

Київський політехнічний інститут

На правах рукопису

УДК 621.179.905

Румбейга Валентин Александрович

**ПРИНЦИПИ ТА ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ
РОЗРОБКИ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА
УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ**

Спеціальність 05.03.01 - Процеси механічної та
фізико-технічної обробки,
верстати та інструмент

АВТОРЕФЕРАТ

*дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук*

Київ - 1994

ЛБ 30.030

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано в Київському політехнічному інституті на кафедрі технології приладобудування.

Науковий консультант - доктор технічних наук,
професор Остаф'єв В.О.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Розенберг О.О.
Доктор технічних наук,
професор Зенків А.С.
доктор технічних наук,
професор Любимов В.Е.

Провідна організація - Український науково-дослідний
інститут авіаційної технології,
м.Київ

Захист дисертації відбудеться " 26 " 09 1994 р.
о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 068.14.10
в Київському політехнічному інституті за адресою :
252056, м.Київ, проспект Перемоги 37, головний корпус,
ауд.214

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці КПІ.

Автореферат розісланий " 7 " 07 1994 р.

Учений секретар
спеціалізованої ради,
д.т.н., професор

Равська Н.С.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00756577 (.)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена вирішенню важливої та актуальної проблеми по підвищенню надійності і якості роботи багатofункціональних станків з ЧПУ за рахунок установки на таких станках чутливих систем зворотного зв'язку у вигляді автоматичних систем технічного діагностування (АСТД), які повинні розпізнавати якісний стан процесу механічної обробки (ПМО) і в ході цього процесу стежити за його відхиленнями.

Мета дисертації - розробити науково обгрунтовану методологію створення таких систем технічного діагностування і формування моделей якості процесу механічної обробки, які відповідають вимогам діючих стандартів і враховують всю складну фізику багатопараметричного процесу різання з його складною динамікою і низькою надійністю.

В роботі вирішуються такі основні задачі :

- на підставі глибокого і всебічного аналізу фізики процесу механічної обробки виявити всі явища, фактори і закономірності формування якості даного процесу, його динаміки, виникнення дефектів та відмов;

- вивчити складні функціональні взаємозв'язки між параметрами цього багатопараметричного процесу різання і на цій базі встановити механізм формування його якості і роль кожного параметра в цьому процесі;

- розробити всі необхідні методику і моделі по визначенню технічного якісного стану процесу механообробки, які лягли б в основу побудови АСТД.

В дисертації розроблені і захищаються такі основні нові положення:

1. Наукові основи, методологія і закономірності розробки автоматичних систем технічного діагностування процесу механообробки, які можуть розпізнавати його якісний стан, відповідають всім вимогам діючих стандартів і враховують складні багатопараметричні зв'язки у фізичних процесах різання металів та його низьку динамічну стійкість і надійність.

2. Наукові положення і принципи розробки структурних, функціональних і інформаційних параметричних моделей ПМО у вигляді складної, багатопараметричної, перетворюючої, динамічної системи

з урахуванням відмови даного процесу.

3. Науково обгрунтована методика формування моделей - образів розпізнавання системою діагностування різних якісних станів процесу різання, які відповідають вимогам стандартів і функціональній діагностиці складних процесів.

4. Методика і основні експертні правила і вимоги контролепридатності по відбору найбільш інформативних і якісних сигналів із зони різання для використання їх як параметри, що діагностуються, або їх діагностичних ознак з відповідною ідентифікацією.

5. Системне, алгоритмічне та апаратне забезпечення для створення функціональних інформаційних діагностичних систем розпізнавання якості механообробки.

6. Нові методи і системи технічного діагностування механообробки з допомогою віброакустичного сигналу із зони різання.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Основним сучасним металообробним устаткуванням є верстати з ЧПУ і створені на їх основі складні обробні модулі, ГВС, ГЕМ і ін., які мають великі технологічні можливості, порівняно високу точність обробки і дуже високий рівень автоматизації за рахунок наявності гнучкого, автоматичного, програмного управління - СЧПУ, створеного на основі ЕОМ, яке легко перенастроюється.

Однак такі висококласні верстати мають істотний недолік - низьку надійність самого процесу механообробки, про що дана система відомостей не має. Із-за цього часто виникають збої в роботі таких верстатів.

Термін позациклових простоїв таких класних верстатів в цілі причини значний і досягає 50 їх робочого часу.

Установлення на такому устаткуванні чутливих систем технічного діагностування (ТД), які дозволяють стежити за якісним станом процесу різання, дасть можливість попереджати аварійні ситуації на верстагах, своєчасно уживати відповідних заходів щодо якісної роботи устаткування.

Загальна методика досліджень. Всі проведені дослідження, структурний та функціонально-аналітичний аналіз фізичних і динамічних явищ в дисертації базуються на нових сучасних методиках системного аналізу, апробованих теоріях динаміки і віброакустики. При цьому досліджувались динаміка різання металів, динамічна стійкість даного процесу і формувались висновки на підставі вимог стандартів до си-

стем діагностування.

Наукова новизна. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень фізичних процесів під час механообробки одержані такі нові результати:

Розроблені нові науково обгрунтовані положення, методики і основні закономірності створення ефективних систем діагностики процесу механообробки, які враховують складну фізику і динаміку процесу різання, розпізнають його якісний стан і відповідають всім вимогам стандартів в діагностики.

Одержані нові структурні, функціонально-аналітичні і інформаційно-параметричні моделі процесу різання у вигляді перетворюючої, багатопараметричної, динамічної системи з низькою стійкістю.

Науково обгрунтований і змодельований механізм втрати якості і працездатності процесу різання з причини спрацювання інструмента.

Розроблена нова методика формування моделей - образів якісного стану процесу механообробки.

Запропоновані нові методи і системи технічного діагностування механообробки з допомогою віброакустичного сигналу.

Практична цінність. Розроблена методологія і принципи побудови систем технічного діагностування дозволяють створювати ефективні автоматичні системи діагностики роботи верстатів з ЧПУ, що в значній мірі збільшить надійність роботи таких верстатів і підвищать якість продукції.

Створені нові методи і системи діагностики процесу механообробки на основі віброакустичного сигналу відповідають всім вимогам діючих в цій галузі стандартів і мають кращі якісні показники.

Промислове впровадження цих систем на двох заводах м. Києва і у двох організаціях м. Володимира дозволило значно зменшити непродуктивні простой устаткування, зменшити в багато разів аварійність, підвищити якість виробів, про що свідчають відповідні акти впровадження.

Загальний економічний ефект складає більше 200 тис. карбованців (у цінах 1989 року).

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на 14 науково-технічних конференціях, у тому числі:

- на міжнародній конференції в Болгарії;
- на 9-ти союзних конференціях;

- на 5 республіканських конференціях,

По результатах роботи опубліковано близько 30 праць, в тому числі 2 монографії, 2 брошури, 4 авторських свідчення, 13 статей та ін.

Структура і обсяг роботи. Робота складається із вступу, 6 глав, висновку з основними підсумками, списку літератури і додатка у вигляді актів впровадження деяких систем контролю та діагностики.

У вступі обгрунтована актуальність теми, викладені дані про мету роботи, основні завдання, що дозволять вирішити проблему підвищення надійності роботи верстатів з ЧПУ.

У першій главі проводиться аналіз існуючих методів і систем технічного діагностування і контролю процесу механообробки, ставиться задача по створенню таких систем, які б відповідали вимогам стандартів з технічної діагностики.

У другій главі розробляються основні принципи і методика побудови систем автоматичного діагностування процесу різання металів, розглядаються такі системи прямої і посередньої дії.

Третя глава присвячена структурно-параметричному аналізу ПМО, створенню структурно-параметричних моделей цього процесу, аналізу функціональних взаємозв'язків між параметрами процесу, синтезу основних причин і механізму відмови цього процесу та втрати ним якості.

В четвертій главі проведені функціонально-параметричний аналіз всіх параметрів ПМО, їх впливу на якість цього процесу, аналіз динамічної стійкості процесу і визначені критерії цієї стійкості.

В п'ятій главі будується основна інформаційна модель процесу механообробки, синтезуються основні інформативні за якістю різання параметри процесу і розробляються моделі якісного стану процесу, проводиться ідентифікація між діагностуємими параметрами процесу і їх діагностичними ознаками. Тут же розробляється програмне, алгоритмічне і функціонально-структурне забезпечення АСТД.

Шоста глава дає уявлення про практичні розробки згідно із створеною методологією систем технічного діагностування на основі віброакустичної емісії різання, наводяться нові методи такої діагностики і контролю ПМО.

Обсяг роботи : машинописних сторінок тексту, малюнків, список використаної літератури складається із 110 найменувань, акти впровадження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми по підвищенню якості і надійності роботи багатофункціонального устаткування на базі верстатів з ЧПУ за рахунок розробки для них ефективних автоматичних систем технічного діагностування (АСТД), які можуть розпізнавати якість проведення процесу механообробки на таких верстатах і при необхідності вносити в нього відповідні коректуюче управління.

Рішенням цієї проблеми значний час займається чимало наукових колективів. Розроблено і апробовано ряд систем управління якістю механообробки щодо точності процесу, систем автоматичного контролю певного параметра процесу механічної обробки (ПМО), який відбиває його якість, кілька систем реєстрації аварійних станів цього процесу. Але всі ці розробки мають вузько обмежене, спеціальне застосування і вирішують цю проблему у вузько обмеженому діапазоні.

Головні їх недоліки - мала універсальність і обмежена можливість, низька чутливість до відхилень характеристик ПМО і його передаварійних ситуацій, значна трудомісткість в перенастроїці на інші види деталей, незручність експлуатації і т.ін. Деякі такі системи необгрунтовано названі системами технічного діагностування (ТД), хоч за існуючими і діючими стандартами функціональні можливості АСТД повинні бути значно ширше і якісніше.

Технічне діагностування являє інформаційно-метрологічний процес розпізнавання технічного якісного стану об'єкта діагностики і вироблення ряду висновків щодо цього стану. Згідно з діючими в цій галузі стандартами для безперервно працюючих пристроїв і процесів, які підлягають діагностуванню, застосовується також безперервне функціональне (робоче) діагностування з допомогою спеціально відібраного для цього одного з параметрів об'єкта, який відбиває якість його роботи і називається параметром, що діагностується.

