

на правах рукопису

РЗ

КОКАРОВЦЕВ ВАЛЕРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.941

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ
МЕТАЛООБРОБКИ НА БАЗІ ВІБРОАКУСТИЧНОГО
СИГНАЛУ

Спеціальність 05.03.01- Процеси меха-
нічної та фізико-технічної обробки
верстати та інструмент

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

48 29.34
Роботом в рукопис.

Робота виконана у Київському політехнічному інституті на кафедрі технології приладобудування приладобудівного факультету.

Науковий керівник:	кандидат технічних наук, професор Румбешта В.О.
Науковий консультант:	доктор технічних наук, професор Остаф'єв В.О.
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук, професор Розенберг О.О. кандидат технічних наук, доцент Якимчук Г.К.
Провідне підприємство:	Київський завод автома- тики ім. Г.І. Петровсь- кого

Захист відбудеться "21" березня 1994 року о "15" годині на засіданні спеціалізованої Ради К 068.14.15 по при-
судженню вченого ступеню кандидата технічних наук при Ки-
ївському політехнічному інституті. Корп. 19, ауд. 340.

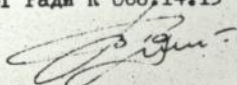
Адреса інституту: 252056. Київ. Проспект Перемоги
37.КПІ.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського
політехнічного інституту.

Автореферат був розосланий " " лютого 1994 р.

Відгуки на автореферат дисертації у двох примірниках,
затвержені гербовою печаткою установи, просимо направля-
ти в адресу Київського політехнічного інституту вченому
секретарю.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради К 068.14.15
к.т.н., доц.


Романенко В.В.

А Н О Т А Ц І Я

Метов дисертаційної роботи є комплексне дослідження параметрів віброакустичного сигналу, який генерується зоною різання при металообробці, та вивчення їх кореляції з параметрами технологічної оброблюючої системи (ТОС), з технологічними параметрами, з станом процесу та інструменту. Основною метою цих досліджень є побудова ефективних методів, математичних моделей та алгоритмів контролю та керування процесом металообробки, а також розробка окремих принципів побудови електронних аналого-чисельних систем контролю за його станом (зносом інструменту, його ресурсом, аварійним станом ітд) на базі віброакустичного сигналу.

А В Т О Р З А Х И Щ А Е

1. Сучасний аналого-чисельний метод комплексного дослідження та вивчення параметрів віброакустичного сигналу, їх зв'язку з параметрами ТОС, технологічними параметрами та станом інструменту та процесу металообробки: зносом та ресурсом роботи, наявністю автоколивань, аварійним станом ітд.
2. Вивчення інформативної цінності та чутливості параметрів відгуку ТОС на віброакустичний сигнал, замірний за допомогою пьезоакселерометрів, які є інваріантними до зміни параметрів ТОС та технологічних параметрів процесу.
3. Розробку нових ефективних математичних моделей та алгоритмів робочого контролю та керування процесом металообробки на базі найбільш інформативних параметрів віброакустичного сигналу.
4. Розробку методу точного визначення розмірного зносу інструменту та його автоматичного розмірного налагодження на базі віброакустичного сигналу в умовах ГВМ та ГВС.

5. Розробку деяких принципів побудови програмно апаратних систем контролю та керування процесом різання металів на базі віброакустичного сигналу в умовах ГВМ та ГВС.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність:

Сьогодні, всупереч використанню методів контролю та керування металообробкою на базі сил, моментів, потужності головного приводу верстата та ін., все більш застосовуються методи віброакустичного сигналу, або методи так званої акустичної емісії, які є результатом динамічних процесів при різанні металів. бо динаміка містить в собі 90% потрібної інформації.

Віброакустичний сигнал є дуже інформативним та зручним для використання та більш чутливим до змін технологічних параметрів процесу металообробки.

Незважаючи на те, що вивчення методів акустичної емісії, або віброакустичного сигналу триває вже десятки років, актуальність його все збільшується. З одного боку, це пояснюється тим, що інші методи не в змозі зробити те, що можна зробити за допомогою методів віброакустичної емісії, а з другого боку, тим, що ця проблема є дуже складною та потребує комплексного вивчення.

Особливу важність мають такі параметри та характеристики методу акустичної емісії, які інваріантні до змін динамічних параметрів ТОС та технологічних параметрів процесу металообробки.

Загальна методика дослідів:

Віброакустика зони різання є складовою частиною "Динаміки машин та приладів", однак, вона має свою специфіку та є більш складною в порівнянні з попередньої дисципліною.

