

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

СІВАНОВ Анатолія Миколайович

КОМПЕНСАЦІЯ ВІДЖАТЬ ФОРМУТВОРИЮЧОЇ СИСТЕМИ
МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ КОНСОЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня кан-
дидата технічних наук

Київ - 1992

Робота виконана на кафедрі автоматизованих технологічних комплексів
машинобудування Одеського інституту низькотемпературної техніки та
енергетики

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор Мешеряков Г.М.
Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Кипелєв В.Ф.
кандидат технічних наук, доцент Якимчук Г.К.

Ведуче підприємство: Одеське верстатобудівне виробниче об'єднання
/ОВВВ/, м. Одеса

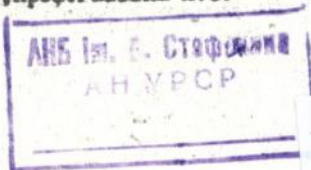
Захист відбудеться 21 грудня 1992 р. на засіданні спеціалізованої
Ради Д 068.14.10 в Київському політехнічному інституті за адресою:
252056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, КПІ, корп. I, ауд. 214

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту

Автореферат розісланий 17 листопада 1992 р.

Ваш відзвів на автореферат дисертації в одному примірнику, завіреним
печатком, просимо направляти за вказанною вище адресою.

Вчений секретар спеціалізованої Ради
д.т.н., проф. Равська Н.С.



ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00814403 (K)

АНОТАЦІЯ

Дисертація присвячена актуальним для машинобудування задачам - розробці та випробуванню систем адаптивного управління протидеформацій базових вузлів для зниження відхилень формуютьорської системи верстатів консольної компоновки.

Цілью роботи являється підвищення жорсткості та точності верстатів без збільшення їх металомеккості. дослідження направлене на інтенсивне поліпшення статичних та динамічних характеристик пружних систем верстатів типу радіально-свердильних /РСВ/. Однак, задача зниження відхилень формуютьорської системи виявляється достатньо загальною і результати можуть бути використані для одноствочних карусельних верстатів, для електродугових та електрохімічних верстатів з прокачуванням технологічної рідини через міжелектродний проміжок в герметизованих камерах, для інших верстатів з консольною компоновкою обробляючих головок.

Експериментально та теоретично досліджені динамічні характеристики еквівалентної пружної системи при випадкових та детермінованих збуреннях.

Автор захищає:

1. Математичну модель розрахунку відхилень формуютьорської системи радіально-свердильного верстату з системою адаптивної протидеформації зовнішньої колони. Результати випробувань РСВ мод. 2554 з САУПД, знижуючої відхилень шпіндельної головки.

2. Застосування САУПД в верстатах для розмірної електродугової обробки шляхом використання тиску технологічної рідини в герметизованій камері, де ведеться обробка, як джерела слідкуючого керулючого сигналу для виконавчої гідросистеми приводу протидеформації.

3. Результати теоретичних та експериментальних досліджень динамічної точності еквівалентної пружної системи верстату при гармонічних та випадкових коливаннях. Ефект зменшення імовірної динамічної податливості одномасової еквівалентної пружної системи при випадкових коливаннях.

4. Нові технічні рішення, направлені на підвищення жорсткості та точності пружних систем верстатів і захищені авторськими свідоцтвами: колона радіально-свердильного верстату, гаситель коливань, устаткування для розмірної електродугової обробки.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Для сучасних металообробних верстатів традиційно гострою лишається проблема забезпечення їх статичної та динамічної жорсткості та точності. При обробці отворів широко застосовуються радіально-свердлильні /РСВ/ та координатно-свердлильні /КСВ/ верстати з консольним розташуванням оброблюючих головок на рукаві. При цьому робоча зона відкрита для транспортних, контрольних та інших систем. Істотним недоліком, присутнім цим верстатам, є відносно висока податливість їхньої формутворюючої системи. При цьому разом зі статичними віджаттями виникають коливання, які обмежують продуктивність та точність обробки.

Задача підвищення жорсткості та забезпечення точності пружної системи загострилася зараз і в електродугових металообробних верстатах. Емдукційний метод електрообробки - розмірна обробка дугою /РОМ/ - дозволяє істотно підвищити продуктивність. Обробка ведеться в герметизованій камері в динамічному потоці технологічної рідини при тиску до 2 МПа. Переміщення електродугового розряду по оброблювальній поверхні має явно виражений нерегулярний характер, який підкоряється імовірностному опису. Усе це приводить до статичних та динамічних віджаттів, впливаючих на досягнутому точність обробки.

Ефективним шляхом зниження металоспоживання та підвищення точності є застосування систем адаптивного управління, запропонованих та розроблених в роботах Е.С. Балакіна, Е.М. Газрова, Л.С. Равви, Е.М. Соломенцева та інших. Концепція дисертації полягає у використанні системи адаптивного управління протидеформацій /САМІД/ базових вузлів для підвищення жорсткості та точності верстатів. Особливо актуальні ці системи для відносно податливих верстатів, де традиційні методи підвищення жорсткості збільшенням поперечних перерізів та мас вузлів себе не виправдовують. Вивченню вказаних задач присвячена значна кількість публікацій вітчизняних та зарубіжних винахідників. Кількість публікацій відображає актуальність цих питань в сучасному машинобудуванні. Однак, немає підстав вважати задачі розробки та досліджень систем адаптивного управління в різноманітних верстатах вирішеними.

