

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Дисертацією є рукопис

НІКОЛАЄВ Олександр Львович

УДК 62-50

ПІДВИЩЕННЯ АДАПТИВНОСТІ ДОПОМІЖНИХ ПРИСТРОЇВ  
АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВІ СИЛОВОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Спеціальність: 05.13.07 - Автоматизація технологічних  
процесів та виробництв /машинобудування/

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на звання наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів - 1994

АВ 30.1000  
Робота виконана на кафедрі технології суднового машинобудування Миколаївського кораблебудівного інституту.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
СОЛОВІЙОВ С.М.

Офіційні опоненти:

1. д.т.н., професор СПИЧУ Глеб Олександрович
2. к.т.н., доцент БОЧКОВ Вячеслав Михайлович

Провідне підприємство: АТ "Бриг", м. Первомайськ.

Захист дисертації відбудеться "17" червня 1994 р.  
в "15" годин на засіданні спеціалізованої Ради по автоматизації технологічних процесів та виробництв /К-068.36.06/ при Державному Університеті "Львівська політехніка".

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі Державного Університету "Львівська політехніка".

Автореферат розісланий "13" травня 1994 р.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00777450 (U)

Вчений секретар  
спеціалізованої Ради  
к.т.н., доцент

МАРЕЦЬ В.М.



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах сучасного промислового виробництва, з його швидко мінливою номенклатурою та дрібносерійністю випуску виробів викликає інтерес застосування у складі автоматизованих технологічних систем /АТС/ адаптивних промислових роботів /ПР/ та пристроїв, оснаджених розвинутою системою чутливого до сприймання по силі та керування ЮМ. Велике значення тут має автоматизація технологічних операцій з силовою дією; найбільш типовими з яких є операції механічного складання, транспортування, орієнтування деталей та завантаження обладнання в АТС.

В процесі функціонування АТС на робочі органи пристроїв, які входять до їх складу, налагоджуються складні механічні зв'язки, зумовлені специфікою технологічного процесу, формою зв'язку поверхностей при складанні, формою та особливостями заготовок і деталей при механообробці. Налагоджені зв'язки характеризуються наявністю значних сил різного походження. Іноколи в процесі виконання технологічної операції трапляється також зміна форми зв'язку. Слід підкреслити, що адаптивне керування технологічними процесами повинно здійснюватися в реальному масштабі часу, що вносить специфіку в розробку систем чутливих до сприймання сили.

значний вклад у розвиток та дослідження даної проблеми внесли колективи, які очолювали В.С.Гурфінкель, Е.А.Дев'янин, А.І.Юренцяєв, В.І.Костюк, Д.С. Охочимський, Е.П.Юпов, Г.А.Спину та інші.

Аналіз існуючих до теперішнього часу досліджень показав, що надійне виконання технологічних операцій ПР залежить не тільки від високої якості рухомої та сенсорної систем, але і від високої ефективності організації їх взаємодій.

У даній роботі для забезпечення цієї ефективності досліджує-

ться поєднання рухомої та сенсорної систем ПР у рамках одного конструктивного елемента – чутливого до сприймання захвату, а також приводу вібраційно-завантажувального пристрою /ВЗП/.

Відомі рішення подібного типу з використанням різних давачів сили не забезпечують контроль зусиль та пружинисту рукомість одночасно, що знижує надійність виконання технологічних операцій. Аналіз різних розробок давачів сили показує, що забезпечення багатьох вимог та умов роботи давачів сили чутливих до сприймання сили в АТС можна добитися використанням давачів сили на основі електропровідних полімерів. Але такі давачі сили незважаючи на ряд переваг, мають значну похибку, нелінійність та гістерезис характеристики. Тому в майбутньому необхідне удосконалення давачів сили подібного типу та систем чутливих до сприймання сили на їх основі, а також розробка методів забезпечення ефективної взаємодії рухомої та сенсорної систем для забезпечення надійного протікання технологічних процесів в АТС.

