обробки. Аксьонов Г.І., Гарєєв Ю.Г., Харізоменов І.В. займалися безконтактними методами контролю за станом різального інструменту. Також діагностикою стану інструменту займалися Бовнегра М.В., Дерв'янченко О.Г., Любченко В.В., Павленко В.Д., Поляков М.В.

Останніми роками фахівців все більше приваблює перспектива використання акустичної діагностики процесу різання, яка не вимагає внесення суттєвих змін у конфігурацію технологічної системи (Т-системи). Дійсно, добре відомо, що випромінювання звукових хвиль - акустичне випромінювання (АВ) - завжди супроводжує процес обробки різанням. Його надзвичайно широкий спектр (від десятків герців до десятків кілогерців) і різноманіття параметрів визначають передумови можливості виявлення тісних кореляційних зв'язків з технологічними умовами обробки. Сучасний стан обчислювальної техніки і апаратури для оцінки рівня акустичних сигналів залежно від умов обробки дозволяє реалізувати відносно дешевий комплекс реєстрації та аналізу АВ у процесі різання. Разом з тим теоретичні основи, методики та алгоритми прийняття рішення про ступінь зношеності інструменту або передбачення моменту його відмови за показниками АВ у режимі реального часу в літературі практично відсутні. У зв'язку із цим створення таких методик та алгоритмів є *актуальним науковим і практичним завданням.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася на кафедрі «Металорізальні верстати та інструменти» Сумського державного університету в період з 2001 року і до цього часу у рамках щорічних держбюджетних робіт відповідно до тематичних планів СумДУ, затверджених Міністерством освіти і науки України (№633 від 05.11.02): «Розроблення теоретичних основ керування процесами механічної обробки лезовим інструментом» (ДР №0103U000777).

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення ефективності точіння на токарних верстатах за рахунок підвищення ресурсу інструменту та виключення браку в наслідок безперервної діагностики зношування різального інструменту за акустичним випромінюванням.

Основними **задачами** наукового дослідження є:

1. Встановлення шляхів підвищення ефективності токарної обробки за рахунок реалізації безперервної діагностики зношування різального інструменту за акустичним випромінюванням.
2. Вибір інформативних показників акустичного випромінювання для ідентифікування ступеня зношування різального інструменту в процесі точіння та розроблення методики їх реєстрації і обробки у режимі реального часу .
3. Розроблення системи безперервного визначення поточного значення розмірів площадки (фаски) зношування різця при точінні та її реалізація у прикладній програмі для ПЕОМ.
4. Виконання експериментальної перевірки працездатності розробленої системи діагностики зношування різального інструменту в лабораторних і виробничих умовах.
5. Розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності токарної обробки за рахунок діагностики зношування різального інструменту за акустичним випромінюванням.

Об'єкт дослідження. Процес чистового та напівчистового повздовжнього точіння довгомірних деталей, у тому числі на токарних верстатах із ЧПК.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є зношування інструменту та його вплив на сигнал акустичного випромінювання; система діагностики зношування різального інструменту.

Методи досліджень. Методи досліджень базуються на наукових положеннях теорії проектування різальних інструментів, теорії різання матеріалів, технології машинобудування. У роботі також використані методи теорії коливань і хвиль та спектрального аналізу акустичних сигналів, елементи теорії експерименту та об'єктно-орієнтованого програмування.

Достовірність отриманих теоретичних закономірностей гарантується використанням класичних законів теорії коливань і хвиль, теорії обробки акустичних сигналів.

Достовірність експериментальних результатів та висновків обумовлена використанням стандартних і спеціальних вимірювальних пристроїв та засобів реєстрації АВ, застосуванням для побудови спектра АВ та встановленням зв'язку його інформативних показників зі станом інструмен-

ту як широко використовуваних, так і спеціально розроблених алгоритмів, методів планування експерименту та статистичної обробки даних.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше розроблені методологічні основи діагностики зношування різців при точінні за акустичним випромінюванням у процесі обробки різанням. Ідентифікування стану різального інструменту передбачає виконання в режимі реального часу реєстрації сигналу акустичного випромінювання мікрофоном, оцифрування сигналу, побудову його спектра, визначення інформативних показників спектра, ухвалення рішення про зношування інструменту за допомогою заздалегідь навченої нейронної мережі.

2. Встановлено, що акустичне випромінювання при різанні завжди містить дві інформативні, з огляду на можливість діагностики стану леза інструменту у процесі обробки, смуги частот - від 2.4кГц до 4.9кГц та від 5кГц до 15кГц. Доведено, що стан технологічної системи та елементи режиму різання не впливають на положення цих інформативних смуг, що дозволяє застосовувати їх для визначення інформативних показників спектра акустичного випромінювання з метою визначення величини фаски зношування різального інструменту.

3. Експериментально доведено, що при збільшенні фаски зношування різця на задній поверхні значно змінюється потужність сигналу акустичного випромінювання в інформативних смугах його спектра. Встановлено, що елементи режиму різання, геометрія різця, жорсткість різця, марки оброблюваного та інструментального матеріалів змінюють зазначену залежність за величиною, але не змінюють її характеру. Це дозволяє проводити оцінку величини фаски зношування на задній поверхні інструменту за потужністю акустичного випромінювання.

4. Доведена можливість застосування штучної нейронної мережі для описування емпіричної залежності впливу фаски зношування на задній поверхні інструменту на потужність сигналу акустичного випромінювання в інформативних смугах його спектра, що дозволяє ідентифікувати поточне значення величини фаски зношування інструменту безпосередньо в процесі різання з точністю не гірше 0,075мм. Вперше науково обґрунтовано вибір оптимальної кількості аргументів мережі та оптимізована її структура за мінімумом цільової функції.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні рекомендацій та створенні прикладної програми для ПЕОМ для практичного використання методу акустичного випромінювання як в лабораторних, так і у виробничих умовах з метою ідентифікування поточного стану зношування різця при точінні, що дозволяє визначити необхідний момент його заміни або оцінити величину фаски зношування без переривання процесу точіння. Використання цієї програми на універсальних верстатах і верстатах із ЧПК дозволить знизити собівартість обробки за рахунок зменшення браку, своєчасної заміни інструменту і повного використання його ресурсу, зменшення часу простоїв устаткування і зменшення кількості обслуговуючого персоналу. Використан-

ня розробленої програми при обробці довгомірних заготовок дозволяє підвищувати точність обробки за рахунок внесення корекції в положення інструменту відносно осі оброблюваної поверхні безпосередньо в процесі точіння. Результати дослідження впроваджені на ВАТ Сумське МНВО ім. М.Ф. Фрунзе та у навчальний процес на кафедрі „Металорізальні верстати та інструменти” Сумського державного університету.