Ціль та задачі роботи. Цілью роботи є підвищення жорсткості та точності радіально-свердлильних та електродугових верстатів консольної компоновки без збільшення металоспоживання.

В роботі вирішені наступні задачі.

1. Розробка математичної моделі просторової деформації формувальної системи радіально-свердильних верстатів.
2. Розробка принципової схеми та обладнань САУПД РСВ. Експериментальна перевірка працездатності системи. Оцінка силових та деформаційних характеристик гами РСВ з урахуванням використання САУПД.
3. Застосування методу адаптивної протидеформації для електродугового верстату з розробкою нового технічного рішення.
4. Теоретичне та експериментальне дослідження динамічної точності еквівалентної пружної системи при гармонічному та випадковому збудженню коливаль.

Методи дослідження. Газові вузли верстату подані координатними системами з деформуючими зв'язками. Ця математична модель дозволить вести розрахунки відхилень з урахуванням місць встановлення чутливих та виконавчих елементів протидеформації.

Динамічні характеристики еквівалентної пружної системи досліджуються детермінованими та ймовірнісними методами в рамках спектральної теорії стаціонарних випадкових коливаль.

Як об'єкти експериментальних досліджень використовувалися: лабораторний радіально-свердильний верстат, цеховий РСВ мод. 2554, вібростіл зі збудником гармонічних та випадкових коливаль, лабораторний верстат для розмірної електродугової обробки.

Наукова новизна роботи заключається в наступному:

- розроблена математична модель пружної системи РСВ з адаптивною протидеформацією базових вузлів, причому зв'язки, які деформуються є активними управляемими;
 - метод адаптивної протидеформації застосований для компенсації відхилень пружної системи та підвищення точності електродугового верстату;
 - проведені порівняльні випробування еквівалентної пружної системи при випадкових та гармонічних коливаннях, теоретично та експериментально показано зниження ймовірнісної динамічної податливості пружної системи при випадковому збудженні коливаль;
 - за результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновані нові технічні рішення, спрямовані на підвищення статичної та динамічної точності пружних систем верстатів та їх технологічних устаткувань при використанні активного управління.
- Практична цінність. Проведено експериментальне підтвердження працездатності САУПД РСВ при статичних випробуваннях та при свердлінні. Досліджена у верстаті мод.2554 периферія-

на система протидеформації зовнішньої колони показала можливість зниження відхилень інструменту при свердлінні в два рази. Зменшення відхилень формуючої системи веде до збільшення коефіцієнту жорсткості та підвищення точності обробки; дозволяє підвищити продуктивність. Можливе зниження металоспоживності верстатів, обладнаних системами адаптивної протидеформації. Зменшується технологічна трудомісткість їх збірки. Підтримання жорсткості та точності пружної системи верстату здійснюється адаптивною системою, що збільшує їх ресурс в процесі експлуатації. Запропонована система повинна здійснити вплив на гаму верстатів: принципово змінюється підхід до проектування, т.я. можливості кожної моделі, обладнаної адаптивною протидеформацією, розширяться по максимальному діаметрі отворів та граничному радіусі свердління. Розроблені технічні рішення дозволяють поліпшити статичні та динамічні характеристики РСВ, електродугових верстатів та їх технологічних устаткування.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень передані Одеському верстатобудівному виробничому об'єднанні у вигляді науково-технічного звіту. Науково-технічна рада схвалила проведені випробування, як забезпечуючі підвищення точності, реалізованої потужності, продуктивності, розширюючи технологічні можливості гами радіально-свердильних верстатів. Рекомендації використані у дослідно-конструкторських розробках РСВ.

Звіт по розрахункам пружних відхилень та підвищенню коефіцієнту жорсткості електродугового верстату переданий в НВО "Кисеньма". Результати та рекомендації використовуються при проектуванні експериментальних верстатів.

На створені в процесі досліджень нові технічні рішення одержані авторські свідоцтва на винахід № 757796, № 971584, № 1484506.

По матеріалам дисертації розроблені методичні вказівки до лабораторної роботи, яка впроваджена в навчальний процес в ОНТЕ.

Апробація роботи. Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на: I-ій Всесоюзній науково-технічній конференції "Динаміка верстатів" м. Кузбиль, 1960 р.; на семінарі по науковим основам міцності при Харківському будинку вчених / м. Харків, 1979 р.; на II-ій Всесоюзній науково-технічній конференції "Динаміка верстатних систем ГАН / м. Тольятті, 1968 р., на наукових конференціях ОНТЕ.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 14 друкованих праць, в тому числі 2 звіти НДР і 3 авторських свідоцтва.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу,

п'яти розділів, висновку, списку літератури та додатків. Об'єм дисертації 147 сторінок машинописного тексту, 45 малюнків, 13 таблиць, 5 додатків. Список літератури включає 126 праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

У вступі обґрунтована актуальність теми дослідження, основні задачі, методи досліджень.