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є:

- розробка методів підвищення адаптивності та дослідження пристроїв адаптації захватних пристроїв %М/ та ВМ АТС з використанням силового зворотного зв'язку;
- розробка, теоретичне та експериментальне дослідження давачів, чутливих до сприймання сили, на основі ефекту зміни контактної опору з використанням матеріалів типу електропровідних еластомерів;
- розробка методу лінеаризації характеристики давача сили;
- розробка алгоритмів керування ПР, чутливого до сприймання сили, з урахуванням пружного закріплення деталі;
- побудова моделі ВЗП з адаптацією до умов його завантаження;
- розробка та дослідження систем адаптації ВЗП та ЗП ПР;

- розробка конструкцій ЗІ, чутливих до сприймання сили.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- розроблено метод моделювання, математична модель та конструкція давача сили на основі електропровідного еластомера, які дозволяють значно знизити похибку вимірювань та нелінійність характеристики;

- розроблені математична модель динаміки та конструкції ЗІ ПР, чутливих до сприймання сили, з урахуванням пружної рухомості та проведено синтез алгоритмів керування ПР на різних етапах виконання технологічної операції, з урахуванням рівнянь моделі;

- розроблено метод адаптації ВЗП відповідно до змін умов його завантаження та математична модель ВЗП, яка забезпечує адаптацію останнього в умовах завантаження та продуктивності АТС;

- розроблені та реалізовані на ЕОМ алгоритми розрахунку основних конструктивних параметрів давачів сили з лінеаризованою характеристикою та процесів моделювання динаміки ЗІ ПР, чутливих до сприймання сили з урахуванням пружної податливості, т ВЗП з адаптацією до умов завантаження та продуктивності АТС;

- одержані результати дослідження давачів сили, ЗІ та ВЗП, які підтверджують правильність теоретичних передумов та дозволяють виявити нові особливості використання електропровідних еластомерів в заченні чутливого елемента давачів сили та роботи ВЗП в залежності від умов завантаження;

- вирішено ряд завдань, які мають практичне значення.

На захист виносяться наступні питання:

- побудова універсальної методики лінеаризації характеристики та алгоритму розрахунку параметрів давачів сили на основі електропровідних еластомерів з профільованими рівновіддаленими один

від одного електродами;

- алгоритми керування ІР, оснащеного чутливим до сприймання сили захватом, на різних етапах виконання технологічної операції з урахуванням пружної рухомості;

- численне та експериментальне дослідження способу та пристрою адаптації ВЗП до умов його завантаження та продуктивності;

- конструктивні рішення давачів сили на основі електропровідного еластомера, ЗП ІР, чутливих до сприймання сили та системи адаптації ВЗП.

Достовірність наукових результатів та висновків забезпечується коректністю постановки задачі, використанням математично обґрунтованих методів рішення, проведеним аналізом точності експериментальних методів.

Обґрунтованість висновків підтверджується порівнянням одержаних рішень з результатами інших авторів та експериментальними даними.

Практичне значення роботи. Запропонована методика лінеаризації характеристики та розроблені на її основі алгоритми розрахунку параметрів давачів сили реалізовані у вигляді пакету прикладних програм для ПЕОМ системи ІВМ і можуть бути використані при проектуванні давачів сили подібного типу. Розроблені алгоритми керування ІР, оснащеного чутливими до сприймання сили захватом з урахуванням пружної рухомості, відрізняються від уже відомих універсальністю, простотою та зняттям часу на розрахунок керуючого впливу, що дозволяє використовувати їх для ІР з невисокою швидкістю системи керування. Спосіб та пристрій адаптації ВЗП забезпечує стійкий режим автоюливань, автономний та надійний хід технологічного процесу не залежно від умов завантаження.

Розроблені в роботі давачі сили, рекомендації до їх розрахунку та використання, а також одержані численні результати передані

зацікавленим організаціям, де вони запроваджені в експериментальне виробництво для чутливих до сприймання сили ЗУ ПР.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на підсумкових науково-технічних конференціях Миколаївського кораблебудівного інституту /1986-1993 роки/; Всесоюзній науково-технічній конференції "Триботехнологія-89" /м.Миколаїв/; 5-ій Всесоюзній нараді по Робототехнічним системам /м.Геленджик, 1990 р./; 1-ому Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові /1993 р./; нараді молодих вчених та спеціалістів ІМАШ АН СРСР /м.Москва, 1988 р./; Регіональній науково-технічній конференції "Шляхи зниження застосування ручної праці, автоматизація та механізація суднобудівного виробництва" /м.Миколаїв, 1983 р./; наукових семінарах відділів Робототехніки ІМ МДУ та ІМАШ АН СРСР, а також кафедри технології суднового машинобудування МКІ /1986-1994 рр./.