Особистий внесок здобувача. Результати наведених теоретичних і експериментальних досліджень отримані здобувачем самостійно. Здобувачем запропонована система реєстрації та обробки сигналу АВ. За допомогою розробленої експертної системи здобувач довів можливість діагностики в реальному режимі часу зношування інструменту в процесі точіння. Розроблення методик, поставлення задач і обговорення результатів досліджень виконані здобувачем разом з науковим керівником і співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Апробація основних наукових положень та результатів дисертаційних досліджень здійснена на науково-технічних конференціях (семінарах): Другій Всеукраїнській конференції «Машинобудування України очима молодих» (Суми, 2002), Міжнародній науковій конференції «Нейромережеві технології та їх застосування» (Краматорськ, 2002), Третій Всеукраїнській конференції «Машинобудування України очима молодих» (Запоріжжя, 2003), Другій Міжнародній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ, 2004), Четвертій Всеукраїнській конференції «Машинобудування України очима молодих» (Київ, 2004), щорічних конференціях викладачів, співробітників та студентів Сумського державного університету (2002-2005 рр.).

У повному обсязі дисертація доповідалася на науковому семінарі кафедри „Металорізальні верстати та інструменти” Сумського державного університету (м. Суми), на науковому семінарі кафедри „Різання матеріалів та різальний інструмент” НТУ „ХПІ” (м. Харків), на науковому семінарі кафедри „Металорізальні верстати та інструменти” ДДМА (м. Краматорськ).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, із них 4 статті у фахових наукових спеціальних виданнях України, затверджених переліком ВАК України, та 7 тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків та 6 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 188 сторінок, 50 ілюстрацій по тексту та 17 ілюстрацій на 12 сторінках, 18 таблиць по тексту на 8 сторінках, списку умовних позначень на 1 сторінці, 6 додатків на 40 сторінках, списку використаних джерел із 153 найменувань на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми з точки зору вирішення проблеми підвищення ефективності процесу точіння за рахунок діагностики зношування інструменту.

У **першому розділі** розглянуті основні положення про стан різального інструменту та його вплив на показники процесу механічної обробки різанням. Показано, що існує працездатний і непрацездатний стани різального інструменту. Непрацездатний стан характеризується його відмовою. При цьому злам інструменту є найбільш небезпечним видом відмови. Розглянуто причини зміни стану, а також методи визначення стану різального інструменту.

На основі літературного огляду встановлено, що на сьогоднішній день існує достатня кількість методів діагностики зношування різального інструменту. Серед них слід виділити оптичний, пневматичний, механічний, фотоелектричний, метод акустичної емісії, силовий, вібраційний, температурний. Проаналізовані основні переваги і недоліки цих методів діагностики стану різального інструменту. Крім усіх цих методів, є дослідження із застосуванням методу акустичного випромінювання з метою технологічної діагностики процесу обробки.

Проведено аналіз терміна „акустичне випромінювання”. Встановлено, що термін „акустичне випромінювання” широко використовується в акустиці та ехолокації для визначення звукових хвиль, які породжуються досліджуванним тілом і поширюються безпосередньо від нього в навколишнє середовище. Відмінність АВ від АЕ полягає у фізичній природі виникнення цих явищ. Як відомо, джерелом АЕ є коливання атомів у вузлах кристалічної решітки при деформуванні оброблюваного матеріалу. Діапазон частот цих коливань від 50-1500кГц. Джерелом же АВ є коливання поверхонь елементів Т-системи у звуковому діапазоні частот при силовій взаємодії леза з заготовкою. Таким чином, акустичне випромінювання - це звукова хвиля, яка поширюється в діапазоні частот від 20Гц до 20кГц і передається через повітряне середовище. Це і обумовлює суттєве розходження в засобах реєстрації та обробки сигналів АВ і АЕ.

Практика доводить можливість використання АВ для технологічної діагностики процесу обробки. Дійсно, АВ добре ідентифікується вухом людини і доволі часто у виробничій практиці використовується при оцінці працездатності інструменту як критерій його зношування. Однак надійність і достовірність прийнятих рішень залежать від методики приймання, перетворення, реєстрації та обробки сигналу АВ. У літературі опубліковані різні приклади застосування методу АВ для діагностики стану елементів технологічної системи. Наприклад, цей метод використовувався для діагностики загального стану оброблюваної системи при високошвидкісному фрезеруванні з метою пошуку оптимальної швидкості різання. Разом з тим роботи щодо ідентифікування поточного стану різального інструменту у процесі різання і діагностики зношування різального інструменту в режимі реального часу даним методом авторами невідомі.

Джерелами акустичного випромінювання при різанні можуть бути: 1) процес стружкоутворення, що передбачає деформацію зрізаного шару, тертя в зоні контакту стружки з передньою поверхнею інструменту, тертя в зоні контакту задніх поверхонь інструменту з поверхнями на оброблюваній деталі (різання та обробленою); 2) стружка, що відводиться від різальної кромки і яка

стикається з елементами технологічної системи; 3) коробка швидкостей та головний двигун; 4) приводи та коробка подач; 5) електрооснащення верстата; 6) обслуговуючий персонал; 7) навколишнє середовище (наприклад, інші верстати) тощо.

Система автоматизованого керування будь-якого робочого процесу обробки зводиться до схеми, що складається з етапів ідентифікування поточного стану процесу обробки, прогнозування подальшого розвитку ситуації, прийняття рішення з корекції стану процесу обробки та внесення змін у його хід шляхом повідомлення керуючих команд робочим органам верстата або необхідної інформації оператору. Встановлено що при використанні систем діагностики зношування різального інструменту є проблема адаптації функції керування, визначеної на одному верстаті, для інших верстатів, навіть тієї самої моделі. Вирішити цю проблему можна шляхом використання експертних систем прийняття рішень, які можуть навчатися. Останнім часом за таку систему прийняття рішень найчастіше використовують експертні системи на основі штучних нейронних мереж (НМ). Цей метод є настільки універсальним, що застосовується у кораблебудуванні, комунальному господарстві, медицині, машинобудуванні тощо. Його перевагою є можливість описування складної залежності між факторами та показниками процесу без попереднього задання її вигляду та малий обсяг ресурсів ЕОМ, необхідних для цього. Сформульовано мету і задачі досліджень.

У **другому розділі** запропоновано методологічні основи діагностики зношування інструменту. Розроблена структура системи діагностики (СД), запропонована методика приймання, перетворення, реєстрації та обробки сигналу АВ, а також запропоновані засоби зменшення впливу на інформаційні показники АВ випадкових збурювань.