Вимірюючи та аналізуючи цей параметр, система ТД робить відповідні висновки щодо трьох основних якісних характеристик роботи такого процесу: його придатності, надійності і нормального функціонування (як його працездатності). У випадку, коли за такими характеристиками встановлені вимоги не витримуються, АСТД робить висновки щодо появи ознаки (симптому) відмови процесу або його аварійного стану і виробляє відповідну керуючу дію на процес.

В енергетиці, на хімічних виробництвах, в авіації і деяких інших галузях техніки вже діють такі високоєфективні системи ТД. В той же час в механообробці таких систем в повному обсязі нема.

Такий стан справ виник із-за того, що до сих пір не існує єдиних загальних правил і науково обґрунтованої методології щодо розробки і створення систем ТД процесу механообробки, які б з одного боку відповідали всім вимогам існуючих стандартів, а з другого - враховували б всі складні фізичні процеси і динаміку багатопараметричного процесу різання із складними внутрішніми функціональними зв'язками і низькою його надійністю.

Таку методологію можна створити тільки на основі всестороннього і глибокого структурного і функціонально-параметричного аналізу фізики різання металів, виявлення всіх основних факторів і причин, які викликають динаміку і нестійкість цього процесу, призводять до відмови. Встановивши такі параметри, які визначають якість ПМО, можна розробити моделі - образи якості цього процесу для розпізнавання системою ТД через порівняння його якісних показників.

Придатність і надійність ПМО оцінюється умовами :

$$[Q_{min} < Q_i(\tau) < Q_{max}] ; [Q_{max} - Q_i(\tau) > D] \quad (1)$$

де $Q_i(\tau)$ - поточне значення параметра якості ПМО, Q_{max} і Q_{min} - встановлені крайньо-допустимі границі цього параметра для даного процесу.

Більш складним є визначення показника рівня працездатності або нормального функціонування. Пропонується оцінювати цей показник, аналізуючи динаміку змін параметра якості $Q_i(\tau)$, що діагностується, відповідно до часу протікання різання згідно з виразом :

$$Q_i(\tau) = [Q_0 + \Delta Q_i(\tau)] + \frac{\partial Q}{\partial \tau} \Delta \tau + \frac{\partial^2 Q_i}{\partial \tau^2} (\Delta \tau)^2 \quad (2)$$

де Q_0 - номінальне або мінімальне значення параметра, $\Delta Q_i(\tau)$ - величина відхилення параметра якості від номіналу. Аналізуючи першу та другу похідні, можна зробити висновок відносно швидкості або інтенсивності змін сигналу в ході протікання даного процесу. При цьому працездатність його нормальна, якщо витримуються умови:

$$\left[\frac{\partial Q_i(\tau)}{\partial \tau} \Delta \tau \approx const \right] \text{ и } \left[\frac{\partial^2 Q_i(\tau)}{\partial \tau^2} (\Delta \tau)^2 \approx 0 \right] \quad (3)$$

При порушенні вищезгаданих умов АСТД робить висновок щодо втрати даним процесом ПМО своєї придатності і працездатності.

Система ТД, яка працює через аналіз зміни головного параметра якості Q ; - буде системою прямої дії. Якщо такий параметр некон-тролюється, то для ТД обирається інший параметр процесу, який тісно пов'язаний кореляційно з першим і має з ним аналогічний закон зміни у часі процесу. Він називається діагностичною ознакою, а система ТД буде посередньою дії.

Для того, щоб правильно визначити такі параметри, необхідно проаналізувати весь механізм формування якості ПМО, встановити причини порушення цієї якості, проаналізувати всі ланцюги взаємозв'язків в багатопараметричному процесі різання із складною його динамікою і визначити кількісні критерії відмови. Найбільш наочно всі взаємозв'язки параметрів різання продивляються при структурному аналізі і моделюванні.

В роботі одержано цілий ряд таких структурних моделей. Головна, первісна структурно-параметрична модель подана на рис.1 у вигляді перетворюючого процесу різання з великою кількістю головних вхідних характеристик організаційно-управлінського плану і рядом вихідних параметрів, як результату дії процесу різання.

На базі цієї моделі в роботі проведений всебічний аналіз впливу вхідних параметрів на головні якісні вихідні характеристики процесу, встановлений характер такого впливу, тіснота кореляційних зв'язків і ін. Це дало можливість встановити причини виникнення відхилень вихідних характеристик різання, джерела збудження динамічних зв'язків ПМО.

Структурно-параметричне моделювання ходу розвитку динаміки в самому різанні металів з урахуванням динаміки технологічної обробної системи (ТОС) і з урахуванням прогресуючого аносу різального інструмента дозволило подати виникаючу в цьому процесі силу різання, як суму ряду складаючих, які генеруються різними причинами:

$$P_x(\tau) = P_{CT} + \Delta P_1(\tau) + \Delta P_2(\tau) + \Delta P_n(\tau) \quad (4)$$

де P_{CT} - статична складова як головна складова у вигляді загального рівня навантаженості процесу, яка залежить від вхідних характеристик.

$$P_{CT} = \varphi_0(v; S_0; t; HB; f_{TR}; \gamma; \alpha \dots) \quad (5)$$

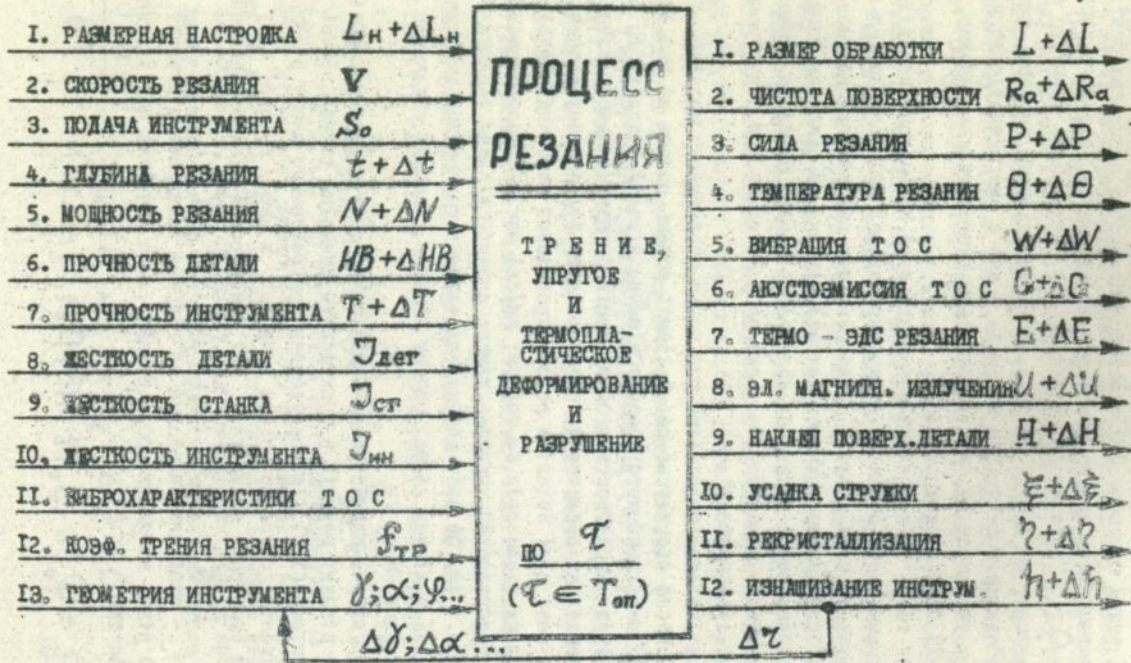


Рис. I. СТРУКТУРНЮ - ПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МЕХАНООБРОБКИ

- 24 -

$\Delta P_1(\tau)$ - динамічна складова, яка викликана динамікою самого процесу різання від варіації ряду вхідних параметрів і залежить функціонально;

$$\Delta P_1(\tau) = \varphi_1(\Delta t; \Delta \sigma_B; \Delta f_{\text{ТР}} \dots) \quad (6)$$

де Δt ; $\Delta \sigma_B$; $\Delta f_{\text{ТР}}$ - коливання припуску, анізотропія міцності матеріалу деталі, зміна тертя і т.ін.

$\Delta P_2(\tau)$ - динамічна складова сили різання, яка необхідна для генерування і підтримки динамічних явищ в технологічній обробній системі (ТОС), і визначається залежністю:

$$\Delta P_2(\tau) = \varphi_2(M; H; C; W + \Delta W \dots) \quad (7)$$

де M ; H ; C - динамічні показники ТОС: маса, демпфуючий і жорсткісний показники H , $W + \Delta W$ - віброколивання системи.

$\Delta P_h(\tau)$ - перемінна наростаюча по величині складова сили різання, обумовлена зносом інструмента $h(\tau)$ під час роботи, зміною із-за цього геометрії різальної його частини ($\Delta \gamma$; $\Delta \alpha$; $\Delta \zeta$), зміною умов тертя ($\Delta f_{\text{ТР}}$) і ін.

$$\Delta P_h(\tau) = \varphi_h(h(\tau); \Delta f_{\text{ТР}}; \Delta \gamma; \Delta \zeta \dots) \quad (8)$$

Аналіз цієї складової сили різання показує, що постійне і рівномірне її збільшення формується двома факторами:

$$\Delta \bar{P}_h(\tau) = \Delta \bar{P}_h'(\tau) + \Delta \bar{P}_h''(\tau) \quad (9)$$

де $\Delta \bar{P}_h'(\tau)$ - наростаюча складова від погіршення геометрії різальної частини інструмента, як зміна кутів різання $\Delta \gamma$; $\Delta \alpha$ і поява округлення різальної кромки $\Delta \zeta$; $\Delta \bar{P}_h''(\tau)$ - наростаюча складова аперіодичного характеру із-за наростання тертя в зоні контакту, збільшення фрікційних автоколивань інструмента і деталі з цієї причини.