Публікації 3 теми дисертаційної роботи опубліковано 11 друкованих робіт, із них 4 авторських свідоцтва на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, списку літератури, який включає 101 назву, і двох додатків. Загальний обсяг роботи складається із 192 машинописних сторінок, із яких 163 сторінки - основного тексту. Робота містить 49 малюнків, 26 графіків та 14 таблиць.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині обґрунтована актуальність теми дисертації, наведені відомості про наукову новизну та основні положення роботи, які виносяться на захист, коротко зроблено огляд по розділам.

В першому розділі зроблено огляд основних напрямків дослідження, виділені роботи, які мають першочергове значення для дисер-

тації, сформульовані мета та завдання дослідження.

Розглянуті питання використання давачів сили в АТС та роботехнологічних системах, системах чутливих до сприймання сили ЗП ПР на основі силомоментної адаптації з давачами сили, та методи регулювання параметрів ВЗП.

У другому розділі висловлюється суть методу моделювання, постановка методики вирішення задачі зниження похибки вимірювань та нелінійності характеристики чутливого елемента давача сили на основі електропровідного еластомера, постановка і вирішення задачі моделювання динаміки ЗП ПР, оснащеного давачами, чутливими до сприймання сили, з урахуванням пружної рухомості, та ВЗП, який працює в автоколивальному режимі, за умови адаптивного регулювання амплітуди коливань, яка забезпечує необхідну продуктивність вібраційної машини незалежно від умов її завантаження.

Зроблено опис універсальної методики моделювання п'єзорезистивного перетворювача сили на основі електропровідного еластомера, який містить профільовання, періодично розташовані електроди, яка враховує тензорезистивний ефект, зміни опору електропровідного еластомера, залежність контактного опору між електродом і еластомером, і опір, зумовлений змінами довжини провідних ділянок, які знаходяться між електродами за рахунок деформації еластомера. Розроблена методика полягає у визначенні профілю поперечного перерізу електродів, шляхом підсумку вищезазначених ефектів змін електричного опору на елементарних ділянках профілю, виходячи із припущення існування лінійної залежності електричного опору від сили. При цьому закон зміни електричного опору в результаті тензорезистивного ефекта і контактного опору для плоского електрода визначається експериментально, для кожного електропровідного еластомера. Математична модель перетворювача збудована на

випадак виконання плоского чи профілізованого електропровідно-пружного елемента із електропровідного еластомера і комбінації електропровідного і пружного шарів. Для спрощення математичного апарата профіль поперечного розрізу електродів описується параболічною залежністю. Математична модель перетворювача являє собою систему рівнянь, зв'язаних між собою лінійною залежністю повного електричного опору  $R$  і сили  $F$  з коефіцієнтом пропорціональності  $K$ , причому функції  $R$  і  $F$  являють собою інтегральну суму залежності опору і сили для елементарної ділянки профілю від коефіцієнта параболі  $a$ :

$$R(a) = K \cdot F(a). \quad /1/$$

дана модель дозволяє лінеаризувати характеристику перетворювача сили шляхом профілювання електродів і пружно-резистивного елемента.

Збудована модель динаміки ЗП ПР, оснащеного давачами сили з урахуванням пружної рухомості, використовуючи комбінований метод побудови моделі маніпулятора, який дає можливість поєднувати модель динаміки системи захват - деталь з будь-якою моделлю маніпулятора, який несе захват. На основі методу Лагранжа і теореми про рух центра мас, рівняння руху захвату і деталі /мал.1/ в нерухомій системі координат  $OXY$  будуть мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{x}_{c3} &= F_x + F_{2x} \\ m_3 \ddot{y}_{c3} &= F_y + F_{2y} - P_H \\ m_3 \ddot{\psi}_3 &= M_3 - F_{2y} \cdot l_3 \cdot \sin \psi_3 - F_{2x} \cdot l_3 \cdot \cos \psi_3 + C_4 (\psi_4 - \psi_3) \\ m_4 \ddot{x}_{c4} &= -F_x \\ m_4 \ddot{y}_{c4} &= -F_y - P_3 \\ m_4 \ddot{\psi}_4 &= -C_4 (\psi_4 - \psi_3), \end{aligned} \quad /2/$$

де  $F_x, F_y, F_{2x}, F_{2y}$  - проекції сили пружності реакції в шарнірі в нерухомій системі координат;

$m_3, m_4, Y_{c3}, Y_{c4}$  - маси і моменти інерції захвату і деталі;

$P_H, P_g$  - вага манипулятора і деталі;