Основне завдання діагностики – встановлення та вивчення ознак, які характеризують стан машин, технічних систем взагалі та різального інструменту зокрема, для передбачення ймовірних відхилень від їх нормальної роботи. Відповідно до розробленої структурної схеми (рис. 1) на першому етапі протягом певного, завжди постійного періоду часу сигнал від мікрофона надходить у блок реєстрації інформації (блок 1), фіксується, підсилюється, перетворюється з аналогового в цифровий вид за допомогою АЦП і записується у пам'ять ЕОМ. На наступному етапі розраховується спектр сигналу АВ та визначаються його інформативні показники в інформативних смугах частот за рівнянням регресії, що описує спектр у заданій смузі частот (блок 2). Значення цих показників округляються з точністю довірчого інтервалу. Далі експертна підсистема (блок 3) приймає на вхід дані про умови різання та інформативні показники спектра АВ, отримані при практичній реалізації процесу у цих умовах, та проводить обчислення фаски зношування РІ. Блок 5 необхідний для навчання НМ в перший раз за лабораторними або експериментальними даними, а блок 6 донавчає НМ під час практичного використання СД.

Рис. 1. Структура системи діагностики

Рис. 2. Застосування лінійного фільтра для визначення інформативних показників при діагностиці зношування інструменту (а) та описання спектра за рівнянням квадратичної регресії (б)

Для зменшення впливу випадкових збурювань та сторонніх шумів запропоновано: 1) реєструвати сигнал АВ мікрофоном, який розміщений в звукоізолюючій трубі з метою підвищення направленості мікрофона; 2) округляти інформативні показники (див. розділ 3) з точністю довірчого інтервалу їх визначення з метою зменшення випадкових похибок та забезпечення їх однозначності; 3) застосовувати лінійний фільтр у часі (рис. 2а) з метою відсіювання випадкових збурювань Т-системи; 4) обчислювати інформативні показники в інформативних смугах частот за спектром, апроксимованим рівнянням квадратичної регресії (рис. 2б) з метою зменшення впливу сторонніх шумів.

Третій розділ присвячено експериментальному дослідженню взаємозв'язку зношування інструменту із показниками АВ та умовами обробки. Для цього розроблена експериментальна установка на базі верстата 16K20T1 із системою ЧПК НЦ-31 (рис. 3). Вимірювання площадки зношування виконувалось за допомогою мікроскопу Intel. Реєстрація АВ виконувалася за допомогою мікрофона моделі МКЕЗ. Було визначено, що найбільша амплітуда сигналу АВ, корисного для діагностики стану інструменту, досягається на відстані 35-70мм від зони різання при встановленні направлено мікрофона над різцем. При встановленні мікрофона у інші місця технологічної системи або на більшу відстань від зони різання зростає амплітуда шумів та зменшується амплітуда корисного сигналу. Для зменшення дії випадкових шумів та запобігання пошкодженню мікрофона стружкою, що рухається, його встановлено у звукоізоляційну трубу.

Табл. 1. Визначення границь інформативних смуг частот спектра сигналу АВ при точінні

| № | Оброблювальний матеріал | V, м/хв | S, мм/об | t, мм | Смуга А | | Смуга Б | | Смуга С | |
|---------------------------------|-------------------------|---------|----------|-------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | | f_n | f_k | f_n | f_k | f_n | f_k |
| 1 | Сталь 40Х | 105 | 0,1 | 0,25 | 0 | 1400 | 1990 | 5260 | 5300 | 15389 |
| 2 | Сталь 40Х | 104 | 0,1 | 0,25 | 0 | 1450 | 2033 | 5004 | 5004 | 15735 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 41 | Сталь 38ХНЗМФА | 145 | 0,1 | 0,5 | 0 | 1400 | 2680 | 5602 | 5602 | 15306 |
| 42 | Сталь 38ХНЗМФА | 143 | 0,1 | 0,5 | 0 | 1350 | 2580 | 4841 | 4841 | 15000 |
| Математичне сподівання: | | | | | 0 | 1444 | 2381 | 4940 | 4998 | 15166 |
| Середньоквадратичне відхилення: | | | | | 0 | 59 | 280 | 302 | 300 | 514 |

Для дослідження впливу зношування інструменту на АВ були проведені дослідження (умови

Рис. 4. Спектр сигналу АВ при роботі токарного верстата:

0- спектр акустичного фону в цеху; 1-спектр при включеному приводі гол. 2- спектр під час Δ тання В інделя з частотою $n = C$ об/хв; 3-спектр безпосередньо після початку точіння заготовки із сталі 38ХНЗМФА ($V=142_{м/хв}$, $s=0,1_{мм/об}$, $t=0,5_{мм}$); 4-спектр через 30с після початку точіння

Рис. 3. Експериментальна установка

Рис. 5. Вплив на сигнал АВ частоти обертання шпинделя (а) та подачі (б): а) сталь 40Х, $S=0,1$ мм/об, $t=0,2$ мм, $\varnothing 52,8$ мм; б) сталь 38ХНЗМФА, $n=140$ об/хв, $t=0,5$ мм, $\varnothing 212,5$ мм

див. у табл.1), в ході яких визначено, що форма спектра сигналу АВ не залежить від умов обробки і має в діапазоні 20-22000 Гц вигляд «тригорбої» кривої (рис. 4). Однак амплітуди „горбів” та їх положення залежать від умов обробки. Встановлено, що зміна положення цих „горбів” відбувається лише у межах фіксованих діапазонів частот - інформативних смуг. Встановлено, що смуга А (від 0,2 до 1,4 кГц) чутлива до зміни частоти обертання шпинделя; смуги В (від 2,4 до 4,9 кГц) і С (від 5 до 15 кГц) чутливі до зношування інструменту по задній поверхні.

Для визначення величини фаски зношування інструменту та ідентифікування моменту його відмови необхідні кількісні показники спектра, основною вимогою до яких є їх чутливість до зміни величини площадки зношування інструменту. Показники, які відповідають даним вимогам, запропоновано називати *інформативними*.

Доведено, що для розв’язання сформульованої задачі як інформативні достатньо взяти такі показники: E_B - потужність АВ у смузі частот В; E_C - потужність АВ у смузі частот С і частоту з максимальною амплітудою у смузі С - $f_{A_{\max C}}$.

Експериментально встановлено, що не лише зміна розмірів фаски зношування РІ значущо змінює величини інформативних показників спектра. Значущо впливають на ці параметри також і інші фактори. Наприклад, при зміні частоти обертання шпинделя показник E_C змінюється на 35 дБ (рис. 5). Фактор вважається значущим, якщо його зміна у відповідних смугах частот, призводить до такої зміни інформативних показників АВ, яка більша від похибки визначення самого інформативного показника в даній смузі. У результаті такої оцінки факторів встановлено, що значущими є такі фактори: швидкість різання, глибина різання, подача, передній кут, головний кут у плані, марка інструментального та оброблювального матеріалів, а також жорсткість інструменту.