Всі вищевказані перемінні сили мають динамічний характер. Якщо перші дві складові завжди присутні при нормальному якісному процесі різання і можуть регулюватись до деякої міри режимами обробки, то складова сили від зносу інструмента не має обмежень і буде збільшуватись до тих пір, поки не приведе до втрати якості ПМО і його відмови.

На одержаній в роботі структурній моделі механізму втрати якості процесу обробки (рис.2) помітні залежності між зносом інструмента h , тертям в зоні контакту $f_{\text{ТР}}$ і силою різання ΔP_h . Із-за цього при різанні металів виникає процес постійного взаємного генерування величин відхилень параметрів ПМО - Δh ; Δf ; ΔP_h по замкненому контуру, де першопричиною або першоджерелом даного процесу є знос інструмента h і Δh .

$$\Delta \bar{P}_{h\Sigma} = \Delta \bar{P}_{hr} + \Delta \bar{P}_{hf}$$

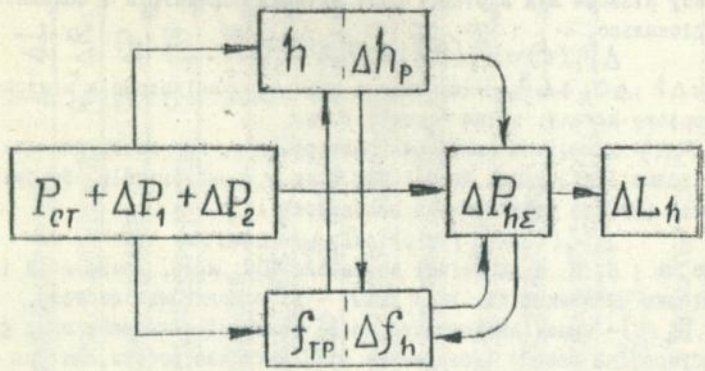


Рис.2. Структурне модель механізму утрати маси процесі механообробки

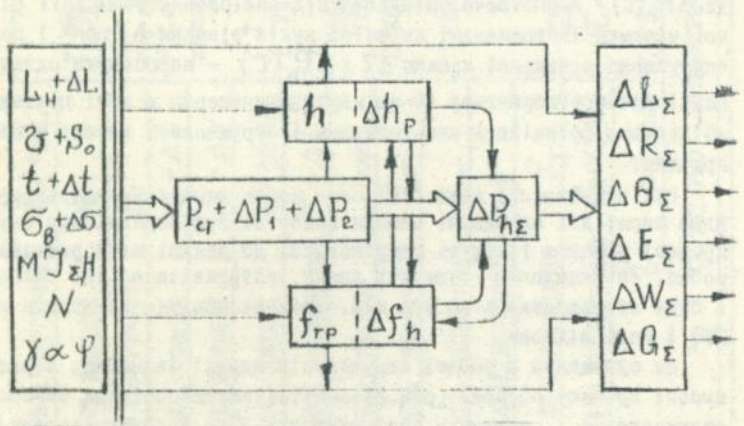


Рис.3. Функціонально - параметрична структурна модель процесу різання металів

На базі цієї моделі в дисертації розроблена і науково обґрунтована структурна функціонально-параметрична модель ПМО, яка урахує механізм поступового порушення якості процесу різання, що приводить в результаті до його відмови.

Зліва показані вхідні управляючі характеристики процесу, справа - вихідні параметри, які оудуть мати певну варіацію із-за нестійкості динаміки різання (рис.3).

Проведений структурний аналіз дозволив визначити зв'язки між параметрами, фізику процесу і причини його відмови. Однак він не встановлює між параметрами різання кількісних співвідношень, не дає кількісних показників якості ПМО і граничних величин характеристик різання, при яких з'являється симитом його відмови.

Для визначення всіх таких розмірних показників ПМО в роботі проведений глибокий функціонально-параметричний аналіз цього процесу з розробкою необхідних аналітичних моделей для всіх якісних і неякісних станів механообробки.

Головна загальна функціонально-параметрична модель ПМО обрана у вигляді системи лінійних операторів як певна множина передаточних функцій, яка має вигляд :

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{01}(\tau) = \varphi_{01}[q_1; X_1(\tau); X_2(\tau) \dots X_m(\tau)] \\ Q_{02}(\tau) = \varphi_{02}[q_2; X_1(\tau); X_2(\tau) \dots X_m(\tau)] \\ Q_{0n}(\tau) = \varphi_{0n}[q_n; X_1(\tau); X_2(\tau) \dots X_m(\tau)] \end{array} \right. \begin{array}{l} i = \overline{1, m} \\ j = \overline{1, n} \\ \tau \in T \end{array} \quad (10)$$

де T - весь період роботи ПМО; Q_{0j} - величини номінальних значень основних вихідних параметрів ПМО, число яких приймаємо за n , коли вхідні параметри X_i , число яких m , ураховуються тільки своїми номінальними значеннями.

q_1, q_2, \dots - масштабні коефіцієнти перетворення.

Більшість вхідних параметрів процесу механообробки на практиці перемінні і мають свої певні відхилення $\Delta X_i(\tau)$, як випадкову флукуацію, то дійсна величина вихідних параметрів $Q_j(\tau)$ буде вже визначатию залежністю :

$$Q_j(\tau) = \varphi_j[q_j; X_i(\tau) + \Delta X_i(\tau)] \quad (11)$$

Із-за цього з'являються коливання значень вихідних параметрів ΔQ

$$Q_i(\tau) = Q_{0j}(\tau) + \Delta Q_j(\tau) \quad (12)$$

Використавши розклад даного виразу в функціональний, диференційний ряд Тейлора для множини незалежних перемінних, можна аналітично визначити дійсну величину $Q_j(\tau)$:

$$Q_j(\tau) = Q_{0j} + \sum_1^m q_{ij} \frac{\partial Q_{0j}}{\partial X_i} \Delta X_i(\tau) + \sum_1^p q_{ij} \frac{\partial^2 Q_{0j}}{\partial X_i \partial X_k} \Delta X_i \Delta X_k(\tau) \quad (13)$$

Перші частинні похідні являють в цьому виразі частинні передаточні функції між X_i і Q_j , а другі - враховують вплив взаємозалежних між собою параметрів. Таким чином, вираз (13) є поліноміальна функціональна модель ПМО в загальному вигляді як система таких рівнянь числом m .

На основі цієї методики в роботі був проведений аналіз всіх основних вихідних параметрів процесу механообробки: одержаної точності обробки і чис оти поверхні, температури і термо-ЗДС різання, зносу інструмента, сил різання, динаміки процесу різання і його стійкості. При цьому визначались і формувались такі вирази - математичні моделі, котрі могли б відбивати якість ПМО і його поступову відмову.

Так, при аналізі сил різання на основі моделі (13) було одержано вираз для розрахунку перемінної динамічної складаючої сили різання по головних вісях процесу. Найбільший вплив на точність механообробки здійснює така перемінна сила по вісі $Y-Y$, сумарну величину якої можна визначити виразом:

$$\Delta P_{y\Sigma} = \left(\frac{\partial P_y}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial P_y}{\partial \Delta W} \Delta \Delta W + \frac{\partial P_y}{\partial W} \Delta W \right) + \frac{\partial P_y}{\partial K_{hy}} \Delta h_z \quad (14)$$

де W і ΔW - величина коливань системи ТОС і їх варіація при автоколиваальному процесі системи; K_{hy} - коеф. урахування впливу зносу інструмента на силу різання; Δh_z - величина зносу інструмента по задній поверхні.

Сума величин в дужках відбиває динаміку різання нормального якісного процесу, а останній доданок являє собою постійно наростаючу складову сили різання від зносу інструмента, яка приводить в результаті до втрати якості процесу різання.

Проведений аналіз одержаної вихідної точності механообробки на сучасних багатofункціональних верстатах з ЧПУ показав, що сумарна похибка обробки формується цілим рядом частинних похибок в різних причин:

$$\overline{\Delta L}_{\Sigma} = \overline{\Delta}_n + \overline{\Delta}_o + \overline{\Delta}_{пз} + \overline{\Delta}_\theta + \overline{\Delta}_W + \overline{\Delta}_{y\theta} + \overline{\Delta}_h \quad (15)$$

де Δ_i - похибки у вигляді можливих максимальних відхилень: Δ_n - від настройки верстата; Δ_o - від втраги стартового нулі; $\Delta_{пз}$ - від неточності позиціонування інструмента в координатних точках; Δ_θ - від теплових деформацій ТОС; Δ_W - від коли-

вань ТОС; $\Delta_{\text{уд}}$ - від пружних деформацій; $\Delta_{\text{н}}$ - від зносу інструмента.

Аналіз виразу (15) показує, що перші п'ять похибок неминуче присутні при нормальному якісному процесі механообробки і частково компенсуються періодичною перебудовою системи. Остання похибка від прогресуючого розмірного зносу інструмента також може коректуватись системою СЧУ, як відомий постійно діючий тренд наростання. Таким чином, до втрати якості процесу механообробки веде похибка від пружних деформацій системи $\Delta_{\text{уд}}$.

В процесі обробки така похибка буде формуватися з трьох складових:

$$\bar{\Delta}_{\text{уд}} = \bar{\Delta}_{\text{уд сист}} + \bar{\Delta}_{\text{уд сл}} + \bar{\Delta}_{\text{уд н}} \quad (16)$$

Перша похибка, як систематична складова $\Delta_{\text{уд сист}}$, визначається по величині жорсткості системи ТОС і середнім рівнем сили різання $P_{\text{сг}}$. Відомо, що майже завжди жорсткість ТОС визначається самим маложорстким елементом - жорсткістю деталі. Тоді величина прогиба II, як $\Delta_{\text{уд сист}}$, визначиться

$$\Delta_{\text{уд сист}} = P_{\text{у}} / J_{\text{дет}}^3 = P_{\text{у}} \ell_{\text{дет}}^3 / BEJ \quad (17)$$

де $\ell_{\text{дет}}$; E ; J - довжина деталі, модуль пружності матеріалу і момент інерції перетину; B - коефіцієнт урахування схеми закріплення деталі.