Перший розділ присвячений огляду літератури з питань дисертації, розглянуто вплив віджаття формуючої системи на точність сучасних металорізючих та електрообробних верстатів. Багато дослідників приділяють увагу не тільки детермінованим, але і імовірним моделям коливань у верстатах. Адаптивне управління режимами, пружними віджаттями являється сучасним і перспективним шляхом інтенсивного поліпшення точності верстатів. На основі огляду літератури сформульовані ціль та задачі дисертації.

В другому розділі показано застосування методу координатних систем з деформуючими зв'язками для аналізу віджаття вузлів РСВ. Приведені теоретичні залежності для дослідження динамічної точності розточувального технологічного налагодження, описаний стенд, на якому проводилось фізичне моделювання випадкових та гармонічних коливань пружної системи. Описані радіально-свердлильний верстат із САУЦД та схема вимірів віджаття цехового РСВ мод. 2554.

Аналітичні дослідження віджаття формуючої системи РСВ виконані в третьому розділі. Записані векторні рівняння деформацій координатних систем, які уявляють собою базові вузли РСВ. Для приведеної динамічної схеми пружної системи виконані розрахунки дисперсій амплітуд при випадкових коливаннях, проводиться оптимізація параметрів по мінімуму дисперсій та викидам амплітуд.

В четвертому розділі викладені результати динамічних досліджень пружної моделі при гармонічних та випадкових збудженнях коливань. Описана принципова схема активного динамічного гасителя коливань з гідроприводом. Сформульований ефект зменшення динамічної податливості однамасової пружної системи при випадкових коливаннях. Визначені динамічні характеристики верстату, використаного для попередніх випробувань САУЦД РСВ.

П'ятий розділ включає результати досліджень САУЦД РСВ. Дослідження цехового РСВ мод. 2554 проведені при визначенні балансу податливості без САУЦД та при свердлінні з системою протидеформації. Проведено аналіз силових та деформаційних пружних систем тами РСВ з САУЦД. Описана САУЦД РОД для електродугового верстату. Розглянуті перспективні задачі для подальших досліджень САУЦД. Запропонована

САУПД із електрогідравлічним управлінням та схема ЧПУ/САУПД РСВ.

ОСНОВНИЙ ЗІСТ РОБОТИ

Основні якісні та техніко-економічні показники металообробних верстатів зв'язані зі статичними та динамічними властивостями формуютьвірної системи. Віджаття формуютьвірної системи являються визначальними для забезпечення жорсткості та точності при консольній компоновці.

На мал. 1 показана схема радіально-свердильного верстату з консольним розміщенням свердильної головки на рукаві. Нормативне віджаття шпинделю РСВ мод. 2554 складає 2,1 мм при зусиллі на свердлі 20 кН. В робочому полі компоновки РСВ та КСВ існують зони максимальних вилетів та найбільшої висоти підйому рукава на колоні, де можливо виникнення коливань, що затруднюють обробку.

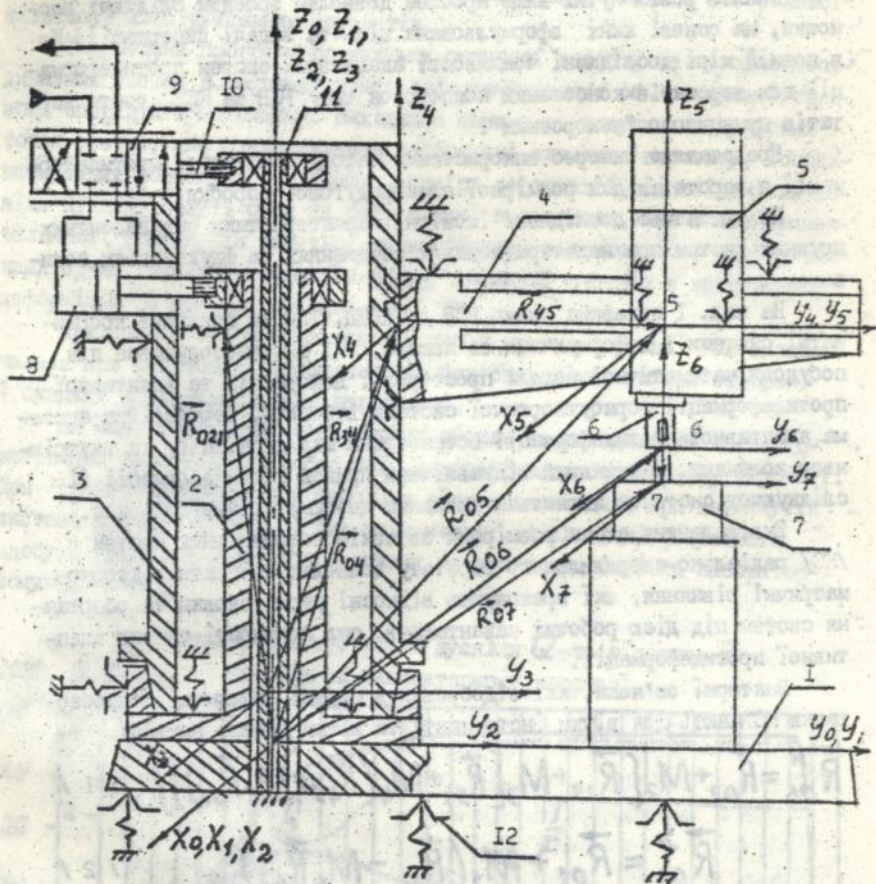
Несуча система верстатів для розмірної електродугової обробки підлягає інтенсивному віджаттю силами гідростатичного тиску робочої рідини в герметизованій камері, в якій іде процес "електрорізання". Розглядаємі РСВ та електродугові верстати об'єднує тут загальна ціль-забезпечення жорсткості та точності при консольній компоновці оброблєтєх головок.