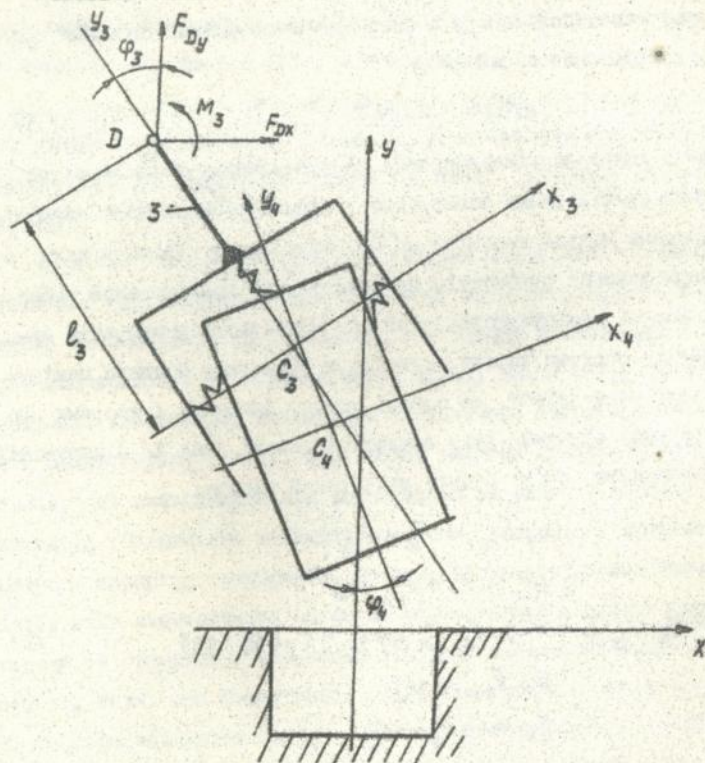
$\ddot{x}_{c3}, \ddot{x}_{c4}, \ddot{y}_{c3}, \ddot{y}_{c4}$  - проекції прискорень центрів мас захвату і деталі;

$\psi_3, \psi_4, \ddot{\psi}_3, \ddot{\psi}_4$  - кутові координати і прискорення захвату і деталі;

$M_3$  - керуючий момент в шарнірі;

$l_3$  - відстань від осі шарніра до центра мас захвату;

$C_3$  - коефіцієнт жорсткості механізму захвату деталі.



Мал. 1

При цьому сили пружності, визначені давачами сили з урахуванням рівності жорсткості  $C$  закріплення деталі по осям  $X$  і  $Y$  зв'язані з координатами центрів мас співвідношеннями:

$$\begin{aligned} F_x &= -C\bar{x}_{c4} = -C(x_{c4} - x_{c3}) \\ F_y &= -C\bar{y}_{c4} = -C(y_{c4} - y_{c3}). \end{aligned} \quad 13/$$

Крім того, в системі захват - деталь - з'єднаний вузел необхідне виконання умови утримання деталі, зажиму і поєднання деталі і вузла без їх пошкодження:

$$\begin{aligned} F_3 f_{\text{тр}} &> -C(y_{c4} - y_{c3}) \cdot \cos \varphi_3 - C(x_{c4} - x_{c3}) \cdot \sin \varphi_3 \\ F_3 - C(x_{c4} - x_{c3}) \cos \varphi_3 - C(y_{c4} - y_{c3}) \sin \varphi_3 &< F'_{\text{max}} \\ -C(x_{c4} - x_{c3}) \cos \varphi_3 - C(y_{c4} - y_{c3}) \sin \varphi_3 &< F''_{\text{max}}, \end{aligned} \quad 14/$$

де  $F_3$  - сила зажиму;

$F'_{\text{max}}, F''_{\text{max}}$  - допустимі сили дії на деталь і поєднаний вузол.

Використовуючи дану математичну модель, синтезуються алгоритми управління ІР на різних етапах виконання технологічної операції. Формування керуючих дій на приводи ІР здійснюється з урахуванням рівнянь моделі.