Віброакустичний сигнал зони різання має дуже широкі частотний та динамічний діапазони: від одиниць герц до мегагерц та зміну рівня сигналу на десятки та сотні децибелів (в сотні разів). Загальна методика дослідів, яка застосовувалася в цій роботі передбачає вивчення сигналу як в вузьких частотних смугах так і широкополосного сигналу. При дослідженнях вивчалися як спектральні характеристики випадкового сигналу, так і спектрально-термінові картини (або ряди) рівню сигналу в частотних смугах.

Параметри цих рядів являють собою модуляційні параметри віброакустичного сигналу, які є дуже інформативними та інваріантним до змін параметрів ТОС та технологічних параметрів процесу металообробки. Спектральні характеристики модуляційних параметрів лежать в діапазоні інфразвуку, тому комплексне вивчення параметрів та характеристик можна робити тільки за допомогою аналого-чисельних методів з застосуванням методів чисельної фільтрації та термінових рядів. Для комплексних досліджень використовувалася як стандартне, так і спеціально розроблене механічне та електронне обладнання. Аналогові сигнали по кільком каналам записувались на магнітну стрічку магнітографа Н-048 в діапазоні 0-20 кгц., а потім інформація оброблювалася за допомогою аналого-чисельних методів за допомогою спеціальних приладів та ЭОМ.

Паралельно з цим фіксувались та вивчалися технологічні параметри, параметри ТОС та стану інструменту та процесу. Окремо розглядалось питання визначення розмірного зносу інструменту та його автоматичного розмірного налагодження. Для цього використовувались спеціальний оригінальний електронний блок та спеціальне математичне забезпечення.

Наукова новизна:

При виконанні цієї роботи були вперше вивчені та застосовані для контролю процесу різання металів найбільш інформативні та зручні для обробки як стаціонарні так і переносні параметри модуляції (флуктуації) рівню віброакустичного сигналу в частотних смугах, які є інваріантними до зміни параметрів ТОС та процесу металообробки.

Їх застосування дає змогу більш надійно контролювати знос інструменту, аварійний стан, наявність автоколивань та якість обробки поверхні. Також вперше віброакустичний сигнал був застосований для визначення розмірного зносу та розмірного налагодження інструменту в умовах ГВМ та ГВС.

Практична цінність:

Практичну цінність дисертаційної роботи становлять: нові моделі та алгоритми робочого контролю та керування процесом металообробки, які базуються на нових методах віброакустичного сигналу, нові оригінальні принципи побудови ефективних аналого-цифрових систем контролю та керування процесом різання металів, принципи побудови нових електронних приладів контролю, які захищені 15 авторськими свідоцтвами СРСР.

Реалізація роботи:

Результати дисертаційної роботи впроваджені на НВО "Техніка" м. Володимир, на Київському заводі автоматики ім. Г.І.Петровського, на ВО "Граніт" м. Вишгород Київської області,

Апробація роботи:

Основні положення роботи докладалися на чотирьох всеукраїнських, шести республіканських, а також на одній зарубіжній

науково-технічних конференціях та симпозіумах.

Публікації:

На тему дисертації опубліковано 60 печатних робіт, у тому числі, 15 авторських свідчень СРСР.

Структура та обсяг роботи:

Дисертаційна робота складається: з вступу, п'яти глав, загальних висновків, двох додатків та списку використаних джерел 178 найменувань. Обсяг роботи: 139 сторінок м. д. тексту, 64 малюнків, 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

Основною аналізу віброакустичного сигналу зони різання є вивчення спектральних, термінових та спектрально-термінових характеристик та параметрів відгуку ТОС на віброакустичний сигнал у частотних смугах, які відповідають тим чи іншим формам коливань ТОС. При цьому вивчається кореляція цих параметрів з параметрами стану інструменту (зносом, ресурсом його роботи та ін.), з станом процесу та з параметрами ТОС, які впливають на загальну картину процесу.

Але, незважаючи на те, що такі дослідження ведуться вже багато років, ця проблема вирішена тільки частково.

Для її вирішення потрібен комплексний підхід при дослідженнях та пошук таких параметрів, які були б інваріантні до змін режимів різання та параметрів ТОС.

Термінова поведінка спектральних параметрів віброакустичного сигналу є дуже складною та неоднозначною, а динамічний діапазон зміни сигналу, який сягає 60 децибелів, не дозволяє будувати прості, або навіть просто розумні системи контролю та керування процесом металообробки.

Тому потрібен пошук таких параметрів, які були б присутні в усіх частинах спектру та мали невеликий діапазон зміни рівня сигналу. Потрібен розумний компроміс між аналоговою обробкою сигналу та чисельною обробкою за допомогою ЕОМ. Постає також питання: як поліпшити точність вимірювань розмірного зносу інструменту, бо перелік зносу інструменту по задній поверхні в розмірний дає великі похибки. Усе це й зумовило появу нової дисертаційної роботи та тих положень, які захищає автор.