Зв'язок статичних та динамічних характеристик пружних систем верстатів, їх вібрації досліджуютьєся в роботах В.В. Камінської, С.С. Кедрова, Ф.Л. Копєєва, В.А. Кудінова, Л.Ф. Копєєва, А.С. Проникова, В.Е. Пуша та інших. імовірністним методам дослідження коливань в машинах та конструкціях присвячені роботи В.В. Голотіна, А.С. Гусєва, С. Кренделла, Н.А. Николаєнко, В.А. Світлицького, А.А. Свєшнікова та інших. Ці методи доповнюють детерміновані розрахунки і направлені на створення більш точних машин, верстатів, технологічних процесів.

Прогресивна тенденція підвищення точності технологічного устаткування основана на розробках систем адаптивного управління. Технологічною метою адаптивного управління являється підвищення продуктивності та точності виготовлення виробів заданої якості та собівартості. Автоматичне управління пружними віджаттями формуютьвірної системи вивчається в роботах В.Н. Абдулова, Б.М. Газрова, Е.С. Балєкшина, В.М. Возного, С.Я. Галицького, Г.М. Кеєрєєкова, В.Г. Митрофанова, В.М. Подурєєва, С.Д. Протопопова, М.С. Равви, Л.М. Соломенцева, С.Н. Шаєхіна та інших.

Колівання в активних управлєтєх системах, працюєтєх з підводом енергії, розглядалися в роботах С.В. Іноєва, М.З. Коловського,

Схема радіально-свердильного верстату з системою адаптивної протидеформації та координатними системами базових вузлів



- I - базова плита; 2 - внутрішня колона; 3 - зовнішня колона;
 4 - рукав; 5 - свердильна головка; 6 - шпиндель з інструментом;
 7 - деталь; 8 - виконавчий циліндр САУЦД; 9 - розподільник;
 10 - шток розподільника; II - базова стійка; I2 - деформуючий зв'язок.

К.В. Фролова та інших. Для усунення низькоамплітудних коливань технологічних устаткувань широко використовуються динамічні гасителі. Дяється актуальною розробка нових гасителів з активним управлінням коливаннями. Цей шлях являється продовженням принципу адаптивного управління протидеформацій в більш високу область частот, де мова йде про підвищення точності технологічного устаткування.

Аналіз розглянутих вище проблем дозволяє зробити наступні висновки, на основі яких сформульована ціль та задачі дисертації. Не в повній мірі досліджені можливості адаптивних систем протидеформації для верстатів консольних компонок типу РСВ та КСВ, тобто верстатів принципово "нежорстких".

Представляє інтерес використання методу адаптивної протидеформації в верстатах для розмірної електродугової обробки.

Не достатньо досліджені імовірні характеристики еквівалентних пружних систем при недетермінованих збудженнях та флуктуаціях коливань.

На мал. I показана схема РСВ з САУПД. Там же показані координатні системи з деформуваними зв'язками, які використовуються для побудови математичної моделі просторової деформації та адаптивної протидеформації формотвірної системи верстату. Периферійна система адаптивної протидеформації встановлена між зовнішньою та внутрішньою колонами. Виконавчий гідравлічний привод протидеформації зі слідуючою системою являється активним деформувальним зв'язком.

Еквівалентна схема розмірних зв'язків координатних систем /КС/ радіально-свердильного верстату дозволяє одержати векторно-матричні рівняння, які враховують відносні перестановки та обертання систем під дією робочих навантажень, сил пружності та сил адаптивної протидеформації.

Векторні зв'язки, які відображають пружні деформації та обертання КС мають для вітки інструменту та вітки деталі вигляд:

$$\bar{R}_{06}^I = \bar{R}_{02} + M_2 \{ \bar{R}_{23} + M_3 [\bar{R}_{34} + M_4 (\bar{R}_{45} + M_5 \bar{R}_{56})] \}, \quad / 1 /$$

$$\bar{R}_{06}^D = \bar{R}_{01} + M_1 (\bar{R}_{17} - M_6 \bar{R}_{67}) \quad / 2 /$$

Вектор, визначаючий замикачу ланку - віджаття шпинделя / інструменту / та деталі, дає сума векторів / 1 / та / 2 /.