Слід зазначити, що при величинах фаски зношування більше 0,5 – 0,6 мм порушується однозначний зв’язок інформативних показників АВ з величиною фаски зношування (рис.6а, крива E_B), завдяки чому стає неможливим визначення величини фаски зношування тільки за одним інформативним показником. Тому ідентифікування стану різального інструменту необхідно проводити, як мінімум, за двома інформативними показниками - E_B та E_C .

Також встановлено, що при чергуванні періодів циклу різання («різання» - «відпочинок») на початку кожного нового періоду «різання» відбувається істотне відхилення величин інформативних показників від значень, що мали місце наприкінці попереднього циклу (рис. 7). Ці збурювання зникають через 20-30 секунд після початку періоду «різання» і тому при його малій тривалості ідентифікувати величину фаски зношування стає неможливим. Однак тільки при тривалих періодах «різан-

Рис. 6. Вплив шляху різання на показники АВ (а) та фаску зношування різального інструменту (б). (сталь 38ХНЗМФА, пластина ТН20 с $\varphi=45^\circ$ при режимах $t=0,5\text{мм}$, $v=321\text{ м/хв}$, $n=400\text{об/хв}$)

ня» (коли шлях різання стає порівнянним зі шляхом, коли зношування інструменту досягає відповідного критерію (рис. 6а)) стає можливим визначення величини фаски зношування.

При великій кількості малих періодів «різання» можливе ідентифікування відмови РІ за працездатністю, оскільки зі збільшенням зношування змінюються навіть початкові значення інформативних показників АВ. Внаслідок цього часова картина зберігається і може бути використана для прогнозування відмови РІ.

Четвертий розділ присвячено проектуванню та оптимізації архітектури НМ. За підсистему прийняття рішення запропоновано використовувати штучну НМ - алгоритм обчислення значень функцій за заданими аргументами. Мережу утворюють нейрони, з'єднані пошарово один з одним, які перетворюють за допомогою активаційної функції дані, що надходять до них по з'єднаннях, в однину - вихід. Процес обчислень функції перетворення являє собою послідовне пошарове обчислення виходів нейронів.

Для зручності викладу архітектуру НМ прийнято позначати так: [кількість нейронів у вхідному шарі (кількість факторів) - кількість нейронів у першому схованому шарі - кількість нейронів у другому схованому шарі - кількість нейронів у вихідному шарі (кількість показників)]. Наприклад, [5-10-15-1], де 5- кількість нейронів у вхідному, 10 - у першому схованому, 15 - у другому схованому і 1 - у вихідному шарах.

У даній роботі обрана НМ прямого розповсюдження - багатошаровий перцептрон. Для вибору оптимального алгоритму навчання були перевірені 19 різних алгоритмів навчання. Дослідження проводилися на прикладі навчання нейронної мережі [6-10-5-1] лінійною залежністю $y=x$ при $x \in [1...100]$. Розмір навчальної вибірки – 100 точок. При цьому за максимальну кількість епох навчання було взято 100000, а за максимально допустиму похибку $\varepsilon=0,05$. Досліди повторювалися 5 разів та визначався середній час навчання. Нейронна мережа вважалась навченою, якщо вона за взяту кількість епох навчання досягла похибки навчання не більше тієї, яка була взята на всій навчальній вибірці. У результаті проведених досліджень було взято за метод навчання нейронної мережі метод зворотного розповсюдження з імпульсом (BPIMP2).

Вибір кількості нейронів у схованих шарах проводився мінімізацією цільової функції:

$$z = 0,7f_t + 0,3f_q \rightarrow \min ,$$

Рис. 7. Залежність інформативних показників E_v , E_s (а) та зношування різального інструменту (б) від кількості проходів (матеріал – сталь 45, пластина ТН20, $V=122,5\text{м/хв}$, $S=0,15\text{мм/об}$, $t=0,3\text{мм}$, $n=300\text{об/хв}$, $d=130\text{мм}$, довжина проходу $L=270\text{мм}$)

Рис. 8. Вплив кількості нейронів у першому і другому шарах на величину цільової функції при розмірі навчальної вибірки, що дорівнює 300

де f_t - час навчання НМ, а f_q - точність навчання НМ. Параметр $k = 0,7$ показує, що швидкість навчання більше ніж у два рази більш значуща у порівнянні з точністю навчання. Проведені обчислення з випадково сформованою вибіркою розміром 100 точок показали, що оптимальною можна вважати НМ із архітектурою, у якій в першому і другому схованих шарах більше 15 нейронів. Однак при зміні розміру вибірки до 200 і 300 точок (рис. 8) оптимальною стає НМ з архітектурою [6-10-5-1]. Час навчання НМ на ЕОМ (Athlon 1700XP+) становив 441 мс, кількість правильних станів - 100 випадків із 100.

З практики відомо, що умови роботи обладнання та інструментів на кожному робочому місці різні. Застосування НМ для задач діагностики вимагає від неї можливості адаптувати свій накопичений досвід до будь-яких нових умов роботи, наприклад при перенесенні експертної системи із лабораторії до цеху. Доведено, що ця можливість згідно із сформульованою задачею може бути реалізована за допомогою розробленої додаткової процедури - *донавчання* НМ. Як відомо, алгоритм навчання нейронної мережі передбачає формування тільки навчальної вибірки. Однак при подальшому використанні мережі і одержанні нових даних для донавчання НМ необхідно додати нові дані до вже існуючої вибірки і навчити нейронну мережу знову на цій сформованій вибірці. Цей метод є широко розповсюдженим на сьогоднішній день. Разом з тим при поступовому збільшенні розміру вибірки зростають потреби у пам'яті ПОЕМ та збільшується час навчання.

Для зменшення часу навчання та розміру бази даних для збереження навчальної вибірки був спеціально розроблений алгоритм донавчання НМ, що полягає у формуванні навчальної вибірки в опорних точках власно нейронною мережею, додаванні до навчальної вибірки нової точки і повторному навчанні НМ.