Друга глава дисертації присвячена методиці комплексних досліджень віброакустичного сигналу, теоретичним та експериментальним методам вивчення його характеристик, розробці спеціальних приладів та методів досліджень.

Поперш за усе, віброакустичний сигнал замірявся за допомогою пьезоакселерометрів типу Д-ІЗ, Д-І4 (КД), які закріплювалися, або на державці в верикальному, радіальному та осевому напрямках, або в одному з цих напрямків на супорті або на столі верстата, безпосередньо біля зони різання.

Разом з цим, замірялись та фіксувались такі параметри: сили різання (у трьох напрямках), потужність головного приводу верстата, ЕДС-різання, чистоту обробленої поверхні, знос інструменту, термії його роботи до певного зносу (стікїсть), аварійний стан та наявність автоколивань та інші параметри.

Дослідження провадились за допомогою спеціального аналого-чисельного комплексу на верстатах з ЧПК, обладнаних як спеціальними механічними пристроями, так і стандартним обладнанням: динамометром УДМ-600, пьезоакселерометрами Д-ІЗ, Д-І4, КД-35 та ін., стандартними підсилюва-

чами та аналізаторами спектру. Були розроблені та виготовлені спеціальні механічні пристрої та трьохкомпонентний динамометр для вимірювання швидкозмінної частини сил, а також спеціальний електронний блок для фіксації координат торкання інструменту та деталі-БКПР, захищений авторським свідоцтвом.

Спектральні та термінові реалізації сигналу в діапазоні 20 гц. + 500 кгц. фіксувалися за допомогою фотографування сигналу з екрану аналізатора спектру С4-53 спеціальною фотокамерою ФОР-2. Запис сигналу для подальшого його аналізу та вивчення здійснювався за допомогою І2 каналного магнітографа Н-048, в діапазоні запису 0 гц. + 20 кгц, а також за допомогою самописців рівня сигналу Н-110 та Н-328 з перетворенням його у чисельну форму за допомогою спеціального електронно-механічного приладу Н-0014.

Основою для експериментальних досліджень віброакустичного сигналу та моделювання математичних моделей є аналого-чисельний комплекс: фільтри в третьоктавних смугах з крейтом КАМАК та ЕОМ СМ-3, який перетворював та обробляв аналоговий сигнал згідно методів спектрального аналізу випадкового сигналу.

Ще однією розробкою був комплекс, в якому верстат з ЧПК поступово (безперервно) змінював подачу- S , при цьому фіксувалися та оброблялися усі перелічені вище параметри: сили, ЭДС-різання, потужність головного приводу, параметри віброакустичного сигналу ітд.

Для вивчення питання точного вимірювання розмірного зносу інструменту використовувалися: верстат з ЧПК типу ТПЦУ-125, спеціальне математичне забезпечення та БКПР,

Математична обробка сигналів, перетворених у чисельну

форму велася за допомогою спектрального, термінового та спектрально-термінового аналізу випадкових процесів, структурного аналізу та чисельної фільтрації.

Третя глава роботи присвячена розробці моделей контролю процесу металообробки конструкційних сталей надтвердим змінним інструментом.

Як тільки починається різання на пьезоакселерометрі, закріпленому в тій чи іншій точці ТОС, з'являється напруга $U(t, \lambda_j)$ пропорційна віброприскоренню, яке збуджується віброакустичним сигналом зони різання.

$$G(t, \lambda_j) = U(t, \lambda_j) / \rho$$

$\Delta G(t, \lambda_j)$ - віброприскорення (м/сек², або $g = 9.8$ м/сек²)

ρ - коефіцієнт чутливості пьезоакселерометру:
мв/г, мв сек²/м

t - час різання

λ_j - параметри ТОС, процесу (швидкість, глибина різання, значення подачі, знос інструменту і тд)

Первинна аналогова обробка сигналу здійснюється за допомогою підсилювання цієї напруги, фільтрації сигналу у тій чи іншій частотній смузі, детектування за допомогою, наприклад квадратичного детектору, та, можливо, вторинної низькочастотної фільтрації.

Після цього ми маємо новий сигнал $\tilde{G}(t, \lambda_j)$, кореляцію якого з параметрами процесу ми вивчаємо. Дослідження показали, що цей сигнал має постійну частину (або повільнозмінну) та швидкозмінну модуляційну (флуктуаційну), так звану "змінну" частину сигналу.

Ця модуляційна частина виділялася з загального сигналу за допомогою цифрової (чисельної) фільтрації, усереднювалася та вивчався її зв'язок з параметрами процесу.