Експериментальний баланс податливості, отриманий для цехового РСВ мод. 2884, підтвердив домінуючий вплив на точність формотвірної системи колони верстату. Баланс податливості, розрахований

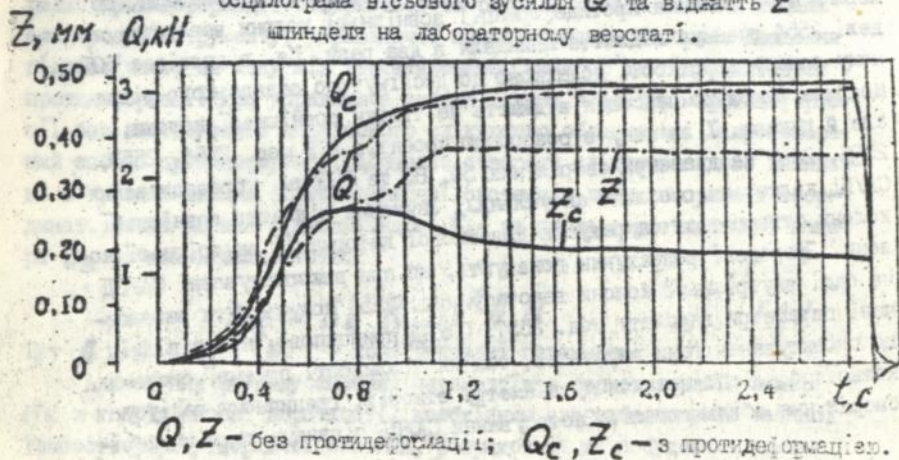
для цих експериментальних даних за методом координатних систем з деформуючимися зв'язками, показав задовільну збіжність з результатами поелементного розрахунку. Рівняння координатних систем є більш загальними, вони використовують алгоритм обчислення складових віджаття шпинделя по всім трьом координатам просторової системи верстату. Розрахункова схема може бути ускладнена включенням в неї більшої кількості конструктивних елементів.

Розроблена програма розрахунку точності вестату за методом координатних систем з деформуючимися зв'язками уловус обчислювальні трудності операцій з матрицями. Вихідними даними є координати нульових точок систем, які представляють деформуючі елементи верстату, координати інших розрахункових точок, розміри деформацій відповідних зв'язків. Ці дані можуть бути як розраховані теоретично, так і експериментальними. Розрахунки ведуться за векторними залежностями, відображуваними пружні зв'язки елементів формоутворювальної системи з врахуванням деформацій та протидеформацій.

Працездатність запропонованої схеми протидеформації РСВ визначалася при статичних випробуваннях, при свердлінні та при створенні і скиданні навантаження важелем подачі.

На мал. 2 показані осцилограми зусиль на шпинделі та його віджаття при роботі САЛЦ і без неї, записані на лабораторному верстаті. При практично однакових зусиллях віджаття шпинделя при зв'язкутій системі протидеформації в два рази менші. Аналогічні результати здобуті при статичних випробуваннях та при свердлінні на лабораторному верстаті.

Осцилограма вісьового зусилля Q та віджаття Z шпинделя на лабораторному верстаті.



В таблиці показані результати свердління отворів на цеховому РСВ мод. 2554 з системою протидеформації та без неї. Свердлилися кріпні отвори в пластині товщиною 100 мм з чануку СЧ 21-40. Діаметр свердла - 50,4 мм, подача-0,3 мм/об, обороти шпинделя - 71 об/хв.

Таблиця

Результати випробувань РСВ мод. 2554 при свердлінні

Віджаття при свердлінні, мм		Тиск в гідро-системі, МПа	Ефективність протидеформації, %		Примітка	
Z _{шт}	У _{зк}		Э _{шт}	Э _{зк}		
1.	1,37	-0,85	0	0	без системи	
2.	0,55	-0,02	6,0	59,6	97,8	з системою

Ефективність системи протидеформації визначається відношенням різниці віджаття вузла без системи та з системою до віджаття без системи в процентах:

$$\mathcal{E} = (Z - Z_c) \cdot 100 / Z \quad 131$$

Шпиндельна головка при свердлінні без САУЦ віджималася на 1,37 мм, а з системою протидеформації-на 0,55 мм. Ефект периферійної системи протидеформації склав для шпинделя 59,6 %. Віджаття зовнішньої колони в місці установлення виконавчої системи САУЦ зменшені з 0,85 до 0,02 мм, тобто на 97,8 %. Це показує велику ефективність роботи системи в місці установлення слідуєчих та виконавчих механізмів САУЦ.

Розрахункові дані та експериментальна перевірка показали, що периферійна система протидеформації зовнішньої колони верстату моделі 2554 зменшує віджаття шпинделя в два рази. Це відповідає 50%-ному запасу жорсткості додатково до досягнутого заводського рівня. Можлива також компенсація віджаття не тільки зовнішньої колони, але й рукава. У зв'язку з розробкою проектів РСВ мод. 2554, 2557, 2576, 2587 на діаметри свердління 50, 80 та 100 мм упровадження САУЦ являється особливо актуальним. Зниження віджаття зовнішньої колони створюється за рахунок додаткової деформації внутрішньої колони. Проведені розрахунки показують, що при використуванні САУЦ на базі внутрішньої колони верстату мод. 2554 можуть бути забезпечені параметри верстату мод. 2557. САУЦ принципово змінює підхід до проектування гами верстатів, так як можливості пружної системи кожної моделі по граничному діаметру отворів, граничному радіусу свердління збільшуються. Застосування САУЦ підвищує технічний рі-

вень проектуємих верстатів у відповідності з сучасними тенденціями їх автоматизації, підвищення жорсткості, точності та зниження металоємкості.