Розроблений алгоритм донавчання поданий на рис. 9. При виникненні необхідності у донавчанні стає відомою нова донавчальна точка (блок 2), яка береться правильною. Область визначення (блок 3) за 6 аргументами (V, S, t, d, E_B, E_C) за необхідності розширюється так, щоб донавчальна точка опинилася хоча б на її межах (блок 4). У межах області визначення вибираються опорні точки (блок 5), в яких раніше налаштована НМ прогнозує величину фаски зношування (блок 6). Таким чином формується навчальна вибірка. Після цього відбувається додавання донавчальної точки до сформованої навчальної вибірки (блок 7). Якщо нова точка опиняється в околі будь-якої опорної точки по всіх осях, тобто якщо виконується умова (1), то для збереження умови однозначності відповідна опорна точка виключається із навчальної вибірки. Таким чином, навчальна вибір-

Рис. 9. Алгоритм донавчання нейронної мережі системи діагностики зношування інструменту

ка відображує як нові, так і раніше накопичені НМ знання, задовольняє умову однозначності, охоплює всю область визначення НМ та при тривалому зберіганні займає невелику кількість пам'яті ЕОМ. Далі за сформованою навчальною вибіркою виконується навчання НМ за алгоритмом ВРІМР2 (блок 8). Експертна підсистема з розробленим алгоритмом донавчання вимагає для своєї роботи не більше 100 кБ пам'яті ЕОМ (тому що зберігається тільки інформація про вагові коефіцієнти та області визначення на відміну від алгоритму навчання, коли зберігаються вагові коефіцієнти та навчальна вибірка).

$$|V - V_i| \leq \varepsilon_V \cap |s - s_i| \leq \varepsilon_s \cap |t - t_i| \leq \varepsilon_t \cap |d - d_i| \leq \varepsilon_d \cap |E_B - E_{Bi}| \leq \varepsilon_{E_B} \cap |E_C - E_{Ci}| \leq \varepsilon_{E_C} \quad (1)$$

Робота розробленого алгоритму донавчання ілюструється наступним прикладом. Розглянемо донавчання нейронної мережі з архітектурою [1-10-5-1], лінійною залежністю $y = x$ при $x \in [1 \dots 100]$. Крива 1 (рис. 10) побудована за даними нейронної мережі, навченої за вибіркою із 100 точок. Після виконання донавчання за вибіркою з $K = 2$ опорними точками (А і В) одержуємо криву 2, що істотно відрізняється від кривої 1. Повторне донавчання нейронної мережі точкою С виконаємо за навчальною вибіркою з кількістю опорних точок $K = 6$. Однак отримана крива 3 все ще збігається з кривою 2 практично в усій області визначення. Виняток становить окіл точки С. Наступне донавчання нейронної мережі точкою D, що перебуває за областю визначення нейронної мережі, виконаємо при тій самій кількості опорних точок. Видно, що отримана крива 4 добре збігається із кривою 2 по всій області визначення нейронної мережі, крім ділянки BD, де крива 4 наближається до кривої 1. В околі точки С крива 4 розміщена ближче до кривої 2, ніж до кривої 1. Наступний цикл донавчання нейронної мережі точкою E, що збігається з опорною точкою, виконаємо за навчальною вибіркою з кількістю опорних точок $K = 7$ і розширеною областю визначення $x \in [1 \dots 140]$. Видно, що отримана крива 5 на ділянках AE й BD має добре наближення до кривої 1. На всіх інших ділянках крива 5 наближається до кривої 2, отриманої при першому циклі донавчання. На даному прикладі можна помітити, що донавчання нейронної мережі правильними даними наближає результати розрахунку НМ до правильного розв'язання лише в околі знову доданої точки. Якщо донавчальна точка не замінює опорної точки, то нейронна мережа «забуває» внесені виправлення вже на наступному циклі донавчання. Разом з тим у випадку заміщення опорної точки донавчальною точкою нейронна мережа продовжує пам'ятати внесені зміни і дає досить правильні результати навіть у широкому околі цієї опорної точки.

Для збереження нейронною мережею знань і реалізації малого часу донавчання необхідно оптимізувати розміщення й кількість опорних точок в області визначення. Для визначення кількості опорних

Рис. 10. Ілюстрація алгоритму донавчання

Рис. 11. Вплив кількості опорних точок на похибку збереження знань

точок був проведений експеримент з донавчання нейронної мережі [1-10-5-1] лінійною залежністю $y=x$ при $x \in [1 \dots 100]$, для кількості опорних точок $K=1 \dots 10$, в ході якого визначалася похибка збереження знань при першому Δu_{21} та другому Δu_{32} донавчаннях. У ході проведення дослідів було встановлено, що кількість опорних точок повинна бути не менше $K=4$ (рис. 11).

Перевірка розробленого алгоритму здійснювалася на прикладі обробки сталі 40X різцем зі змінною непереточуваною пластиною ТН20 при режимах $V=350\text{м/хв}$, $t = 0.5\text{мм}$, $d = 220\text{мм}$, $S \in [0,1;0,5]\text{мм/об}$. Нейронна мережа спочатку навчена при подачах 0,1 та 0,3 мм/об. Потім прогнозувала величину стійкості різця менше - від дійсної стійкості на 50% і більше. Донавчання нейронної мережі за розробленим алгоритмом в точках $S=0,2\text{мм/об}$, $S=0,3\text{мм/об}$ і $S=0,5\text{мм/об}$ привело до зменшення помилки оцінки стійкості різця до 3,1 %.

У **п'ятому розділі** розглянуті шляхи підвищення ефективності процесу точіння за рахунок застосування розробленої системи діагностики (СД) стану інструменту за АВ, а також подані результати її практичного використання.

Підвищення ефективності процесу точіння за рахунок застосування розробленої СД можна одержати шляхом ідентифікування критичного зношування різців та його поточного стану. При ідентифікуванні критичного зношування РІ можна знизити витрати, пов'язані із запобіганням поломці РІ та вузлів верстатів, і появу невиправного браку заготовки, а також за рахунок зменшення штучного часу. Ідентифікування поточного стану РІ дозволяє підвищити точність обробки, а також запобігти появі бракованих деталей.

Як відомо, при обробці внаслідок зношування по задній поверхні відбувається зміна поточного положення різальної кромки інструменту відносно осі оброблюваної деталі від прийнятого на початок обробки (розмірне зношування). Врахування цього є особливо важливим при чистовій обробці, оскільки при цьому може суттєво збільшуватися розмір обробленої поверхні. Вважається, якщо розмірне зношування буде більше половини допуску на розмір, то може формуватися виправний брак. Виправити його можна або шляхом заміни інструменту, або шляхом введення корекції положення інструменту. У традиційно прийнятих оброблюваних системах як у першому, так і у другому випадках необхідне переривання обробки, для того щоб зробити, як мінімум, ще один прохід тією самою поверхнею для видалення зайвого шару матеріалу та зменшення її розміру. Отже, збільшуються основний і допоміжний час та, як наслідок, собівартість виготовлення деталі. У деяких випадках, наприклад, при обробці таких поверхонь, коли різець повинен проходити шлях, значно більший за шлях, який установлюється відповідним критерієм зношування, переривання обробки такої поверхні може бути взагалі неприпустимим. У цьому випадку треба, як правило, значно зменшувати швидкість різання, що супроводжується відповідним зменшенням продуктивності.