Випадкова складова такої похибки визначається залежністю $\Delta_{\text{уд сл}} = \varphi(\Delta t; \Delta \text{нВ})$ і може бути зафіксована в максимальному значенні, як

$$\Delta_{\text{уд сл}} = \frac{\ell_{\text{дет}}^3}{BEJ} \left(\frac{\partial P_{\text{у}}}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial P_{\text{у}}}{\partial \text{нВ}} \Delta \text{нВ} \right) \quad (18)$$

Величини доданків в дужках розраховуються диференціюванням виразу (17) по відповідним параметрах. Так, для випадку впливу коливання величини припуску Δt можна записати рівняння з урахуванням виразу сили $P_{\text{у}}$, як

$$\Delta_{\text{уд сл}} = \frac{C_{\text{ру}} S_0^{y_p} v^z (нВ)^{m_p} \ell_{\text{дет}}^3 t^{x_p-1}}{BEJ} \Delta t \quad (19)$$

Аналогічно визначаються і інші доданки (18).

Розглянемо вплив на загальну похибку механообробки від пружних деформацій (16) останнього доданку - пружних деформацій дета-

лі під впливом наростаючого зносу інструмента $\Delta y_{\partial h}$. Величину цієї похибки визначимо аналогічно (13), (14) :

$$\Delta y_{\partial h} = \frac{\rho_a^3 K_{hy}}{BEJ} \left(\frac{\partial P_y}{\partial K_{hy}} \Delta h_3 \right) \quad (20)$$

Поля перетворень і диференціювання по складаючим сили рівняння одержимо:

$$\Delta y_{\partial h} = \frac{C_{py} S_0^{y_p} t^{x_p} \sigma^{z_p} (HB)^{m_p} \rho_a^3}{BEJ} \left(\frac{\Delta h_3}{K_{hy}} \right) \quad (21)$$

В роботі приведена методика розрахунку величини K_{hy} - коефіцієнта урахування збільшення сили різання від зносу інструмента.

На підставі одержаних значень (17), (18), (19), (20) і (21) можна представити загальну сумарну величину похибки від пружних деформацій

$$\Delta y_{\partial \Sigma} = \frac{P_y \rho_a^3}{BEJ} \left(1 + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta HB}{HB} + \frac{\Delta h_p}{K_{hy}} \right) \quad (22)$$

Таким чином, одержано математичний вираз для розрахунку такої похибки, де останній доданок буде представляти компоненту, яка в результаті приводить до втрати якості процесу ПМО при зносі інструмента більше допустимої величини.

Ураховуючи той факт, що процес різання належить до числа динамічних процесів з низькою динамічною стійкістю, в роботі значне місце приділене дослідженню динаміки процесу і її ролі в формуванні якості обробки і причин появи дефекту ПМО.

На підставі аналізу динамічних моделей процесу різання Кудина В.А., Аршанського-Щербакова, які подають цей процес у вигляді динамічної перетворюючої системи для випадку стійкого якісного стану ПМО, була розроблена нова, більш досконала модель. Вона враховує реальні умови обробки, коли як правило присутній збурюючий фактор - знос інструмента, який різко міняє динаміку процесу. Одержаний новий математичний опис такої динамічної системи з урахуванням втрати якості ПМО у вигляді динамічних операторів:

$$\Delta L_{\Sigma}(\tau) = \frac{W_y W_p W_h W_{\varphi}}{1 + W_y W_p W_h} \Delta h_3(\tau) + \frac{W_y W_p W_{\varphi}}{1 + W_y W_p W_{\varphi}} \varphi(\omega) + \frac{W_y W_{\varphi}}{1 + W_y W_{\varphi}} (X(\omega) - \Delta h_p(\tau)) \quad (23)$$

де загальна похибка процесу ΔL_{Σ} визначається збурюючими факторами $\varphi(\omega)$ від зміни величин вхідних характеристик: Δt ; ΔH_B ; Δf_{TP} і ін., вектором управління процесом $X(\omega)$, від якого поступово в причини розмірного зносу інструмента $\Delta h_p(\tau)$ під час процесу знімається точність початкової настройки на розмір.

Перший доданок - динаміка зносу, яка приводить до відмови ПМО в причини зносу різального інструмента $\Delta h_3(\tau)$. В цьому виразі динамічні оператори виконують певні передаючі функції:

$$W_y = \frac{y(\tau)}{\Delta P(\tau)}; W_p = \frac{\Delta P(\tau)}{y(\tau)}; W_{\varphi} = \frac{\Delta L(\tau)}{\Delta P(\tau)}; W_h = \frac{\Delta P_h(\tau)}{\Delta y_h(\tau)} \quad (24)$$

У виразах (24) прийнято: $y(\tau)$ - зміщення інструмента відносно деталі по вісі $y-y$ при коливаннях; W_{φ} - функція формування обробної поверхні, де $\Delta L(\tau)$ - одержувана хвилястість на цій поверхні; W_h - функція динаміки процесу різання від зносу інструмента, де $\Delta y_h(\tau)$ - прирощення динамічного зміщення деталі від пружних деформацій в причини зносу інструмента згідно з виразом (20).

В роботі проведений аналіз динамічної стійкості ПМО і визначений критерій втрати працездатності цього процесу. Встановлено, що така стійкість багато в чому визначається динамічними характеристиками верстата: M - масою системи; H і C - коефіцієнтами урахування демпфування і жорсткості системи. При цьому необхідно враховувати, що пружна жорсткість системи багато в чому визначається жорсткістю деталі і схемою її закріплення.

Стійкість процесу різання також визначається енергетичною навантаженістю системи: режимом різання v ; t ; S_o , міцністю оброблюваної деталі σ_B , величиною коефіцієнту верта f_{TP} , динамікою самого процесу різання із-за збурень перемінної сили різання параметрами Δt ; $\Delta \sigma_B$; Δf_{TP} , а також характеристиками оброблюваності матеріалу. В роботі докладно аналізуються ці характеристики, ступінь їх впливу на динаміку ПМО.

Визначена межа зони стійкості процесу різання, як певне значення коефіцієнту жорсткості самого різання $K_p \approx P_{\Sigma}/t$.

Такий коефіцієнт змінюється також в причини зносу інструмента, в роботом $\Delta P_h(\tau)$ [див. (2,9)].

Межа визначена за критерієм Гурвиця із загального рівняння динаміки системи ТОС у вигляді (рис.4):

$$K_{РПР} = \frac{MH + H^2 T_P + CH T_P^2}{f_{ТР} M T_P} \quad (25)$$



де T_P - постійна часу стружкоутворення, яку багато дослідників визначають величиною:

$$T_P = \eta t_3 / v$$

де η - коефіцієнт пропорційності, який залежить від оброблюваності матеріала і умов різання; t_3 - усадка стружки, яка залежить від геометрії інструмента і умов різання.

Оскільки більшість параметрів, які визначають величину $K_{РПР}$

в дійсності мають випадкові відхилення, то з урахуванням розсіювання межа стійкості різання у ймовірнісній формі визначається виразом:

$$K_{РПР\sigma} = \frac{MH + H^2 T_{P0} + CH T_{P0}^2}{f_{ТР} M T_{P0}} + 3 \frac{H}{f_{ТР}} \left(\frac{C}{M} - \frac{1}{T_{P0}^2} \right) \sigma_{ТР} \quad (26)$$

де T_{P0} - розрахункове або середньо-номінальне значення постійної часу стружкоутворення.

Простежимо механізм відмови на даній залежності: $K_{РПР} = \varphi(T_P)$ (рис.4). При нормально настроєному процесі механообробки коефіцієнт $K_{Р0}$ у початковий час буде в точці A_0 . У міру зносу різального інструмента сила різання починає збільшуватись, що приведе до збільшення і дійсного значення, і значення його зміщу-

ється до точки A_K - кінцевому значенню даного коефіцієнта, величині K_{PK} , тому що при цьому можна з деякою часткою спрощення представити діючу на цей час залежність по збільшенню діючої сили різання у вигляді:

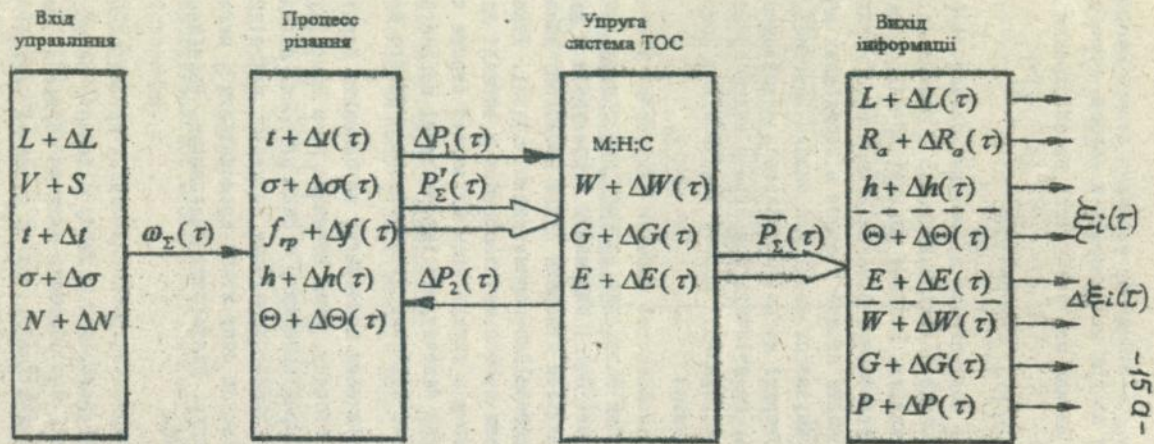
$$K_P(\tau) = (P + \Delta P_n(\tau)) / t \quad (27)$$

При попаданні в зону втрати динамічної стійкості (на схемі - у точку A_K) виникає перехідний процес і нормальне різання починає губити свою якість. В цьому випадку пружна система ТОС настільки перевантажена силами різання динамічного характеру, що не в змозі вже утримати процес різання в необхідних рамках. Починає різко збільшуватись амплітуда низькочастотних коливань, на оброблюваній поверхні деталі з'являється недозволена хвилястість і груба шорсткість, що свідчить про втрату таким процесом своєї працездатності. При подальшій роботі відбувається зрив різання і руйнування інструмента.