В дисертації розглянуті деякі перспективні задачі для подальших досліджень САУЦД. Розроблена принципова схема САУЦД РСВ із електрогідравлічним управлінням, володієча більшою чутливістю та маючи електричний канал управління протидеформацією. Запропонована схема ЧПУ/САУЦД РСВ, яка дозволяє підвищити ефективність периферійної САУЦД шляхом використання ЧПУ верстату для створення програмної протидеформації.

Введений японськими вченими Т.Ісіі, І. Сімоюма та іншими термін "мехатроніка" / Мехатроника: М.:Мир, 1988 / об'єднує механічні та електронні системи в єдиний комплекс засобів та принципів механіки, електроніки та інформатики. Таким чином, підвищення точності верстатів шляхом застосування САУЦД в сполученні з мікроЕЕМ використовує принципи мехатроніки та може розглядатися "як нова технологія, при якій в машину, складену з фізичних тіл, вклячають програмне забезпечення".

Позитивні результати застосування системи протидеформації для підвищення точності РСВ при механічній обробці дозволяють використовувати адаптивну протидеформацію в електродугових верстатах. Запропоноване нове технічне рішення САУЦД для електродугового верстату. Відмінним признаком обладнання є постачання стойки, складеної із двох частин, гідроциліндром, поршнева порожнина якого з'єднана з порожниною герметизованої камери, де іде електрообробка. Слідкуючий режим протидеформації створюється за рахунок роботи системи подачі електроду-інструменту, управляючої міжелектродним зазором. Введення гідравлічного зв'язку між герметизованою камерою та гідроциліндром протидеформації дає управляюче силове діяння в контурі протидеформації без застосування додаткового слікуючого обладнання. Запропонований спосіб протидеформації дозволяє створити слікуюче силове впливання в різних місцях формуютьчої системи в любых напрямках координат. Площа поршня гідроциліндра S_u та площа герметизованої камери S_k зв'язані залежністю:

$$S_u = S_k \cdot R \cdot h / A \cdot H \quad / 4 /$$

Тут A, R, H, h - конструктивні параметри.

Для оцінки зв'язку силових параметрів в герметизованій камері РСВ з коефіцієнтом жорсткості, необхідним для забезпечення заданої точності формуютьчої системи, розрахована та побудована номо-

грама. Використання САУЦ РОД розширює область застосування адаптивного управління на нові високопродуктивні електрообробні верстати. Зниження відбиття пружних систем підвищує ефективність й точність роботи системи подачі електрода-інструменту.

Позитивні ефекти САУЦ РОД можуть бути використані в електромеханічних верстатах, маючи близькі схеми обробки.

Системи адаптивної протидеформації відслідковують статичні та динамічні зміни силових факторів технологічних процесів обробки. При цьому існує велика кількість фізичних механізмів, які приводять до випадкових збурень в технологічних системах металообробки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показують, що еквівалентна-пружна система по різному реагує на гармонічне та випадкове впливання. Досліджено співвідношення між динамічними податливостями

σ_g / σ_F / вип. та σ_g / σ_F / гарм. одномасової приведенної системи. Як середнє квадратичне значення гармонічних коливань використовується величина $\sigma_{\text{гарм.}} = q / \sqrt{2}$, яка являється

дівчим значенням процесу з амплітудою q . З урахуванням цього може бути одержана числова оцінка σ_g / σ_F / для гармонічних коливань. Прирівняємо вищезгадані динамічні податливості для одномасової системи, збудженої випадковою силою з кореляційною функцією $K_F(\tau) = \sigma_F^2 \cdot e^{-\alpha|\tau|}$ вводячи коефіцієнт K :

$$\left(\sigma_g / \sigma_F \right)_{\text{вип.}} = K \cdot \left(\sigma_g / \sigma_F \right)_{\text{гарм.}} / 5$$

коефіцієнт K , який характеризує співвідношення між динамічними податливостями імовірної та детермінованої системи, має в цьому випадку вигляд:

$$K = \sqrt{\frac{(\alpha_1 + 2B)[(1 - \gamma^2)^2 + 4B^2\gamma^2]}{2B[1 + \alpha_1(\alpha_1 + 2B)]}}, \quad 1 \leq 1$$

тут $\gamma = \omega / \omega_1$, $\alpha_1 = \alpha / \omega_1$, B - відносне демпфування, ω_1 - власна частота.