Вивчення показало, що змінна частина сигналу є найбільш інформативною та інваріантною до зміни параметрів ТОС та процесу металообробки, має невеликий динамічний діапазон, на її основі можна побудувати найбільш ефективні моделі процесу металообробки. Виділений за допомогою цифрової фільтрації (разностні схеми) модуляційний сигнал вивчався також за методами спектрального аналізу, термінових рядів та спектрально-термінових картин. Його частотний діапазон лежить в області інфразвуку: від сотих долей герц до 25+30 гц. Постійна частина сигналу, яка вивчалась і раніш другими дослідниками є також інформативною, а в купі з модуляційною частиною сигналу дає найбільш досконалі моделі контролю та керування процесом металообробки.

Загальний сигнал у частотній смузі тепер можна представити як адитивний або мультиплікативний випадковий процес:

$$\tilde{G}(t, \lambda_j) = \tilde{G}'(t, \lambda_j) + \tilde{G}''(t, \lambda_j)$$

$$\tilde{G}(t, \lambda_j) = \tilde{G}''(t, \lambda_j) \tilde{Q}(t, \lambda_j)$$

Де $\tilde{G}(t, \lambda_j)$ - загальний сигнал у частотній смузі після аналогової обробки

$\tilde{G}'(t, \lambda_j)$ - постійна (детермінована) частина сигналу

$\tilde{G}''(t, \lambda_j)$ - змінна (випадкова) частина сигналу

$\tilde{Q}(t, \lambda_j)$ - детермінована частина сигналу при мультиплікативному процесі.

Символ \sim означає додаткову обробітку сигналу.

Тепер, по аналогії з радіосигналом, можна ввести коефіцієнт модуляції: відношення змінної частини загального сигналу до постійної:

$$m(t, \lambda_j) = \tilde{G}''(t, \lambda_j) / \tilde{G}'(t, \lambda_j)$$

Він є дуже інформативним та корисним параметром віброакустичного сигналу, на якому будуються моделі контролю металооб-

робки. Одна з таких найпростіших моделей, яка захищена авторським свідоцтвом СРСР, дозволяє контролювати наявність при точінні неприпустимих автоколивань:

$$m(t, \lambda_j) \rightarrow 0$$

За допомогою цього параметру також можна контролювати хід процесу: який вид зносу (нормальний чи критичний) зараз є. При нормальному зносі $m(t, \lambda_j) \approx \cos \omega t$ при критичному рості $m(t, \lambda_j) \rightarrow 1$, наближуючись до одиниці. Цифрова фільтрація здійснювалась циклічно кожні 30 сек різання (це найменший час для однієї реалізації, або виборки) з терміном квантування (при перетворенні сигналу у чисельну форму) від 1/20 до 1/50 сек. Кожному циклу чисельної обробки-виборки (вона триває долі секунди) відповідає на графіку — одне значення параметру: $\bar{G}(t, \lambda_j)$; $\bar{G}'(t, \lambda_j)$; $\bar{G}''(t, \lambda_j)$; $m(t, \lambda_j)$

На малих частотах (десяті долі герцу) виділення модуляційної частини сигналу здійснювалось за допомогою методу ранжирування огибаючої по $\max \bar{G}(t, \lambda_j)$ та $\min \bar{G}''(t, \lambda_j)$

На мал. 1 а, б, в показана динаміка розвитку цих параметрів у процесі різання. У цьому випадку ми маємо:

$$\bar{G}''(t, \lambda_j) = \Delta \bar{G}(t, \lambda_j) = \bar{G}(t, \lambda_j)_{\max} - \bar{G}(t, \lambda_j)_{\min}$$

Експериментальні дослідження показали, що знос інструменту по задній поверхні є майже прямопропорційним модуляційній (або змінній) частині сигналу:

$$B(t, \lambda_j) = K \bar{G}''(t, \lambda_j)$$

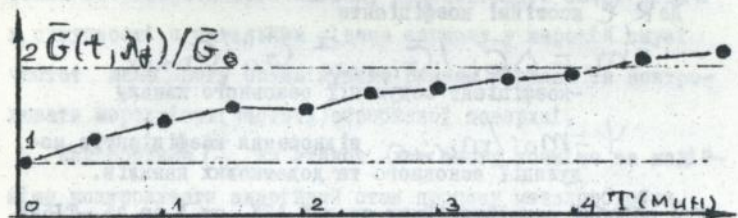
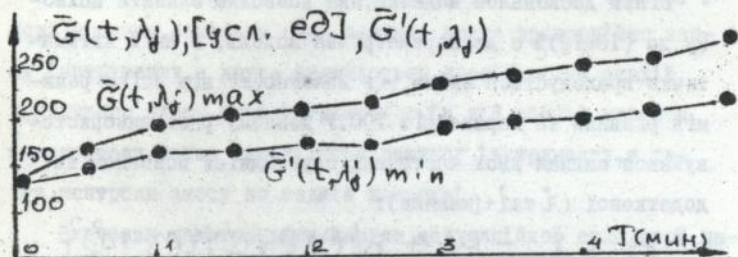
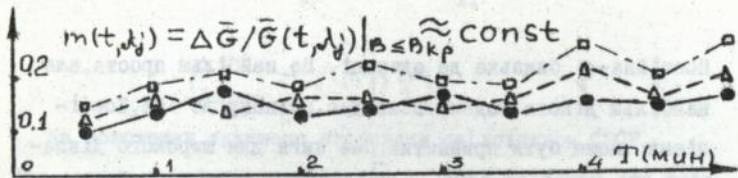
Де $B(t, \lambda_j)$ знос інструменту по задній поверхні — мм.

K — постійний коефіцієнт.

Але, більш правильним буде вираз:

$$B(t, \lambda_j) = B_0 + K [\bar{G}''(t, \lambda_j)]^p$$

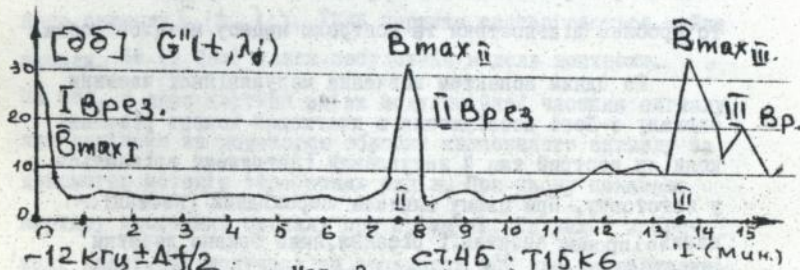
Де B_0 — випадкова частина зносу інструменту на самому початку різання (3+5) сек, яку майже неможливо виділити якимось методом. $B_0 \approx 0,01 \div 0,05$ мм; $B(t, \lambda_j) \gg B_0$



□ 3 кг_у ± Δf/2
 Δ 8 кг_у ± Δf/2
 ● 12 кг_у ± Δf/2

Мал. 1.

40x ; T15K6;
 V = 110 м/сек; t = 0,5 мм
 S = 0,2 мм/об
 B = 0,19 мм



-12 кг_у ± Δf/2

Мал. 2.

CT.45 ; T15K6
 V = 80 м/сек; t = 0,8 мм
 S = 0,12 мм/об
 B = 0,5 мм

Постійна Q близька до одиниці. Це найбільш проста, але найбільш дійова модель. Вона дає похибку до 30%. Коефіцієнт може бути прийнятий без змін для широкого діапазону технологічних параметрів процесу та параметрів ТОС.

Більш досконалою моделлю, яка дозволяє знизити похибку до $(I_0+I_2)\%$ є двупараметрична модель, в якій автоматично враховується зміна K в залежності від зміни режимів різання та параметрів ТОС. У данному разі використовувався сигнал двох частотних смуг. Однієї основної та додаткової (i та i' канали):

$$B(t, \lambda_j) = B_0 + K' \exp\{c' \psi(m_i - m_i')\}$$

Де K' , c' постійні коефіцієнти

$$m_i = \Delta \bar{G}_{i_0} / \bar{G}_{i_0 \max} = \bar{G}_0'' / \bar{G}_{0 \max}$$

- коефіцієнт модуляції основного каналу

$\psi = m_{0i} / m_{0(i'+1)}$ відношення коефіцієнтів модуляції основного та додаткових каналів.

При обробці конструкційних сталей 40X, ст. 3, ст. 45 - Т15К6 для $t = 0.1 + 1$ мм., $S = 0.05$ мм/об. + 0.2 мм/об., $V = 20 + 110$ м/с. $B_0 = 0.03$ мм., $K' = 0.9$, $c' = 10$.

Таким чином, виділення та застосування модуляційної частини віброакустичного сигналу дозволяє вирішувати багато проблем діагностики та контролю процесу металообробки.

Ще одним аспектом вивчення модуляційної частини сигналу є його дослідження в початковий момент різання, коли, як гострий так й затуплений інструмент врізається у заготовку. При цьому виникає перехідний (нестационарний) процес адаптації різання, який триває десятки секунд, при якому різко зростає рівень модуляційної частини сигналу, але при другому, третьому та послідовних врізаннях він залишається постійним.

$$\bar{G}_{\text{max}} \approx \text{const}$$

Це положення захищено авторським свідомством СРСР.