Для розробки автоматичної системи технічного діагностування процесу механообробки необхідно на базі проведених досліджень механізму втрати якості ПМО і одержаних структурних і функціонально-параметричних моделей створити більш досконалу динамічну модель у вигляді інформаційно-параметричної моделі. Така модель повинна представляти процес механообробки у вигляді динамічної, перетворюючої системи з урахуванням механізму втрати якості. З цієї системи можна синтезувати інформативні параметри, на базі яких можна проводити технічне діагностування даного процесу.

Проведені дослідження показують, що основним перетворюючим параметром такого процесу, який визначає його динаміку і формує всі його вихідні характеристики, є сила різання. Доведено, що для кращого пояснення фізико-динамічних процесів, які відбуваються при різанні металів, цю силу ліпше представляти у вигляді постійної і ряду перемінних, динамічних складових, розділених за причинами їх збудження.

Одержана в роботі інформаційна модель представлена на рис.5. На ній наочно видно взаємодію процесу різання і оброблюваної пружної системи ТОС під час обробки, причини збудження динамічних сил різання $\Delta P_1(\tau)$ і $\Delta P_2(\tau)$ та їх вплив на вихідні параметри процесу.



$$\overline{P}_{\Sigma}(\tau) = \overline{P}_n + \Delta\overline{P}_1(\tau) + \Delta\overline{P}_2(\tau) + \Delta\overline{P}_h(\tau)$$

$$\overline{P}'_{\Sigma}(\tau) = \overline{P}'_n + \Delta\overline{P}'_2(\tau) + \Delta\overline{P}'_h(\tau) \quad (\tau \in T)$$

Рис. 5. Динамічна інформаційно-параметрична модель ПМО

На останньому блоці моделі показана вся вихідна інформація даного різання у вигляді ряду основних вихідних параметрів. Вони представлені своїми середніми (або початковими) значеннями, які визначають загальний енергетичний рівень процесу і цього параметра у вигляді $Q_i(\tau)$, а також величиною відхилення або флуктуації $-\Delta Q_i(\tau)$ даного параметра.

Дослідивши фізику цих параметрів, їх можна віднести до трьох різномірних груп інформаційних вихідних сигналів :

1. Якісні характеристики розмірно-геометричного плану :

L, R_a і h_3 .

2. Термодинамічні характеристики енергетичного виду, такі, як

θ - температура різання і E - величина термо-ЕДС різання.

3. Динамічні характеристики механічного виду і сила P , вібрація ТОС W і віброакустична емісія процесу G .

Кожен із зазначених параметрів в принципі несе певний рівень інформації про характер протікання процесу різання, сигнал цього параметра $\xi(\tau)$, і його відхилення $\Delta \xi(\tau)$ можуть служити основою для розпізнавання якості ПМО з допомогою АСТД. Однак при такому складному процесі, як процес різання, урахувавши складності проведення його в обмеженій зоні обробки в автоматичному режимі в частоту зміною позицій різних інструментів, не всі параметри мають потрібну контролепридатність.

Для необхідного якісного відбору інформативного параметра і його сигналу для АСТД в роботі відпрацьована нова методика аналізу характеристик на контролепридатність. Якщо визначити через

$Q_i(\tau)$ найбільш придатний і кращий вихідний параметр процесу, який зповна віддзеркалює свою зміною $\Delta Q_i(\tau)$ якісний стан ПМО, то будь-який інший вихідний параметр, сигнал якого $[\xi(\tau) + \Delta \xi(\tau)]$, повинен відповідати таким вимогам контролепридатності :

1. Висока інформативність як наявність прямої залежності між ними :

$$|\xi_i(\tau)| = A_{\xi} |Q_i(\tau)| \quad (28)$$

де A_{ξ} - масштабний коефіцієнт перетворення.

2. Висока чутливість як дозволяюча здатність уловлювати невеликі коливання якості ПМО, щоб відрізнити їх від випадкових х

шумів :

$$\frac{\partial Q_i(\tau)}{\partial \xi_j(\tau)} \Delta \xi_j(\tau) \geq \Delta Q_i(\tau) \quad (29)$$

3. Достовірність сигналу як реальність у часі протікання дії одержуваної інформації :

$$\Delta \tau(\Delta \xi_j) < \Delta \tau(\Delta Q_i) \quad (30)$$

де $\Delta \tau(\Delta \xi)$ - час зйому і дешифровки сигналу;

$\Delta \tau(\Delta Q)$ - час розвитку випадкового дефекта ПМО.

4. Надійність одержання сигналу на весь час роботи процесу - Т як умова

$$|\Delta Q_i(\tau); \Delta \xi_j(\tau); \tau_i| \in |\overline{0, T}| \quad (31)$$

5. Зручність експлуатації обладнання зйому $\xi_j(\tau)$ в умовах ГТМ на виробництві, щоб датчик не заважав роботі верстата в робочій зоні.

Проведений в роботі синтез всіх вихідних інформативних параметрів на вимоги контролепридатності показав, що головним параметром процесу різання, який визначає його якість, є величина зносу інструмента з часом ($h_3 + \Delta h_3$) (знос по задній поверхні). Однак він мало контролепридатний.

Другий головний параметр, який формує якість вихідних параметрів, - сила різання ($P + \Delta P$) - не контролепридатний через багато причин.

Параметр якості - точність обробки ($L + \Delta L$) - має погану достовірність і незручний для реєстрації сигналу в робочих умовах виробництва.

Ці три параметри - величини, що діагностуються - дозволяють створити АСТД за прямим принципом дії функціональної системи ТД. Всі останні вихідні параметри можуть служити лише тільки у вигляді діагностичних ознак вищевказаних параметрів якості для створення АСТД за посереднім принципом.

Але для вибору такої діагностичної ознаки необхідно провести ідентифікацію його в параметром якості, що діагностується, з тим щоб встановити адекватність (або відповідність) зміни цих величин при зміні якісного стану процесу.

За таку діагностичну ознаку в роботі прийнятий динамічний параметр - віброакустика процесу механообробки $(G + \Delta G)$, сигнал якої має хорошу контролепридатність і порівняно просто знімається в працюючого верстата протягом його роботи.

Дослідженнями встановлено, що віброакустика будь-якого динамічного процесу - це збудження в системі пружних коливальних хвиль, які розповсюджуються в ній із звуковою швидкістю. Причина збудження має складний імпульсний характер як удари в зоні контактів системи, розрив або скол матеріалу, пружний або пластичний зсув кристалічної решотки металу деталі, періодичність тертя тіл у вигляді періодичного їх охоплення, натягу і зриву і т.ін. Все це генерує акустичну емісію АЕ з широким діапазоном амплітуд і частот.

При механообробці збуджувачем віброакустики є динамічні складові сили різання $\Delta P_1(\tau)$, яка залежить по (6). Ця сила збуджує іншу динамічну складову $\Delta P_2(\tau)$ (7), котра в свою чергу збуджує автоколивальний процес. Обидві ці сили будуть генерувати певний акустичний фон, енергетичний рівень якого характеризує стійке якісне різання ПНО :

$$(G_{12}(\tau) + \Delta G_{12}(\tau)) = \varphi(\Delta P_1(\tau); \Delta P_2(\tau)) \quad (32)$$

Знос різального інструмента викличе появу додаткової перемінної сили $\Delta P_h(\tau)$ що приведе до збільшення енергетичного рівня віброакустичної емісії, сумарна величина якої в цьому випадку має залежність :

$$(G_{\Sigma}(\tau) + \Delta G_{\Sigma}(\tau)) = \varphi(\Delta P_1(\tau); \Delta P_2(\tau); \Delta P_h(\tau)) \quad (33)$$

В цьому виразі $G_{\Sigma}(\tau)$ - величина середнього сумарного рівня віброакустичного сигналу, а $\Delta G_{\Sigma}(\tau)$ - його перемінна складова, яка визначається амплітудно-частотними характеристиками акустосигналу в будь-якому діапазоні його спектра.

Різниця між (33) і (32) показує приріст віброакустики від зношення інструмента, залежність у спрощеному запису якого дорівнює:

$$\Delta G_{\Sigma h}(\tau) = \varphi(h_3(\tau)) \quad (34)$$

Таким чином, має місце чітка послідовність проведення процедури технічного діагностування процесу різання :

$$|\Delta G_{\Sigma h}(\tau)| \rightarrow |\Delta P_h(\tau)| \rightarrow |h_3(\tau)| \rightarrow |\Delta L; \Delta R_a| \quad (35)$$

Величина зносу визначає працездатність інструмента і якість ПМО. Оскільки між зносом $h_3(\tau)$ і величиною АЕ нема прямої аналітичної залежності, то моделювати дану процедуру ТД треба через $\Delta P_h(\tau)$, як: $|h_3(\tau)| \rightarrow |\Delta P_h(\tau)| \rightarrow |\Delta G_{\Sigma h}(\tau)|$.

Для визначення такої послідовної залежності в якісних показниках необхідно знайти для ланцюга (85) передаточні функції і провести між ними ідентифікацію даних явищ при різанні металів.

При ідентифікації діагностичної ознаки $\Delta G_{\Sigma h}$ і параметра, що діагностується, $\Delta P_h(\tau)$, h_3 не можна одержати ні амплітудної, ні частотної адекватності між ними, хоч ці характеристики мають єдину природу збудження. Між ними визначена лише адекватність за єдиною закономірністю зміни енергетичних рівней від зносу інструмента:

$$U_{Gi}(\tau) = C_{PG} U_{Pi}(\tau) \quad (36)$$

де U_G і U_P - рівні кінетичних енергій цих параметрів при зносі інструмента; C_{PG} - масштабний коефіцієнт співвідношення таких енергій, коли $C_{PG} \ll 1$.

В умовах виробництва виділити для обміру із віброакустичного сигналу окремі складові з різних причин неможливо. Вібродатчик вимірює акустосигнал з верстата повним, єдиним сумарним спектром $G_{\Sigma i}(\tau)$ за будь-який i -ий цикл виміру. Аналогічно можна визначити тільки сумарну величину динамічних сил різання і загальної сили у вигляді $P_{\Sigma i}(\tau)$.