При слабодемпфуваних резонансних коливаннях величина K , розрахована по формулі $1/5$ буде менше одиниці. Тоді з $1/5$ виходить, що додержується співвідношення:

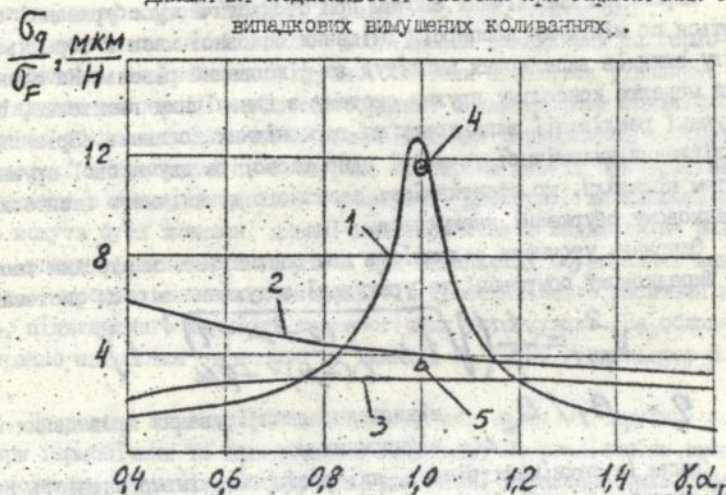
$$\sigma_g / \sigma_F / \text{вип.} < \sigma_g / \sigma_F / \text{гарм.} \quad 1/7/$$

Тобто динамічна податливість при випадкових випадкових коливаннях менше динамічної податливості при резонансних гармонічних коливаннях.

На мал. 3 показані залежності σ_g / σ_F при випадкових та гармонічних збуреннях, розрахованих для еквівалентної консольної

системи з параметрами $m = 54 \text{ кг}$, $C = 0,815 \text{ Н/мм}$, $B = 0,048$, $f = 19,6 \text{ Гц}$. Там же показані експериментальні точки.

Динамічні податливості системи при гармонічних та випадкових вимушених коливаннях.



- 1, 4 - гармонічні збурення; 2, 5 - випадковий білий шум;
3 - експоненціально-кореліроване збурення;
4, 5 - експериментальні точки.

Мал. 3

Розрахована імовірна податливість при збуренні білим шумом складала $3,9 \text{ мм/Н}$, а при гармонічному збуренні - $12,6 \text{ мм/Н}$, тобто $3,9 < 12,6 / \delta = \alpha_T = 1$. Це близько до аналогічного співвідношення, одержаного експериментально: $3,2 < 12,6 /$ точки 4, 5 на мал. 3. Очевидно, що нерівність / 7 / характеризує рівень випадковості динамічних процесів в системі і залежить від параметрів збурення та властивостей коливальної системи.

Таким чином, нерівність / 7 / виражає ефект зменшення динамічної податливості однімасової пружної системи при заміні гармонічного збурення випадковим. Цей ефект, установлений теоретично та підтверджений експериментально, може знайти практичне примінення при проектуванні різних динамічних систем.

Получені імовірнісні залежності, які дозволяють урахувати вплив випадкового збурення на динамічну точність еквівалентної пружної системи або її технологічного устаткування. При силовому навантаженні відно-

шення середніх квадратичних значень реакції та обурювання має фізичне розуміння імовірностної динамічної податливості.

Параметри динамічних систем при стохастичному обурюванні оптимізуються по мінімуму дисперсії зміщення основної маси і середньому числу викидів випадкових амплітуд за фіксований рівень. На стенді, який моделює консольну пружну систему з динамічним гасителем, були отримані реалізації випадкових та гармонічних коливань. Зрівнювальні дослідження динамічної точності однамасової та двумасової пружних систем показали, що ефективність пасивного динамічного гасителя при випадковому обурюванні знижується.

Одержана уточнена залежність для оптимальної настройки гасителя при випадковому обурюванні та урахуванні затухання в обох системах:

$$V_{\text{опт}}^2 = \frac{1}{\eta} \left(\sqrt{1 + \frac{\eta(2 + \mu + \eta)}{(1 + \mu)^2 + \eta\mu}} - 1 \right) \quad 1.61$$

Тут $\eta = B_1 / B_2$ - відношення демпфірування приведених мас,
 μ - відношення мас.

Одним із технічних рішень, які розширяють інваріантність двумасової системи до обурюючих впливів, являється запропонований в роботі активний динамічний гаситель коливань. В цій системі принцип активної протидеформації використовується в області більш високих частот з метою підвищення динамічної точності технологічних устаткувань.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Розроблена математична модель просторової деформації формувальної системи радіально-свердлильних верстатів на основі методу координатних систем з активними деформуєчима зв'язками.

2. Проведені експериментальні дослідження пружної системи РСВ з САУЦД на лабораторному та на цеховому верстаті мод. 2554. Експериментально показана працездатність досліджених схем протидеформації, знижуючих відхилтя формувальної системи в два рази. Обладнання, реалізуюче адаптивну протидеформацію в колоні радіально-свердлильного верстату, захищено авторським свідоцтвом на винахід № 971584 /співавтори Г.М. Мещеряков та ін. /.

3. Проведена оцінка впливу САУЦД на жорсткість, точність та вагові характеристики верстату мод. 2554 та гами РСВ. Запропоновані перспективні схеми електрогідравлічної САУЦД та ЧПУ/САУЦД РСВ та КСВ.

4. Принцип адаптивного управління протидеформацією застосований в верстатах розмірної електродугової обробки. Запропонована схема

САУПД РОД, створюючи протидеформацію слідячою системою процесу електробробки. Управління здійснюється по зміні гідростатичного тиску в герметизованій камері. Новизна обладнання підтверджена авторським свідоцтвом на винахід № І484506 / співавтор Г.М. Мещеряков/.