Розроблена математична модель ВЗІ /вібробункера, мал.2, який працює в автоколівальному режимі за умови адаптивної регулювання збуреної сили приводу з метов забезпечення необхідної продуктивності. Розглянуто випадок безвідривного, регулярного, двоетапного режиму руху деталей, який складається із етапів відносного ковзання вперед і довгої зупинки. Закон руху ВЗІ з урахуванням впливу технологічної навантаження подається диференціальними рівняннями:

$$m\ddot{x} + m_n\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(x, t) - m_n f_{\text{тр}} \sin \alpha \cos \alpha (g + \ddot{x} + C, x) \quad 15/$$

в момент скочування деталей відносно лотка і

$$(m + m_n)\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(x, t) \quad 16/$$

в момент відносного спокою;

де  $m$  - наведена маса системи;

$m_n$  - маса деталей;;

$x, \dot{x}, \ddot{x}$  - переміщення, швидкість і прискорення чаші;

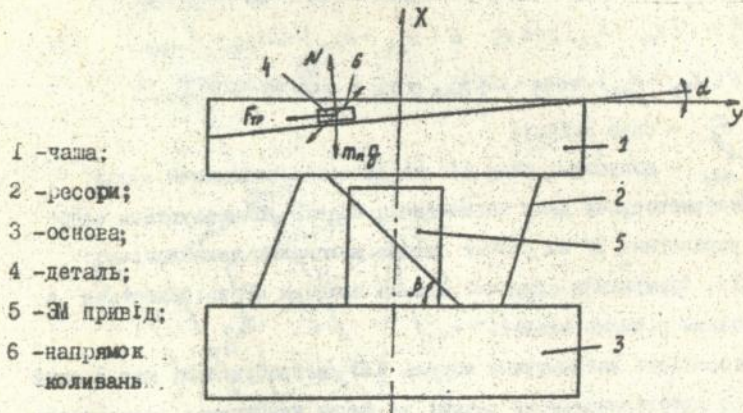
$C$  - умовний коефіцієнт напруженого зпору;

$K$  - жорсткість лінійної пружної системи;

$f_{тр}$  - коефіцієнт тертя деталей об лоток;

$\alpha$  - кут нахилу робочої поверхні до горизонту;

$C_1$  - коефіцієнт еквівалентної лінійної жорсткості технологічного навантаження.



Мал. 2

При цьому збурена сила привода визначається виразом:

$$F(x, t) = \frac{K_M}{\mu_0 S} \cdot \varphi^2, \quad 7/1$$

а магнітний потік у серцевині виразом

$$\varphi = \mu_0 \cdot S \cdot W \cdot i / (\delta - x), \quad 7/2$$

де  $K_M$  - постійний коефіцієнт магніту;

$S$  - площа полюса магніту;

$\mu_0, \mu$  - магнітне проникнення вакуума і повітря;

$\delta$  - початковий повітряний зазор;

$W$  - кількість витків у обмотці.

Сила струму в обмотці визначається залежність

$$i = \frac{U}{Z} + A \cdot e^{-\frac{\delta}{Z}t}, \quad /9/$$

де  $U$  - напруга, яка подається на катушку вібробудника;

$Z, z, L$  - повний, активний і реактивний електричний опір катушки;

$A$  - постійна інтегрування;

$t$  - час.

Таким чином, модель описує коливання чаші з урахуванням впливу технологічного навантаження.

У третій частині йде опис дослідження матеріалів пружно-резистивного шару; на основі розробленої моделі визначено профіль поперечного розрізу електродів; наведені результати випробувань розроблених давачів сили, висновки і рекомендації щодо їх застосування. Крім того на основі математичної моделі побудовані алгоритми керування ПР, який виконує операції складання; зроблено аналіз процесу розпізнавання взаємного розташування деталей з допомогою ЗП, оснащених розробленими давачами, який виявив значне спрощення цього процесу і синтез алгоритмів виробки керуючих дій з оцінкою їх швидкодіяння.

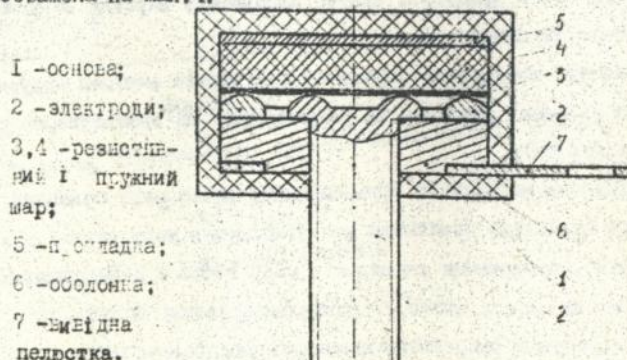
Розглянута можливість спрощення алгоритмів виробки керуючих дій, також наведені висновки та рекомендації по використанню розроблених алгоритмів.

Дослідження матеріалів пружно-резистивного шару показали, що найбільш стабільні доказники має комбінація шару резини з високими пружно-еластичними якістьми і шару тонкого електропровідного паперу, на основі якого і проводились дальші пошуки.