При такому положенні значення \bar{G}_{max} стає еталоном для зрівняння "стаціонарної" та "нестационарної" частин сигналу у ході процесу, оскільки одна частина росте пропорційно зносу інструменту, а друга залишається постійною. На стадії критичного зносу вони зрівнюються. На цій основі автором запропонован метод визначення ресурсу інструменту, а також контролю зносу по задній поверхні.

Вивчення спектральних картин модуляційної складової частини віброакустичного сигналу при повільній зміні подачі в сукупності з загальним рівнем сигналу у широкій смузі частот дало змогу оптимізувати режими різання та контролювати жорсткість (чистоту) обробленої поверхні.

Використання \bar{G}_{max} як еталону дає змогу точніше та надійніше контролювати аварійний стан процесу металообробки.

На мал. 1 а, б, в дана типова картина зміни параметрів в процесі різання. На мал 1 а показана зміна $m(t, \lambda_f)$ на мал 1 б - зміну модуляційного параметру, на мал. 1 в - дана типова картина росту (відносно початкового значення) загального сигналу $\bar{G}(t, \lambda_f)$. Така картина спостерігається майже завжди. На її базі також побудована модель контролю.

На мал. 2 дана картина зміни модуляційної частини сигналу, яка виділена за допомогою обробки квантованого сигналу за допомогою методів термінових рядів. При цьому показано картину зростання сигналу при зрізанні. На мал. 3 зображені дані, які отримані за допомогою ЕОМ при ранжируванні по $m(t, \lambda_f)$ та $\bar{G}(t, \lambda_f)$ модуляційної частини сигналу. Автором також зроблена спроба обґрунтувати теоретично деякі положен-

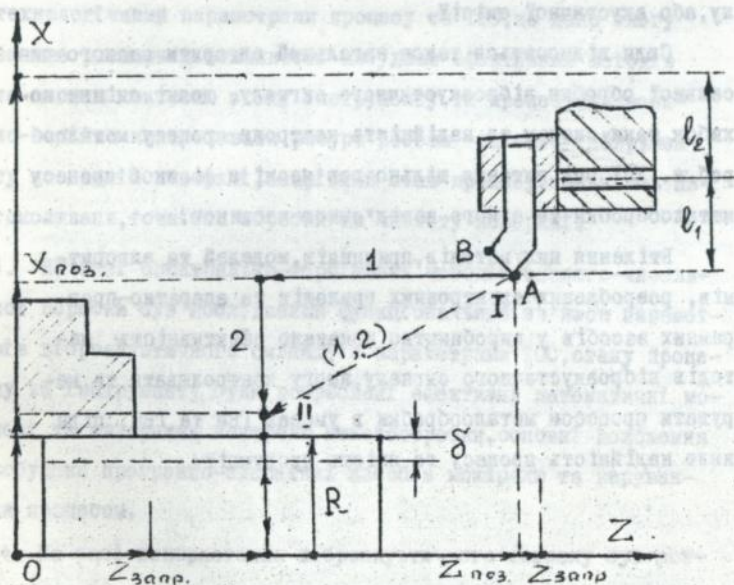
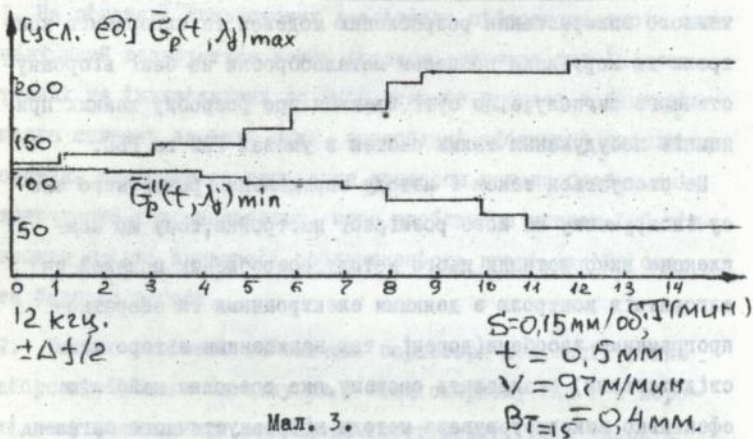
ня роботи.

В четвертій главі дисертації йдеться меза про розробку методу точного вимірювання розмірного зносу інструменту та його автоматичного настроювання на розмір.

Це питання постало тому, що при переліченні зносу по задній поверхні у розмірний ми маємо дуже великі похибки.