Передаточна функція $\partial P_{\Sigma i}(\tau) / \partial G_{\Sigma i}(\tau)$ визначається на підставі (36):

$$\frac{\partial P_{\Sigma i}(\tau)}{\partial G_{\Sigma i}(\tau)} = \frac{U_{Pi}(\tau)}{U_{Gi}(\tau)} = C_{GP} \quad (37)$$

Аналогічні висновки можна зробити і при ідентифікації параметрів і законів зміни між $h_3(\tau)$ і $P_{\Sigma}(\tau)$. Оскільки на кожній рівній ТОС і при кожному різаному ПМО по деталях і режимах різання будуть свої величини P_{ct} ; $\Delta P_1(\tau)$; $\Delta P_2(\tau)$ і $\Delta T_h(\tau)$, то деякі залежності $P = \varphi(h_3)$ можна знайти тільки експериментально. З допомогою дилатометра можна визначити на початку процесу механообробки P_{2D} (при $h_3 \approx 0$), в кінці при роботі максимально зношеним за якістю

обробки різцем, ^{знайти} $P_{\Sigma} \max$, (при $h_3 \max_{\text{доп}}$).

Так, для чистових процесів точіння в малому та середньому машинобудуванні і приладобудуванні максимально допустимий знос різців по задній поверхні, виходячи з умов якості одержуваної поверхні деталі за критерієм $R_{a \text{ доп}}$, береться в межах:

$h_3 \max = 0,5$ мм, а для чорнового точіння - 0,7 мм.

Тоді експериментально визначається в кожному конкретному випадку співвідношення:

$$h_3 \max = C_{PH} P_{\Sigma} \max \quad (38)$$

де C_{PH} - масштабний коефіцієнт перетворення між цими, різними за природою параметрами.

На підставі (38) можна визначити необхідну передаточну функцію $\partial h_3 / \partial P_{\Sigma}$ шляхом розрахунку:

$$\frac{\partial h_{3i}(\tau)}{\partial P_{\Sigma i}(\tau)} = \frac{h_3 \max}{P_{\Sigma} \max} = C_{PH} \quad (39)$$

На підставі (37) і (39) можна оцінити якість ПМО за зносом різального інструмента по задній поверхні, заміривши з допомогою АСТД величину прирощення рівня віброакустичного сигналу $\Delta G_{\Sigma i}(\tau)$ за відрізок часу $\Delta \tau$ по методиці:

1. Визначаємо прирощення сили різання:

$$\Delta P_{\Sigma i}(\Delta \tau) = \frac{U_{Pi}(\tau)}{U_{Gi}(\tau)} \Delta G_{\Sigma i}(\Delta \tau) \quad (40)$$

2. Визначаємо величину зносу інструмента за $\Delta \tau$:

$$\Delta h_{3i}(\Delta \tau) = \frac{h_3 \max}{P_{\Sigma} \max} \Delta P_{\Sigma i}(\Delta \tau) \quad (41)$$

Замінивши у (40) і (41) відношення на відповідні коефіцієнти перетворення, визначаємо величину зносу інструмента за $\Delta \tau$ згідно з виразом:

$$\Delta h_{3i}(\Delta \tau) = C_{GP} C_{PH} \Delta G_{\Sigma i}(\Delta \tau) \quad (42)$$

В. Визначаємо якість процесу різання при точенні згідно з одержаними в роботі моделями (1), (3), (22) та ін.:

$$\left| h_{zi}(\Delta\tau) < h_{z \max} \right| ; \left| \frac{\partial^2 h_{zi}(\tau)}{\partial \tau^2}(\Delta\tau) = 0 \right| \quad (43)$$

Якщо ці умови не витримуються, то даний процес механообробки губить свою якість.

При використанні АСТД, які навчаються, для функціонального діагностування якості ПМО ці якості оцінюються значно простіше. При настройці системи спочатку на потрібні рівні віброакустичного сигналу для визначеного процесу на даному верстаті з ЧПУ з допомогою нового, гострого різця і аналогічного різця, який спеціально знаходиться у комплекті, із зносом по задній поверхні, величиною 0,5 мм або 0,7 мм, в залежності від умов точності визначаються крайні рівні вібросигналу АЕ, як допустимі критичні значення $G_{\Sigma 0}$ і $G_{\Sigma \max}$.

Під час обробки партії деталей система АСТД сама визначає поточне значення сигналу $G_{\Sigma i}(\tau)$, який знімається в процесу різання, і розпізнає технічний якісний стан процесу різання за посереднім принципом. Для такого розпізнавання в роботі створені моделі - образи якісного стану ПМО :

Процес механообробки якісний, якщо :

$$\left| \begin{array}{l} G_{\Sigma i}(\tau) < G_{\Sigma \max} \\ \frac{\partial^2 G_{\Sigma i}(\tau)}{\partial \tau^2}(\Delta\tau) = 0 \end{array} \right| \quad (44)$$

В процесі різання з'явився симптом відмови, якщо :

$$\left| \begin{array}{l} G_{\Sigma i}(\tau) = G_{\Sigma \max} \\ \frac{\partial^2 G_{\Sigma i}(\tau)}{\partial \tau^2}(\Delta\tau) \neq 0 \end{array} \right| \quad (45)$$

Процес різання втрачає працездатність, якщо :

$$\left| \begin{array}{l} G_{\Sigma i}(\tau) > G_{\Sigma} \max \\ \frac{\partial^2 G_{\Sigma i}(\tau)}{\partial \tau^2}(\Delta\tau) > 0 \end{array} \right| \quad (46)$$

Для визначення якісного стану ПМО з допомогою віброакустики різання системою АСТД в дисертації розроблений алгоритм функціонування такої системи, узагальнений вид якого представлений на рис.6.

Як показала практика експлуатації таких систем ТД по визначенню якості ПМО на основі реєстрації загальних рівней віброакустичного сигналу, іноді виникають випадкові збої в оцінці якості ПМО. При роботі на маложерстких ТОС або на жорстких ТОС, але на малих режимах обробки, випадкові процеси, які завжди мають місце на виробництві, можуть викликати помилкове спрацювання АСТД з причини резонансних явищ АЕ.

В таких випадках надійніше оцінювати якість ПМО на основі упорьнених відносних критеріїв, які зглажують випадкові викиди. За такий упорьнений критерій рекомендується приймати коефіцієнт відносної зміни акустосигналу із зони різання m_{Gi} , який ви- значається

$$m_{Gi}(\tau) = G_{\Sigma i}(\tau) / G_{\Sigma 0} \quad (47)$$

де $G_{\Sigma 0}$ - одержаний експериментально початковий загальний рівень віброакустичного сигналу при роботі гострим різцем на першій деталі при настройці АСТД на дані умови ПМО, коли $h_{z0} \approx 0$.

Використовуючи при такій настройці АСТД із набору різець, у якого вже є допустимий по якості знос на вадній поверхні $h_{z \max}$, можна визначити експериментально $G_{\Sigma} \max$ - максимально допустимий рівень такого сигналу і встановити допустиме значення

$m_{G \max}$, як :

$$m_{G \max} = G_{\Sigma} \max / G_{\Sigma 0} \quad (48)$$

На підставі (47) і (48) будуються моделі- образи якості ПМО.

Він буде якісним, якщо :

$$\left. \begin{aligned} m_{Gi}(\tau) < m_G \max \\ \frac{\partial^2 m_{Gi}(\tau)}{\partial \tau^2} \Delta \tau = 0 \end{aligned} \right| \quad (49)$$

Якщо ці умови при роботі будуть порушуватись, то даний ПМО почне втрачати якість. Моделі цих показників формуються аналогічно (45) і (46). Алгоритми роботи АСТД на такому принципі повністю аналогічний раніш представленою на рис.6, тільки в систему додається додатково дільник.

В дисертації розроблено алгоритмічне, програмне і системне забезпечення для створення ефективних АСТД функціональної дії для ПМО, які працюють на основі зйому в процесу віброакустичного сигналу.

На рис.7 показана одержана структурна модель функціональної схеми АСТД. З допомогою датчика D_G - п'єзоелектричного акселерометра з високою дозволяючою здатністю по низьких частотах, сигнал після підсилення і подвійної фільтрації детектується детектором D_T і підлягає аналізу за алгоритмом.

При цьому є блок дотику - наявності різання, де лічильник часу - СЧВ, який живиться від таймера Т, стежить за наявністю дотику інструмента і деталі для реєстрації аварійних ситуацій збою в установленні деталі або інструмента. Всі вироблені системою сигнали через БС - блок обпрямиць - передаються на СЧПУ верстата, де підпрограма контролю виробляє відповідні команди на ТОС, дешифруючи одержану інформацію. АСТД працює в реальному масштабі часу. Навчання (настройка) системи виконується низкою ЗУ - задаючих пристроїв, які визначають потрібні рівні сигналів.

В кінці роботи розглянуті приклади побудови реальних АСТД на основі віброакустичного сигналу для визначення якості ПМО, як перевірка і реалізація розробленої методології створення таких систем. При цьому розглядаються чотири різних методи такої можливої реалізації, які мають свої особливості.