Застосування розробленої СД на верстаті із ЧПК дозволяє в автоматичному режимі вводити коригування поточного положення інструменту під час роботи у відповідності до ідентифікування системою ступеня зношування інструменту. Як було показано у третьому розділі, цей ефект досягається лише при точінні „довгомірних” поверхонь. При точінні ж „коротких” поверхонь можна домогтися ефективності при застосуванні розробленої СД за рахунок зниження витрат, пов'язаних з поломкою інструменту (можна ідентифікувати стан інструменту, який відповідає досягнутому ним критерію зношування), і всіх наслідків, що випливають з цього.

За приклад застосування розробленої СД подано розрахунок ефекту від впровадження розробленої СД стану інструменту на ВАТ „Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе” на операції «Токарна з ЧПК» при обробці поверхні деталі типу „Вал” із сталі Х17Н2 з такими розмірами: діаметр оброблюваної поверхні 59мм, довжина 557мм. Показано, що при використанні даної системи діагностики стану інструменту штучний час на цій операції зменшується на 30% (рис. 12).

Проведене тестування розробленої системи діагностики за підручником як в умовах лабораторії, так і в умовах виробництва довело свою працездатність. Кількість правильного ідентифікування стану інструменту склала 90%.

Також було проведене тестування системи діагностики в умовах: оброблюваний матеріал – сталь 38ХН3МФА, інструментальний матеріал - ТН20, $V=147\text{м/хв}$, $S=0,5\text{мм/об}$, $t=0,5\text{мм}$, $n=240\text{об/хв}$. Була сформована навчальна вибірка у процесі роботи програми в автоматичному режимі, на якій була навчена НМ. Було виконане тестування СД в процесі роботи також в автоматичному режимі (рис. 13). Максимальна розбіжність між ідентифікованою величиною фаски зношування інструменту та її експериментальним значенням складає не більше ніж 0,07мм.

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу вітчизняних та зарубіжних публікацій, присвячених сучасним експертним системам та сучасному стану проблеми діагностики стану інструменту, встановлено, що одним із методів підвищення ефективності точіння є безперервна діагностика зношування різального інструменту.

2. Розроблено методологічні основи діагностики зношування інструменту за акустичним випромінюванням. Система діагностики складається з підсистеми реєстрації сигналу акустичного випромінювання, підсистеми попередньої обробки, а також підсистеми прийняття рішень - експертної підсистеми. Методологія дозволяє виконання в режимі реального часу реєстрацію сигналу акустичного випромінювання мікрофоном, оцифрування сигналу, побудову його спектра, визначення інформативних показників спектра, а також обчислювати всі показники спектра за рівнянням регресії, що описує його в заданій смузі частот, округляти зна-

Рис. 12. Зниження складових допоміжного часу при точінні деталі типу „Вал”

Рис. 13. Приклад роботи розробленої СД

чення цих показників з точністю довірчого інтервалу їх визначення та прийняття рішення про стан інструменту за допомогою заздалегідь навченої нейронної мережі і пророкування його відмови.

3. Для задачі діагностики зношування інструменту розроблені методики прийняття, перетворення, реєстрації та обробки акустичного випромінювання і визначення показників його спектра (потужності акустичного випромінювання, частоти і амплітуди піка акустичного випромінювання). Для підвищення точності результату запропоновано використовувати вузьконаправлений мікрофон типу МКЕ-3, оптимізувати його положення у просторі відносно інструменту і заготовки, обчислювати інформативні показники за спектром акустичного випромінювання, попередньо описаним гладкою кривою, округляти їх значення до величини довірчого інтервалу їх визначення, застосовувати до них лінійний фільтр у часі.

4. Встановлено, що процес точіння супроводжується акустичним випромінюванням в інформативних з погляду його діагностики смугах частот: від 2,4кГц до 4,9кГц і від 5кГц до 15кГц. Доведено, що положення цих інформативних смуг спектра акустичного випромінювання не залежить від застосовуваного токарного верстата, різця, пластини, елементів режиму різання.

5. Експериментально доведено, що із збільшенням фаски зношування на задній поверхні різця значущо змінюється потужність акустичного випромінювання в інформативних смугах його спектра. Встановлено, що елементи режиму різання, геометрія різця, жорсткість різця, марки оброблюваного та інструментального матеріалів змінюють зазначену залежність за величиною, але не змінюють її характер.

6. Доведена можливість використання штучної нейронної мережі для опису емпіричної залежності впливу фаски зношування на задній поверхні інструменту на потужність сигналу акустичного випромінювання в інформативних смугах його спектра. Науково обґрунтований вибір оптимальної кількості аргументів мережі та оптимізована її структура за мінімумом цільової функції. Вперше запропоновано алгоритм донавчання нейронної мережі, що дозволило використовувати системою діагностики не більше 100кБ пам'яті ЕОМ для збереження даних про область визначення та коефіцієнтів мережі. Виконана перевірка його працездатності.

7. Експериментально доведена можливість оцінки величини фаски зношування різального інструменту при точінні сталі методом акустичного випромінювання з похибкою не більше 0,075мм. Доведено, що за допомогою розроблених алгоритмів можна суттєво зменшити вплив випадкових похибок, викликаних випадковими шумами, які можуть виникати в умовах виробничої експлуатації системи діагностики, наприклад, включення (виключення) сусіднього верстата, ключ, який впав, та інше.

8. Працездатність нейронної мережі системи діагностики стану інструменту (зношений – не зношений) доведена тестуванням за підручником, як у лабораторних умовах, так і в умовах виробництва. Кількість правильних передбачень стану інструменту в процесі різання склала 90%.

9. Показано економічну ефективність застосування розробленої системи безперервної діагностики зношування різального інструменту на конкретній операції „Токарна із ЧПК” обробки деталі „Вал” на ВАТ „СМНВО ім. М.В.Фрунзе”. Ефект одержано за рахунок зменшення штучно-

калькуляційного часу на 30%, зниження браку та більш повного використання ресурсу інструменту на виробничих режимах різання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Залога В.А., Зинченко Р.А., Криворучко Д.В. Перспективы применения искусственного интеллекта, для решения задач механической обработки: литературный обзор//Резание и инструмент в технологических системах. –Х:НТУ „ХПИ”, 2003. –Вып.64. –С.103-109.

Здобувачем зроблено літературний огляд та доказана можливість і перспективи застосування штучного інтелекту, а саме штучних нейронних мереж, для вирішення задач машинобудування, у тому числі і для вирішення задач діагностики стану різального інструменту.

2. Зинченко Р.Н., Криворучко Д.В. Нейросети в теории резания: современные достижения//Високі технології у машинобудуванні. -Х.:НТУ „ХПИ”, 2004. -Вып. 2. -С. 85- 90.