Суть методу є у тому, що як тільки інструмент торкнеться поверхні, яка рухається відносно нього, на пьезоакселерометрі з'являється досить значний сигнал, навіть якщо заглиблення становить хоча б один мікромметр. Якщо при цьому миттєво зафіксувати координати рухомих частин верстату (стола, супорту) у пам'яті ЧПК, то потім, відштовхуючись від неї, можна автоматизувати розмірне налагодження інструменту, вимірювати розмірний знос інструменту та автоматично робити (заглиблюватись на певну відстань) у відносних координатах згідно функції G99 у кодї J SO. При відомій координаті поверхні торкання це значення присвоюється, наприклад, вершині гострія інструменту та тепер можна вже робити у абсолютних координатах (функція G90 кода J SO).

Цей метод захищений авторським свідоцтвом СРСР та потребував ретельного вивчення як практичного, так і теоретичного. Для цього було розроблено та виготовлено спеціальний електронний прилад. Крім того, до стандартного математичного забезпечення верстата з ЧПК були внесені спеціальні (розроблені для цього) зміни, які дозволяють робити штатно цикли вимірювань в межах старих стандартних програм. Точність вимірювань (при похибці позиціонування 1 мкм.) становить 3+5 мкм. На мал. 4 дана схема циклу вимірювань: швидкий вихід у робочу точку по G90, повільний підхід до деталі, торкання та фіксація координати,



стоп подачі, вихід у робочу точку.

П'ята заключна глава роботи присвячена питанню ефективного використання розроблених моделей та алгоритмів контролю та керування процесом металообробки на базі віброакустичного сигналу, а, по суті, йдеться про розробку деяких принципів побудування таких систем в умовах ГВМ та ГВС.

Це стосується також і методу визначення розмірного зносу інструменту та його розмірної настройки, тому що комплексне використання цього методу, розроблених моделей та алгоритмів контролю з деякими електронними та апаратно-програмними засобами (доречі, теж захищеними авторськими свідоцтвами) становлять систему, яка дозволяє найбільш ефективно використовувати методи віброакустичного сигналу, або акустичної емісії.

Сюди відноситься також загальний алгоритм аналого-чисельної обробки віброакустичного сигналу, деякі оцінки похибок таких систем та надійність контролю процесу металообробки. Усі ці питання щільно пов'язані з фізикою процесу металообробки та є його невід'ємною частиною.

Втілення цих методів, принципів, моделей та алгоритмів, розроблених електронних приладів та апаратно-програмних засобів у виробництво показало ефективність методів віброакустичного сигналу, змогу контролювати та керувати процесом металообробки в умовах ГВМ та ГВС, підвищило надійність процесу та якість продукції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ :

1. На підставі комплексних досліджень віброакустичного сигналу, який генерується зоною різання, вивчено ряд інформативних та інваріантних до змін режимів процесу параметрів цього сигналу, на базі яких розроблені ефективні методи та системи контролю та керування процесом металообробки, які дозволяють автоматизувати його, особливо в умовах ГВС, підвищити якість продукції, продуктивність праці, надійність, та безпеку роботи.
2. Вперше виділені та вивчені параметри модуляції рівня віброакустичного сигналу як у стаціонарному так і в перехідному режимах при різаннях інструменту, їх зв'язок з технологічними параметрами процесу та ТОС, що дало змогу значно розширити можливості побудови ефективних методів та систем контролю стану інструменту та процесу, дозволило надійно контролювати ресурс роботи та знос інструменту по задній поверхні, аварійний стан процесу, наявність автоколивань, точність обробки та чистоту поверхні.
3. На базі спектрально-термінових методів аналого-чисельної обробки був досліджений функціональний зв'язок параметрів віброакустичного сигналу з параметрами ТОС, стану процесу та інструменту, були розроблені ефективні математичні моделі та алгоритми контролю механообробки, основні положення побудови програмно-апаратних засобів контролю та керування процесом.
4. На базі використання віброакустичного сигналу був розроблений метод точного вимірювання розмірного зносу інструменту, похибки положення деталі та розмірного автоматичного настроювання інструменту в умовах ГЕМ та ГВС.

5. Розроблені окремі оригінальні принципи побудови програмно-апаратних аналого-цифрових систем контролю та керування процесом металообробки на базі віброакустичного сигналу, які дозволяють значно підвищити ефективність використання обладнання для механообробки в умовах ГВС, в умовах безлюдних технологій.