Перший метод оснований на діагностуванні ПМО по середній інтегральній акустосигналу. При цьому сигнал, що знімається з процесу, розглядається як його середній інтегральна $G_{срi}(\tau)$ і мо-

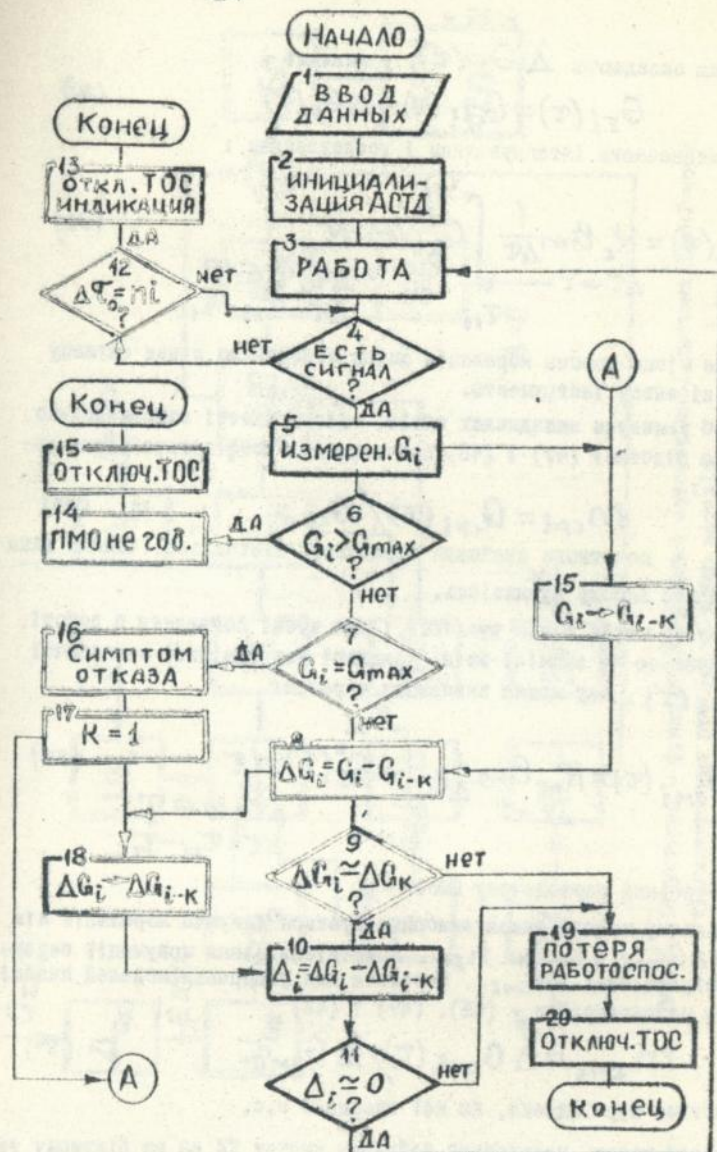


Рис. 6. Усовершенствованный алгоритм функционирования системы технического диагностирования процесса резания металлов.

дуляційна складова $\Delta G_i(\tau)$ у вигляді :

$$G_{\Sigma i}(\tau) = G_{ср i}(\tau) + \Delta G_i(\tau) \quad (50)$$

ІІ визначають інтегруванням і усередненням :

$$G_{ср i}(\tau) = K_c \lim_{\Delta\tau \rightarrow T} \frac{1}{\Delta\tau} \int_{\tau_{ii}}^{\tau_{2i}} G_{\Sigma i}^2(\tau) d\tau \quad (51)$$

$\Delta\tau; \tau \in T$
 $\Delta\tau = \tau_{2i} - \tau_{ii}$

Має місце хороша кореляція зміни середнього рівня сигналу при зміні зносу інструмента.

Щоб уникнути випадкових збоїв, оцінку якості запропоновано вести на підставі (47) і (48) при допомозі коефіцієнта рівня модуляції :

$$m_{ср i} = G_{ср i}(\tau) / G_{ср 0} \quad (52)$$

де $G_{ср 0}$ - початкове значення середньої інтегральної. Однак така система має високу чутливість.

Другий метод більш чутливий і дає кращі показники в роботі. Він базується на аналізі змін середньої модуляційної складової $\Delta G_{ср i}(\tau)$, яку можна визначити виразом:

$$\Delta G_{ср i}(\tau) = K_M \lim_{\Delta\tau \rightarrow T} \frac{1}{\Delta\tau} \int_{\tau_{ii}}^{\tau_{2i}} \Delta G_i^2(\tau) d\tau \quad (53)$$

$\Delta\tau; \tau \in T$
 $\Delta\tau = \tau_{2i} - \tau_{ii}$

де T - повний період часу ПМО.

В цьому методі також використовується існуюча кореляція між зміною $\Delta G_{ср i}$ і зносом h_{32} . Коефіцієнт рівня модуляції середньої модуляційної $m_{ср i}$ береться для утворення моделей якості процесу механообробки - (46), (47) і (48) :

$$m_{ср i} = \Delta G_{ср i}(\tau) / \Delta G_{ср 0} \quad (54)$$

Система впроваджена, на ній одержано р.с.

Третій метод передбачає побудову систем ТД на ще більшому усередненні (2-а фільтрація), що дозволяє застосовувати такі системи при малостійких процесах механообробки на чистових, мало ванта-

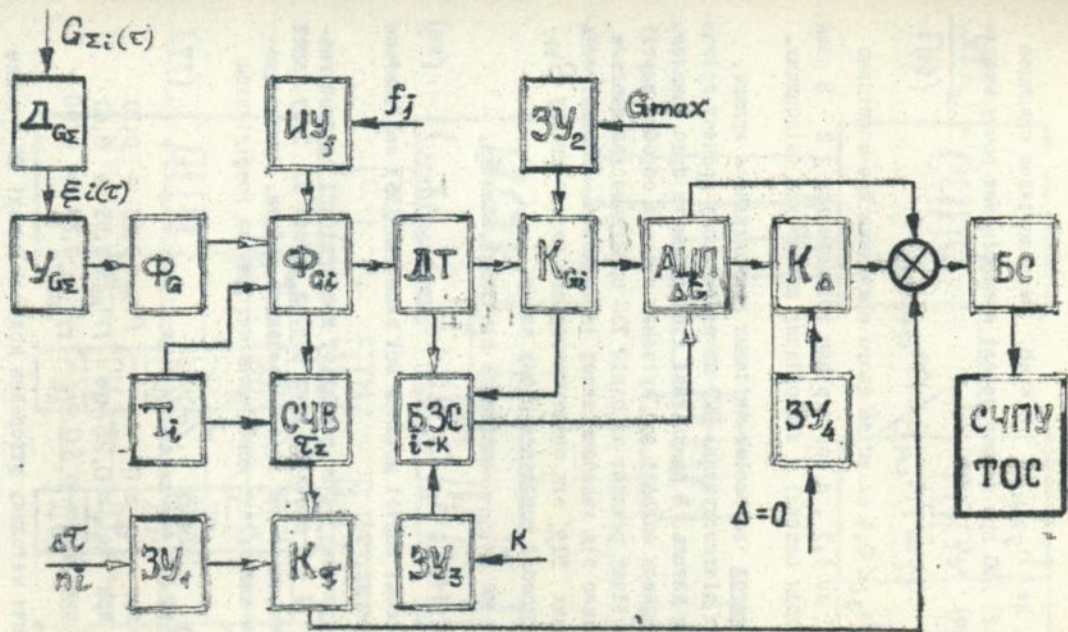


Рис. 7.. Структурно - функціональна схема автоматичної системи технічного діагностування процесу різання металів.

жених процесах, де $h_{3\text{доп}} \leq 0,4$ мм. Метрологічною одиницею визначення якості ПМО при такому методі є коефіцієнт росту модуляційної складаючої ψ_i :

$$\psi_i = m_{\text{см}i} / m_{\text{см}(i-1)} \quad (55)$$

При значеннях $h_{3i} < 0,4$ мм зміна цього показника йде монотонно на приріст від 1 до 1,5, а потім різко збільшується у 2 - 3 рази.

Всі три методи описані у відповідних авторських свідоцтвах.

Четвертий метод за своїми якісними показниками є кращим. Він оснований на діагностуванні ПМО по перехідному процесу врізання інструмента в деталь. В результаті експериментів було виявлено, що акустичний сплеск сигналу при врізанні під час обробки партії деталей при постійних режимах на одній ТОС практично залишається постійним незалежно від величини зносу інструмента. Спостерігається приріст в межах 10% від загального рівня акустосигналу $G_{\text{вр}}$. В роботі дані підробні пояснення цьому явищу.

Встановлено, що $G_{\text{вр}}$ залежить від таких величин.

$$G_{\text{вр}} = \varphi(M; H; C; G_B; v; t; S_0; j_{\text{зем}}; j_{\text{ин}}; \gamma \dots) \quad (56)$$

Оскільки при обробці партії деталей всі величини (56) залишаються приблизно постійними, то

В той же час прирощення рівня середньої модуляційної акустосигналу (58) складає 3 - 5 разів за весь період роботи T. Тому даний метод є перспективним і дає хороші показники роботи. Аналіз якості ПМО ведеться аналогічно попереднім методом за коефіцієнтом порівняння \bar{i}

$$m_{\text{вр}i} = \Delta G_{\text{см}i}(\tau) / G_{\text{вр}} \quad (57)$$

Встановлено, що при $h_3 \approx 0$ $m_{\text{вр}} = 0,25 \div 0,80$
 при $h_3 = 0,25$ мм $m_{\text{вр}} = 0,55 \div 0,60$
 при $h_3 = 0,50$ мм $m_{\text{вр}} = 0,80 \div 0,90$

Використовуючи методику утворення моделей якості ПМО, можна протестувати створити надійну АСТД.

Всі вказані методи реалізовані, опробовані і впроваджені на різних підприємствах.

На рис.8. показана схема таких систем.