Здобувачем запропонована методика застосування експертних систем на основі штучних нейронних мереж для задач обробки різанням та розроблена структура схеми управління процесом на верстатах.

3. Криворучко Д. В., Зинченко Р. Н., Залога В. А. Методика регистрации и обработки сигнала акустического излучения процесса токарной обработки//Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. -Краматорск: ДГМА, 2004. -Вып. 16. -С. 197- 204.

Здобувачем запропоновано систему реєстрації та обробки сигналу акустичного випромінювання з використанням направленої мікрофона для реєстрації сигналу акустичного випромінювання.

4. Залога В.А., Криворучко Д.В., Зинченко Р.Н. Методология мониторинга инструмента при точении по акустическому излучению//Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. –Краматорск:ДГМА, 2005. –Вып.17. –С. 273-281.

Здобувачем розроблено методологію моніторингу стану інструмента за акустичним випромінюванням.

5. Коротун Н. Н., Криворучко Д. В., Зинченко Р. Н., Шаповал Ю. В. Система технологического диагностирования инструмента//Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета. -Сумы: Изд-во СумГУ, 2004. -Вып. 4. -С. 79- 80.

Здобувачем запропонована система діагностування інструменту за акустичним випромінюванням та доведені її переваги перед відомими методами.

6. Залога В. А., Зинченко Р. Н. Нейросети и применение их в теории резания//Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета. -Сумы: Изд-во СумГУ, 2002. -Вып. 4. -С. 58- 60.

Здобувачем доведена за літературним оглядом можливість застосування нейронних мереж в теорії різання. Розглянуто, які використовувалися алгоритми навчання, моделі нейрона.

7. Залога В. А., Криворучко Д. В., Зинченко Р. Н. Перспективы применения искусственного интеллекта для решения задач механической обработки//Тези доповідей Другої Всеукраїнської

науково-технічної конференції "Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво". -Суми: СумДУ, 2002. -С. 37- 40.

Здобувачем розглянуті перспективи застосування штучного інтелекту для вирішення задач механічної обробки та розглянуті основні переваги і недоліки методу нейронних мереж для розв'язання задач з технології машинобудування.

8. Криворучко Д. В., Шаповал Ю. В., Зинченко Р. Н. Выбор информативных полос частот и диагностических показателей при мониторинге состояния режущего инструмента с помощью акустического излучения//Тези доповідей Четвертої Всеукраїнської науково-технічної конференції "Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво". -Київ: НТУУ "КПІ", 2004. -С. 25- 26.

Здобувачем запропоновано методику вибору інформативних смуг частот та вибору інформативних показників для моніторингу стану різального інструменту в процесі обробки.

9. Криворучко Д. В., Зинченко Р. Н. Мониторинг за состоянием режущего инструмента в процессе механической обработки//Матеріали 2-ї міжнародної науково-практичної конференції "Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку" (1-3 червня 2004 року). -Краматорськ: ДДМА, 2004. -С. 75.

Здобувачем запропоновано спосіб моніторингу стану різального інструменту за допомогою акустичного випромінювання та розроблена структура системи моніторингу.

10. Зинченко Р. Н., Марченко М. А. Экономические показатели процесса точения с непрерывной идентификацией износа инструмента//Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету. -Суми: Вид-во СумДУ, 2005. -Вип. 7. -С. 157- 158.

Здобувачем вибрані критерії обробки, за допомогою яких можна отримати економічну ефективність при безперервному ідентифікуванні стану різального інструменту в процесі точіння.

11. Зинченко Р. Н., Сунцов М. А. Методы контроля состояния инструмента: литературный обзор//Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету. -Суми: Вид-во СумДУ, 2005. -Вип. 7. -С. 160.

Здобувачем зроблено літературний огляд за існуючими методами контролю стану різального інструменту.

АНОТАЦІЯ

Зінченко Р.М. Підвищення ефективності точіння за рахунок діагностики зношування інструменту по акустичному випромінюванню. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. - Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2005.

У дисертації розроблена система діагностики зношування різця за допомогою акустичного випромінювання (АВ). Система діагностики складається з таких блоків: блока реєстрації сигналу АВ, блока попередньої обробки сигналу АВ та експертної системи. Як експертну систему запропоновано використовувати штучні нейронні мережі.

У блоці реєстрації сигналу відбувається перетворення коливань повітря в коливання електричного сигналу за допомогою направленої мікрофона, який розміщений над зоною різання на відстані 35-40мм, та подальша його обробка в аналого-цифровому перетворювачі в цифровий вигляд і запис на ЕОМ. Далі він перетворюється за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є в блоці попередньої обробки в спектр сигналу АВ, за яким визначаються інформативні показники та їх потужність, а також частота в інформативних смугах частот. Потім інформативні показники разом з умовами обробки подаються на вхід експертної системи, яка і формує інформацію про ступінь зношеності інструменту по задній поверхні.

Розроблено метод донавчання нейронної мережі, який дозволяє підвищити ефективність роботи нейронної мережі. Він дозволяє не зберігати навчальну вибірку, а відбудовувати її з нейронної мережі за опорними точками.

Практичними випробуваннями у реальному виробництві доведена ефективність розробленої системи діагностики та її спроможність ідентифікувати ступінь зношування різця.

Ключові слова: точіння, різальний інструмент, зношування інструменту по задній поверхні, система діагностики, нейронна мережа.

АННОТАЦИЯ

Зинченко Р.Н. Повышение эффективности точения за счет диагностики износа инструмента по акустическому излучению. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. - Национальный технический университет „Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена повышению эффективности процесса точения за счет идентификации износа по акустическому излучению (АИ), т.е. в полосе частот 20–20000Гц. Актуальность исследований обусловлена тем, что метод позволяет вести бесконтактную диагностику процесса без модернизации узлов станка.

Установлено, что для увеличения ресурса инструмента, уменьшения брака и сокращения вспомогательного времени необходимо иметь информацию о текущем состоянии режущего инструмента (степени его износа). Решение этой задачи может быть выполнено посредством диагностики износа режущего инструмента в режиме реального времени.

Среди возможных методов диагностики выбран метод диагностики посредством АИ.

В работе для случая токарной обработки сталей твердосплавным инструментом разработана система диагностики износа режущего инструмента по сигналу АИ от зоны резания. Основными блоками системы диагностики являются: блок регистрации АИ, блок предварительной обработки сигнала АИ, экспертная подсистема принятия решения.

Установлено, что в процессе точения сталей имеет место АИ в двух информативных с точки зрения диагностики состояния инструмента полосах частот: от 2400Гц до 4900Гц и от 5000Гц до 15200Гц. Доказано, что положение этих информативных полос спектра АИ не зависит от применяемого токарного станка, резца, пластины, элементов режима резания.