Друковані праці по темі дисертації:

1. Кокаровцев В.В. Контроль процесса обработки на станках с ЧПУ с использованием виброакустического сигнала. Автоматизация проектирования машиностроительных предприятий. Тезисы докладов НТО МАШПРОМ., г. Киев. 1981 г., стр. I41+I42.
2. Зубов С.В., Ключковский В.В., Кокаровцев В.В. Применение систем адаптивного управления для повышения эффективности обработки на станках с ЧПУ. Киев. 1980 г. Знание УССР. Стр. 19.
3. Остафьев В.А., Кокаровцев В.В. Аналого-цифровая система контроля износа металлорежущего инструмента на основе виброакустического сигнала. Динамика станков. Тезисы докладов Всесоюз. научно-технической конференции 2+6 июня 1980 г., г. Куйбышев стр. 212.
4. Румбешта В.А., Кокаровцев В.В., Харкевич А.Г. Организация системы диагностики инструментов в процессе обработки. Стойкость и диагностика режущего инструмента в условиях автоматизированного производства. Тезисы НТ конференции, г. Ижевск II+12 окт. 1988 г., стр. 43+45.
5. Румбешта В.А., Харкевич А.Г., Кокаровцев В.В. Определение ограничений процесса токарной обработки нежестких деталей по критерию устойчивости. Тезисы НТ конференции I2+13 мая 1987 г., г. Тольятти. ПО АвтоВАЗ, ТПИ, ЦНИТИ г. Куйбышев, ВПО Азотремаш. г. Куйбышев, стр. 42.
6. Антонюк В.С., Кокаровцев В.В. Информативность виброакустического сигнала при резании металлов. Технология и автоматизация машиностроения. Респ. меж. НТ сборник. Вып 27. Киев 1981 г., стр. 3+5.
7. Остафьев В.А., Мирзаев А.Х., Кокаровцев В.В. Метод укоренного определения обрабатываемости материалов реза-

нием. Ж. Станки и инструмент. 1989 №8 стр. 95+97.

8. Остафьев В.А., Кокаровцев В.В., Воскобойник Ю.И., Аксенов В.И. Румбешта В.А. Автоматизация размерной настройки инструмента и контроль его состояния. Технология авиационного приборостроения-и агрегатостроения. Произв. НТ ДСП сб. 2, 1987. стр. 33.

9. Остафьев В.А., Румбешта В.А., Кокаровцев В.В. Автоматизация размерной настройки инструмента и контроль его состояния на основе виброакустики зоны резания. Вестник Киевского политехнического института. Приборостроение. Вып. 18, 1988. Стр. 62+63.

10. Остафьев В.А., Кокаровцев В.В., Харкевич А.Г., Науменко В.И. Автоматизированная аналого-цифровая система обработки виброакустического сигнала при резании металлов. Междунар. НТ сб. "Научно-технический прогресс в машиностроении". Исследование механизмов и систем автоматизированной обработки. Вып. 12, М. ИМАШ АН СССР-ВЕНГРИЯ. 1989 г., стр. 93+99.

11. Остафьев В.А., Камаев Ю.Н., Аятоник В.С., Кокаровцев В.В., Малек З. Система управления процессом металлообработки.

Adaptiv Control in Production Engineering
RUDZYNA, POLAND, окт. 16+17, 1985. P 103+110.

12. Авторське свідоцтво СРСР. №793723. В23В 25/06. БВ I 1980.
"Способ контроля процесса резания".

13. Авторське свідоцтво СРСР. №975220. В23В 25/06. БВ 43 1982.
"Способ контроля процесса резания".

14. Авторське свідоцтво СРСР. №986615. В23В 25/06. БВ I 1983.
"Способ контроля процесса резания".

15. Авторське свідоцтво СРСР. №1207745. В23В 45/00. БВ I 1986.
"Устройство для контроля состояния инструмента".

16. Авторське свідоцтво СРСР. №1305575. ОI 3/58. БВ I 1987.
"Способ оценки обрабатываемости материалов резанием".

17. Авторське свідоцтво СРСР. №1734958. В23В 25/06. БВ I9 1992.
"Система прогнозирования состояния режущих инструментов".

18. Авторське свідоцтво СРСР. №1458160. В23В 26/06. БВ 6 1989.
"Способ оптимизации процесса резания".

визом. 1. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.

2. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
3. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
4. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
5. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
6. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
7. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
8. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
9. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
10. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
11. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
12. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
13. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
14. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
15. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
16. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.
17. Отримавши встановлені вимоги, 1989 № 02-97.

Підп. до друку 01.02.94 . Формат 60×84¹/₁₆.
Папір друк. № 3. Спосіб друку офсетний. Умови друк. арк. 116.
Умови фарбо-відб. 122. Обл.-вид. арк. 10.
Тираж 100 . Зам. № 4-552.

Фірма «ВІПОЛ»

252151, Київ, вул. Волинська, 60.



AB 29.341

AB 29.341