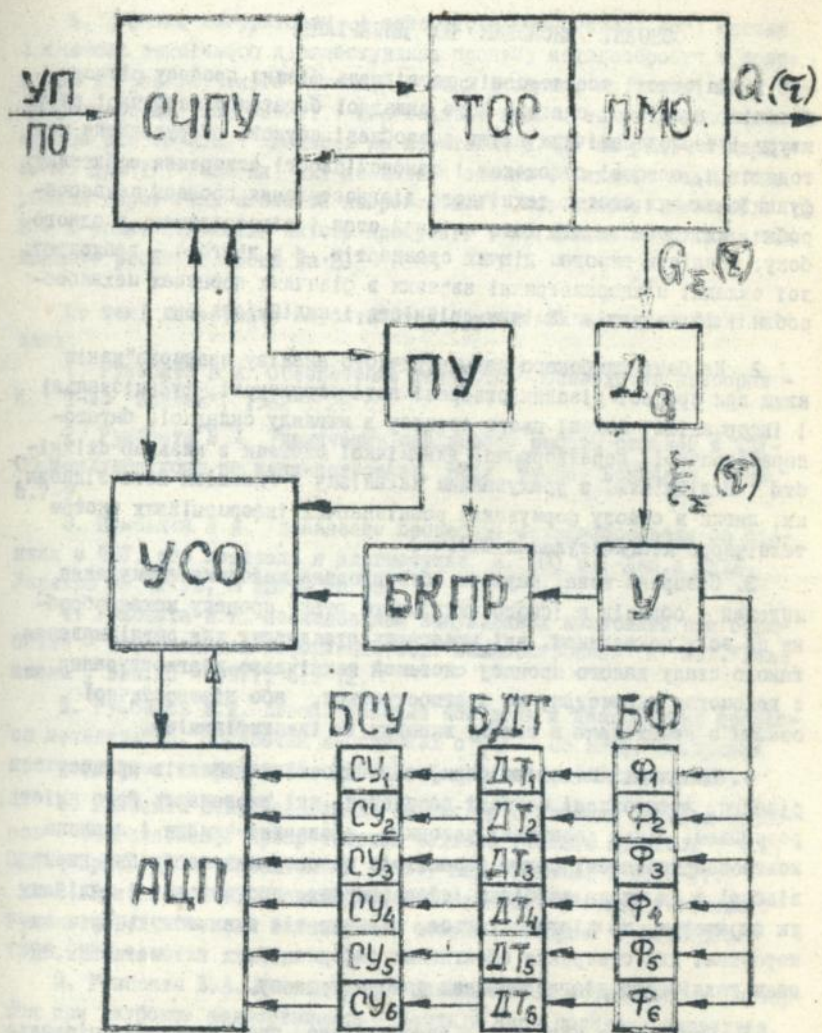


Рис. 8. Функциональная блок-схема АСТД

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО ДИСЕРТАЦІЇ

1. На основі всесторонніх досліджень фізики процесу різання металів, аналіза і синтеза його складної багатопараметричної структури і термодинамічних явищ розроблені науково обгрунтована методологія, основні положення і закономірності створення ефективних функціональних систем технічного діагностування процесу механообробки, які розпізнають його якісний стан і відповідають, з одного боку, повністю вимогам діючих стандартів, а з другого - враховують всі складні міжпараметричні зв'язки в фізичних процесах механообробки і її низьку динамічну стійкість і надійність.

2. На базі глибокого параметричного аналізу взаємозв'язків явищ при процесі різання створені нові структурні, функціональні і інформаційні моделі цього процесу в вигляді складної, багатопараметричної, перетворюючої динамічної системи з низькою стійкістю і надійністю, з урахуванням механізму і динаміки його відмови, які лягли в основу формування розпізнаючих інформаційних систем технічного діагностування ПМО.

3. Створена нова, науково обгрунтована методика формування моделей - образів ясного технічного стану процесу механообробки по всіх показниках, які вимагають стандарти, для розпізнавання такого стану даного процесу системою технічного діагностування з допомогою параметра, що діагностується, або діагностичної ознаки з необхідною в такому випадку їх ідентифікацією.

4. Виявлені механізми формування якості і дефектів процесу різання, встановлені основні параметри, які визначають його якість, розроблені більш досконалі методика, експертні вмощи і правила контролепридатності таких параметрів процесу механообробки при відборі з їх числа найбільш інформативних, достовірних і надійних як параметри, що діагностуються, сигнали від яких можуть бути використані для створення ефективних інформаційних автоматичних систем технічного діагностування даного процесу.

5. Розроблено методичне, алгоритмічне, програмне, функціонально-структурне і апаратне забезпечення для створення функціональних, інформаційно-розпізнаючих, автоматичних систем діагностування процесу механообробки за прямим або посереднім принципом функціонування.

6. Науково обґрунтовані і описані, запропоновані нові методи і системи технічного діагностування процесу механообробки з допомогою віброакустичного сигналу із зони різання, на основі яких були розроблені, опробовані і впроваджені зразки таких діагностичних систем для токарних процесів на верстатах з ЧПУ на ряді підприємств Росії і України, які дозволили значно збільшити надійність роботи верстатів, зменшити непродуктивні позациклові простой в 3 - 4 рази, підвищити якість продукції і збільшити продуктивність кожного робочого місця на 20 - 30 %.

По темі дисертації опубліковано близько 30 праць, основні з яких:

1. Румбешта В. А. Обеспечение точности производства приборов - К.: Т-во "Знання", 1982, 28 с.
2. Румбешта В. А. Увеличение надежности работы станков с ЧПУ - Сб. Междунар. конф. по машиностроению, ВИАИ, Тумен, Болгария, 1983, с. 7-9.
3. Румбешта В. А. Управление процессом механообработки на станках с ЧПУ, его контроль и диагностика - К.: 100 с. - Деп. в ГНТБ Украины 06.12.93, № 2395-Ук 93.
4. Румбешта В. А. Исследование вынужденных колебаний при обработке - Реферативная информация, сер. "Машиностроение", К.: Изд. "Вища школа", вып. 20 - 1977, с. 9-12.
5. Румбешта В. А. Автоматический контроль и диагностика процесса механической обработки на станках с ЧПУ - Сб. конф. "Внедрение прогрессивных технологий", РДНТЭИ, К.: Знання, 1986, с. 14-15.
6. Румбешта В. А. Управление качеством обработки деталей приборов - Сб. Респ. конф. "Прогрессивные технологические процессы", ч. 2, СПИ - Приборпром, Севастополь, 1984, Изд. "Техника", с. 16-17.
7. Румбешта В. А. Параметрическая точность (Раздел учебника: Румбешта В. А. "Основы технологии, сборки приборов" - К.: ИСДО, 1993, 323 с.
8. Румбешта В. А. Исследование динамической устойчивости разверток при глубоком развертывании - Вестник Киев. политехн. института, Сер. "Приборостроение" - 1972 - вып. 3 - с. 37-38.
9. Румбешта В. А. К вопросу динамики процесса глубокого развертывания - Вестник Киев. политехн. ин-та, Сер. "Приборостроение", 1975 - вып. 5 - с. 35-37.

10. Румбешта В.А. О повышении динамической устойчивости разверток при глубоком развертывании - Сб.Респ.конф. "Прогрессивные технологические методы обработки материалов", РДНТЭН, К. : 1972, Знание, с.9-10.

11. А.с. СССР 981475. Устройство контроля процесса обработки - (В.А.Остафьев, В.В.Кокаровцев, В.А.Румбешта и др.) - Открытия, изобретения, 1983, № 6.

12. А.с. СССР 1076859. Устройство управления процессом резания (Коломиец С.Д., Остафьев В.А., Румбешта В.А., Кривошлыков А.Ю., Тымчик Г.С.) - Открытия, изобретения, 1984, № 8.

13. А.с. СССР 1207745. Устройство для контроля состояния инструмента (Остафьев В.А.; Кокаровцев В.В., Румбешта В.А., Харкевич А.Г.) - Открытия, изобретения, 1986, № 10, В23В.

14. А.с. СССР 911217. Способ испытания материалов на обрабатываемость точением (Антонюк В.С., Остафьев В.А., Румбешта В.А. и др.) - Бюлл.изобретен., 1980, № 9.

15. Румбешта В.А., Остафьев В.А., Кокаровцев В.В. Система контроля процессов обработки на станках с ЧПУ - Вестн.Киев.политехн. ин-та, сер. "Приборостроение" - 1989, выш.14, с.68-69.

16. Румбешта В.А., Кокаровцев В.В., Харкевич А.Г. Организация системы диагностики инструмента в процессе обработки - Сб. Всесоюз. конф. "Стойкость и диагностика режущего инструмента в условиях автоматизированного производства", ИДНТИ, Ижевск, 1983, с.36-37.

17. Камаев Ю.Н., Румбешта В.А., Кокаровцев В.В. Система управления процессом резания - Материалы междунар. конф. по машиностроению, ВМЭИ - Шумен, Болгария, 1983, с.8-11.

18. Разработка системы диагностики процесса механической обработки для станков с ЧПУ (Румбешта В.А., Кокаровцев В.В., Скипчук В.И., Науменко В.С.) - К., 1987 - 64 с. - Деп. в УкрНИИТИ 24.10.87, № 984 Т.

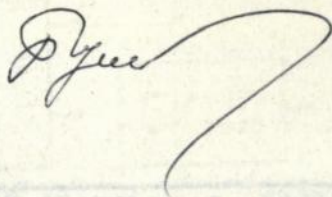
19. Румбешта В.А., Максимчук И.В. Гибкие производственные системы - Методич. указания по автоматизации производства - К.: 1990, Укрвузполиграф - 48 с.

20. Физические основы процесса резания металлов (Остафьев В.А., Стабии И.П., Румбешта В.А., Усачев П.А. и др. Под ред. В.А.Остафьева) - К., "Вища школа", 1976, 136 с.

21. Разработка методов и устройств автоматического управления процессом точения на станках с ЧПУ (Румбшта В.А., Тымчик Г.С., и др.) - К.: 1984, 96 с. - Деп. в ВИНТИ 26.04.84, № 016300412, 4,65 МПС.

22. Разработка лазерных методов и устройств контроля износа режущего инструмента (Румбшта В.А., Тымчик Г.С. и др.) - К.: 1985, 110 с. - Деп. в ВИНТИ 02.06.85, № 0484001822, 93 МПС.

23. Румбшта В.А., Харкевич А.Г., Кокаровцев В.В. Определение ограниченный процесса токарной обработки маложестких деталей по критерию устойчивости - Сб. Всесоюз. конф. "Прогрессивная технология обработки маложестких деталей", Куйбышев, ЦДНТИ, Тольятти, 1986, с.89-40.

A large, stylized handwritten signature in black ink, appearing to read 'Румбшта'.

Підп. до друку 28.06.94 . Формат 60x84/16. Папір друк. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 1,6 . Ум. фарбо-відб. 1,6 : Обл.-вид. арк. 1,86
Тираж 100 пр. Зам. 169 Безкоштовно.

Віддруковано в Інституті математики АН України
252601 Київ 4, ГСП, вул. Терещенківська, 5

158276

158071

AB 30.683

AB 30.683