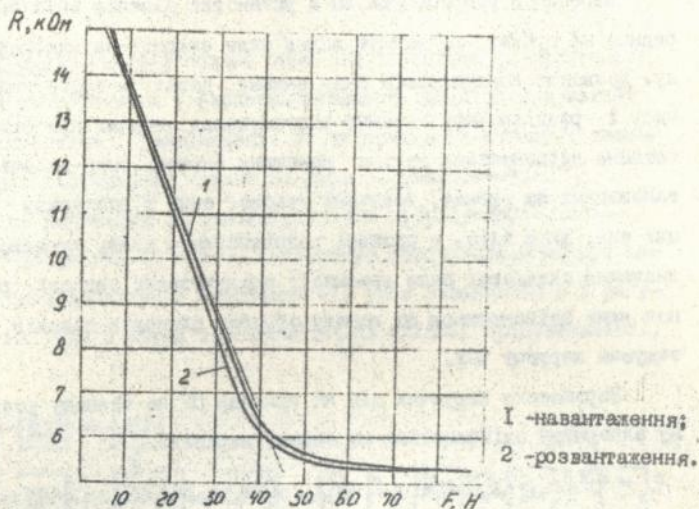
Використовуючи розроблену модель перетворювача сили, зроблено розрахунок профілю поперечного перерізу електродів. Апрокси-

мація експериментальних залежностей електричного опору і сили від деформації для плоского електрода, з метою підвищення точності, виконана по методу Джордано-Гаусса для рішення матриці апроксимуючих коефіцієнтів. Визначення коефіцієнта параболи, яка описує поперечний розріз електродів, зроблена шляхом табулювання аналітичних залежностей сили і опору від деформації. Критерієм визначення коефіцієнта параболи служила постійність значення коефіцієнта пропорциональності  $K$  із виразу /1/ для різних значень деформацій.

наведені описи конструкції і способи виготовлення, а також результати експериментальних досліджень роботи у статичному і динамічному режимі розроблених давачів. Загальний вигляд базової моделі давача поданий на мал.3. Дослідження статичних характеристик показало, що давачі базової моделі характеризуються нелінійністю характеристики у межах 1,4-2,2 %, тимчасовою нестабільністю не більше, як 0,005 % за секунду, похибкою повторних спрацювань не більше 0,4 % і гістерезисом, який не перевищує 2,8 % від величини діючої сили. При цьому сумарна похибка давача сили не перевищує 5 % від величини діючої сили. Типова характеристика давача зображена на мал.4.

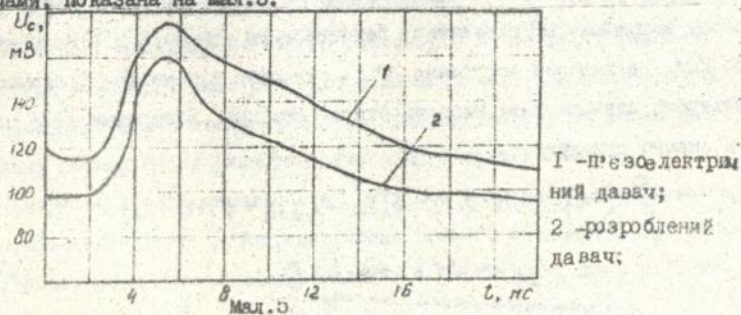


Мал.3



Мал. 4

Дослідження динамічного режиму роботи показало, що похибка давачів у динамічному режимі значно нижча, ніж у статичному і сумірна з похибкою п'єзоелектричних перетворювачів, при цьому ресурс давачів на частоті 50 Гц склав  $9 \cdot 10^9$  циклів. Осцилограма сили, записана одночасно розробленим і п'єзоелектричним давачами, показана на мал.5.



Мал. 5

Перевагою розроблених ЗІ є установка давачів сили безпосередньо на губках, що знижує вплив сили енергії на вимірювану силу, дозволяє контролювати силу зажиму деталі в будь-який момент часу і розпізнавати взаємне розташування деталей при складанні. Останнє здійснюється згідно величини значень сили давачів, установлених на губках, величині осьової сили і поєднання змін цих сил. Крім того, в процесі розпізнавання наяву окреслюється значення складової сили взаємодії сполучуваних деталей, розрахункових яких здійснюється по каналу обробки сигналів давачів, розвантажуючи керуючу ЕОМ.