Разработана методика регистрации АИ от процесса точения, обработки сигнала АИ и определения показателей спектра АИ (мощность АИ, частота пиков АИ, амплитуды пиков АИ) с минимизацией уровня неинформативных шумов. Для уменьшения чувствительности разработанной системы к посторонним шумам и случайным возмущениям предложено использовать направленный микрофон, оптимально сориентированный в пространстве Т-системы, а также вычислять все показатели спектра по уравнению регрессии, описывающему его в заданной полосе частот, округлять значения этих показателей с точностью доверительного интервала их определения, а также применять линейный фильтр значений показателей во времени.

Экспериментально доказано, что мощность АИ в информативных полосах его спектра значительно изменяется при увеличении фаски износа резца по задней поверхности. Установлено, что элементы режима резания, геометрия резца, вылет резца, марка обрабатываемого материала и инструментального материала изменяют указанную зависимость по величине, но не изменяют ее характер. Показано, что чувствительность разработанного метода тем больше, чем более нагружен резец.

Показано, что при малом периоде «резание» - части цикла «резание - отдых», т.е. при обработке коротких поверхностей, предсказать величину фаски износа становится сложно. Однако для длительных периодов «резание» становится возможным надежное прогнозирование величины фаски износа, поскольку процесс излучения АИ устанавливается и «возвращается» к общей зависимости. При большом количестве малых периодов «резание» возможно также предсказание отказа инструмента по заданному критерию его работоспособности, поскольку с увеличением износа изменяются и начальные значения информативных показателей АИ, вследствие чего «временная картина» сохраняется и это может быть использовано для прогнозирования отказа инструмента.

Следует отметить, что при величинах износа свыше 0.5 - 0.6 мм нарушается четкая связь информативных показателей АИ и величины износа. Поэтому для идентификации состояния инструмента необходимо использовать значения, как минимум, двух информативных показателей спектра АИ - мощностей сигнала АИ в полосах В и С.

В качестве системы принятия решений предложено использовать нейронную сеть (НС). Доказана возможность применения искусственной нейронной сети для описания эмпирической зависимости «мощность АИ – величина фаски износа». Достоверно оценить фаску износа инструмента можно с точностью не меньше 0,075мм. Выбраны элементы архитектуры нейронной сети: тип сети и модель нейрона. Разработан алгоритм обучения. Научно обоснован выбор 6 аргументов сети и выполнена оптимизация ее структуры по минимуму целевой функции: [6-10-5-1]. Известно, что для обучения нейронной сети необходима обучающая выборка, а для последующего обучения НС нужны как новые данные, так и те, на которых нейронная сеть была впервые обучена. При дальнейшем увеличении точек, по которым необходимо обучить нейронную сеть, размер вычислительной информации, которую необходимо хранить в памяти ЭВМ,

будет значительно возрастать. Для решения задачи уменьшения необходимого объема памяти и соответственно времени на выполнение вычислительных процедур впервые предложен алгоритм дообучения нейронной сети в процессе ее производственной эксплуатации. По сравнению с известными разработанная экспертная система требует для своей работы не более 100 кБ памяти ЭВМ вместо 1МБ, поскольку хранятся только данные об области определения сети и ее коэффициенты. Алгоритм основан на восстановлении данных из памяти нейронной сети и последующем обучении нейронной сети на этих данных.

Проведенная экспериментальная проверка показала возможность определения величины факки износа РИ при точении стали методом АИ с погрешностью не более 10%.

Рассмотрены пути повышения эффективности за счет применения данной системы диагностики (СД) по АИ, а также представлены результаты ее практического использования.

Повышение эффективности процесса точения за счет применения разработанной СД можно получить за счет таких источников, как:

- прогнозирование критического износа резцов;
- повышение точности длинномерных поверхностей за счет непрерывной коррекции положения резца, с учетом размерного износа, относительно оси обрабатываемой детали.

Решив задачу прогнозирования критического износа резцов, можно добиться снижения затрат в результате: а) предотвращения ущерба, связанного с поломкой инструмента и узлов станка; б) предотвращения ущерба, связанного с возникновением брака; в) своевременной смены инструмента и сокращения штучного времени за счет уменьшения количества остановок оборудования для контроля инструмента. Применение разработанной системы диагностики опробовано в производственных условиях. На конкретной операции технологического процесса „Токарная с ЧПУ” при обработке поверхности с размерами диаметром 59мм и длиной 557мм детали «Вал» из стали Х17Н2 на Сумском АО СМНПО им. Фрунзе достигнуто снижение штучного времени на 30% за счет непрерывной идентификации текущего состояния инструмента и ввода коррекции положения инструмента в режиме реального времени.

Ключевые слова: точение, режущий инструмент, износ инструмента на задней поверхности, система диагностики, нейронная сеть.

SUMMARY

Zinchenko R.N. Increase of efficiency turning operations due to tool wear diagnostics on acoustic emission – Manuscript.

Thesis for candidate's degree in technical sciences by speciality 05.03.01 – machining operations, machines and tools. - National technical university „Kharkov polytechnical institute”, Kharkov, 2005.

In the dissertation the system of diagnostics of a condition of the tool, on acoustic emission (AE) is developed. The system of diagnostics will consist of such blocks: the block of registration of signal AE, the block of preliminary processing of signal AE, and expert system. As expert system it is offered to use artificial neural networks.

The block of registration of a signal, makes transformation of fluctuations of density of air to fluctuations of an electric signal (by means of the directed microphone which is above a zone of processing on distance 35-40mm) which will be transformed in analog-digital converter to a digital kind and enters the name on the COMPUTER. Further the signal will be transformed on algorithm of Furrier fast transformation, in the block of preliminary processing, to spectrum AE on which informative parameters are defined, capacity and frequency, in informative strips of frequencies. Then informative parameters together with conditions of processing, move on an input of expert system which forms the answer about a degree of deterioration of the tool.

The new learning method of a neural network which allows to raise an overall performance of a neural network is developed. It allows to not keep training sample. And to restore it from memory of a neural network on reference points.

Practical test has proved a system effectiveness of diagnostics, and its opportunity to determine a degree of deterioration of the tool.

Keywords: cutting, cutting tool, tool flank wear, system of diagnostics, neural network.

Підписано до друку 01.09.2005.
Наклад 120 прим.
Формат паперу 60x86/16.

Обл. – вид. арк. 1.1.
Ум. друк. арк. 1,0.
Замовл. №____.

Вид-во СумДУ. Р.с.№34 від 11.04.2000р.
40007, м.Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.
Друкарня СумДУ, 40007, м.Суми, вул. Римського-Корсакова,2.