5. Результатом аналітичного дослідження випадкових та гармонічних коливань еквівалентної пружної системи являються рівняння, які зв'язують дисперсії вихідних координат з параметрами механічної системи та обурювання. Уточнена залежність для оптимальної настройки в системі з гасителем по імовірним критеріям якості при урахуванні затухання в основній системі і гасителі. Дисперсії випадкових коливань можуть бути зменшені динамічним гасителем з оптимальним затуханням, однак ефективність гасителя при випадкових обурюваннях знижується. Запропонована схема активного гідромеханічного гасителя коливань, підвищуючого точність технологічних устаткувань. На обладнанні одержано авторське свідоцтво на винахід № 757796 / співавтор В.І. Попов/.

6. Проведені порівняльні дослідження еквівалентної пружної моделі при гармонічних та випадкових коливаннях. По реалізаціям випадкових коливань визначені імовірнісні динамічні характеристики системи. Експериментально та теоретично встановлено, що імовірна динамічна податливість одномасової системи при випадкових коливаннях нижче, ніж при гармонічних, тобто додержується співвідношення

$$\left(\sigma_g / \sigma_F\right)_{\text{вип.}} < \left(\sigma_g / \sigma_F\right)_{\text{гарм.}}$$

Це відповідає зменшенню динамічної податливості механічної системи при випадкових коливаннях та підвищенню її точності.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Попов В.И., Сиваков А.Н. Гашение колебаний, вызванных случайной силой. // Динамика и прочность машин. Респ. межвед. науч.-техн. сборник. - Харьков: Вища школа. 1975. Вып. 21 - с. 65-71.

2. Попов В.И., Сиваков А.Н. Определение функции надежности в задаче виброгашения случайных возмущений. // Динамика и прочность машин. Респ. межвед. науч.-техн. сборник. Харьков: Вища школа. 1977. Вып. 26. - с. 91-96.

3. Сиваков А.Н., Попов В.И. Экспериментальное исследование случайных колебаний механической системы с виброгасителем. // Динамика и прочность машин. Респ. межвед. науч.-техн. сборник. - Харьков: Вища школа. 1980. вып. 31 - с. 58-62.

4. Гаситель колебаний: А.с. 757796 СССР, МКИ³ F 16 F 13/00
Попов В. И., Сиваков А.Н. - 2с.

5. Сиваков А.Н. Динамическая жесткость упругой системы металлорежущего станка при случайных возмущениях. // Динамика станков: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. - Куйбышев, 1980. - с. 276-277.

6. Попов В.И., Сиваков А.Н. Эффект увеличения вероятностной динамической жесткости одномассовой механической системы. // Известия вузов, Машиностроение. - М., 1980, № 10. - с. 144-145.

7. Разработка и исследование системы адаптивного управления противодеформацией в радиально-сверлильном станке мод. 2554. Заключительный отчет по теме 8211: исп. Сиваков А.Н., научный руководит. Мещеряков Г.Н., номер госрегистрации 79004178, Одесса, 1981. - 73с.

8. Колонна радиально-сверлильного станка: А.с. 971584 СССР МКИ³ В 23 В 47/00 Мещеряков Г.Н., Сиваков А.Н. и др. - 4с.

9. Мещеряков Г.Н., Сиваков А.Н., Тужарова Л.П. Повышение виброустойчивости токарного станка. // Станки и инструмент. 1985, № 4. - с. 19-20.

10. Мещеряков Г.Н., Демидик Л.Д., Сиваков А.Н. и др. Новые технологические процессы и оборудование с применением электрофизических методов обработки металлов. // Всесоюз. науч.-техн. конф. по холодильному машиностроению. Тез. докл., ДНТИХИМНЕФТЕМАШ. М., 1982. - с. 198-199.

11. Разработать и внедрить техпроцесс и установку для размерной обработки дугой /РОД/: отчет о НИР /заключ./ Одеск. технологич. ин-т холодильн. пром-сти. Мещеряков Г.Н., Сиваков А.Н. и др. - № ГР 01860064272, - Одесса, 1989. - 130с.

12. Сиваков А.Н., Мещеряков Г.Н. Адаптивная компенсация откаты базовых узлов ФСС и КСС с ЧПУ. // Динамика станочных систем ГАП: Тез. докл. III Всесоюз. науч.-техн. конф. Тольятти, 1988. - с. 356-357.

13. Устройство для размерной электродуговой обработки: А.с. 1484506, СССР, МКИ⁴ В 23 Н 5/00, 7/38/ Сиваков А.Н., Мещеряков Г.Н.

14. Meshcheriakov G.N., Tuzhachova L.P., Meshcheriakov N.G., Sivakov A.N., Machine - Tool Vibration Stability Depending on Adjustment of Dominant Stiffness Axes. Annals of the CIRP, vol.33/1/1984. - p.271 - 272.

АНС им. В. Стрелкина
АН УРСР

Сиваков

г. Одесса, роталит ОМВТЭ. Подписано и печати 04. II. 92
Объем 1,0 п. л. Тираж 100. Заказ 1653-92

468241

Ab 26.063

Ab 26.063