Вироблення керуваних дій на приводи ПР по повному розробленому алгоритму здійснюється на основі виразів:

$$F_{2x} = \frac{m_2}{c} [m_4(1+k_1)(-a_2\ddot{x}_4 - a_3\dot{x}_4 - a_4(x_4 - x_{20})) - k_2c(\dot{y}_2 - \dot{y}_4)] + c(x_2 - x_3)$$

$$F_{2y} = \frac{m_2m_4}{c} \ddot{y}_4^{(IV)} + m_2\ddot{y}_4 + c(y_4 - y_3) + P_3. \quad /10/$$

де  $k_1$  - коефіцієнт співвідношення сили складання, який враховує коефіцієнт тертя;

$x_{20}, y_{20}$  - програмні значення координат;

$a_i$  ( $i = 1, 4$ ) - коефіцієнти, які забезпечують асимптотично стійке рішення лінійного д.р. четвертого порядку.

Розрахунок керуваних дій складає не більше 20 % від часу, при якому керування ПР вважається безперервним /частота дії не нижче 60 Гц/. На випадок керування ПР із складною кінематичною схемою, нехтуючи членами, які містять старші похідні, алгоритми /10/ можна значно спростити:

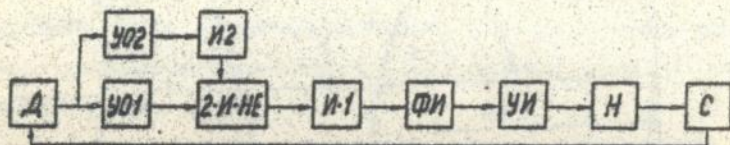
$$F_{2x} = \frac{m_2}{c} [m_4(1+k_1)(-a_3\dot{x}_4 - a_4(x_4 - x_{20}))] + c(x_2 - x_3);$$

$$F_{2y} = c(y_4 - y_3) + P_3. \quad /11/$$

Розроблені алгоритми значно прості і більш універсальні існуючих.

У четвертій частині подано опис ВЗП і системи її адаптації; результати теоретичного і експериментального дослідження закону руху ВЗП; висновки і рекомендації по використанню методу і системи адаптації вібраційної машини до умов її завантаження.

Система керування чотирьохстрижневим віробункером, блок-схема якої зображена на мал.6, забезпечує автоколивальний рух чаші з постійною амплітудою незалежно від умов завантаження і регулює амплітуду з метою забезпечення необхідної продуктивності.



Мал.6

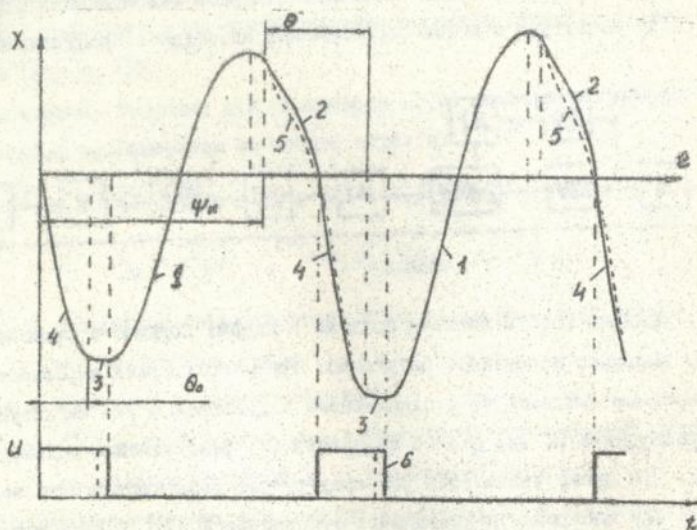
Принцип роботи системи полягає в подачі керуючого прямокутного імпульса перемінної регулюючої тривалості, який виробляється формувачем імпульса ФИ і підсиленого підсилювачем УИ на катушку вібробудника Н, яка діє на сердечник С у фазі власних коливань чаші. При цьому тривалість імпульсу регулюється автоматично залежно від настройки підсилювачів-обмежників УО1 і УО2 за допомогою логічного елемента 2-И-НЕ та інверторів И1 та И2, а фаза - за допомогою давача Д, який реєструє коливання чаші. Величина імпульсу налагоджується залежно від умов продуктивності, за умови дотримання режиму безвідриного двоетапного руху деталей.

Теоретичне визначення закону руху ВЗП виконано з використанням графоаналітичного методу вирішення прямого завдання вібротранспортування, шляхом поєднання загальних і частювих рішень д.р. ко-

ливань на різних етапах циклу. Розрахунок значень координатів проведено на ЕОМ типу ІВМ з кроком  $1/30$  періоду коливань.

Результати експериментального дослідження ВМ підтверджують висновки, зроблені на основі теоретичного рішення задачі.

Суміщений графік коливального процесу /мал.7: 1,2,3,4 - теоретичні; 5 - реальні коливання; 6 - збудрений імпульс;  $\theta, \psi_n$  - кути скозання, і його початку/ підтверджують вищесказане; при цьому максимальне розходження теоретичних і експериментальних результатів не досягає навіть 5 %.



Мал.7

У заключній частині зроблені висновки по дисертаційній роботі, проведено аналіз теоретичного і практичного значення одержаних результатів, подано рекомендації по раціональному їх використанню.

У додатку наведені алгоритми і програми розрахунку основних

показників і залежностей, а також представлені документи по впровадженню результатів роботи.

Основні результати дисертаційної роботи можна сформулювати так:

1. Розроблений метод моделювання, математична модель і конструкція давача сили на основі електропровідного еластомера, які дозволяють значно знизити похибку вимірів і нелінійність його характеристики /загальна похибка вимірів до 5 %, нелінійність 1,4-2,2 %/.

2. Розроблено математичну модель динаміки і конструкції ЗП ПР, чутливих до сприймання сили з урахуванням пружної рухомості і проведено синтез алгоритмів управління ПР на різних етапах складання з урахуванням рівнянь моделі. Також показані можливості спрощення алгоритмів.

3. Запропоновано метод і пристрій адаптації ВЗП відповідно до змін умов технологічного процесу і розроблена математична модель, в якій подається опис коливань вібраційної машини з урахуванням впливу технологічного навантаження.

4. Розроблені і реалізовані на ЕОМ алгоритми розрахунку основних конструктивних параметрів давачів сили з лінеаризованою характеристикою, процесу моделювання динаміки ЗП ПР, чутливого до сприймання сили з урахуванням пружної рухомості і параметрів коливального процесу ВЗП з адаптацією до умов завантаження і продуктивності АТС.

5. Одержані результати дослідження давачів сили з лінеаризованою характеристикою, а також використаних у них матеріалів пружно-резистивного елемента, ВЗП з адаптацією до умов завантаження і продуктивності, які підтверджують теоретичні передумови і дозволяють виявити нові особливості використання електропровідних еластомерів у значенні чутливого елемента давачів сили і роботи ВЗП в

залежності від умов завантаження.

6. Запропоновані конструкції ЗП з розташуванням давачів сили безпосередньо на губках забезпечують пружну рухомість, яка відповідає вимогам робототехнічних складальних систем при одночасному зниженні похибки вимірів і спрощення процедури розпізнавання взаємного розташування деталей при складанні.

7. Дослідження алгоритмів керування складальним ІР виявило більшу універсальність у порівнянні з існуючими при одночасній їх простоті і крім того працездатності алгоритмів у реальному масштабі часу, навіть при використанні керуючих ЕОМ невисокої продуктивності. Час виробітку керуючого сигналу по повному алгоритму складає більше 20 % допустимого /16,667 мс/, яке відповідає частоті подачі керуючих дій 60 Гц, при якій керування ІР вважається безперервним.

8. Розроблені давачі запроваджено у дослідних зразках маніпуляторів завантаження токарних комплексів для оснащення чутливих до сприймання сили захватів у СКГБ "Бриг" м.Первомайськ і при створенні захватних пристроїв ІР з рекуперацією енергії в лабораторії робототехнічних систем інституту машинобудівного РАІ.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Ніколаєв О.Л., Бакланов О.Л. Підвищення технологічної надійності методами і засобами чутливості //Сучасні проблеми триботехнології: Тез.докл.ВІТК. - Миколаїв: МКІ, 1988. - с.315.

2. Ніколаєв О.Л. Удосконалення адаптаційних властивостей технологічних завантажувальних машин//Прогресивна технологія суднобудування і зварювального виробництва. Зб.наук.праць. - Миколаїв: МКІ, 1988. - с.113-119.

3. Ніколаєв О.Л. Моделювання динаміки захватного пристрою промислового робота, оснащеного давачами, чутливими до сприймання сили,

з урахуванням пружної рухомості //Динаміка і надійність суднових машин: Зб.наук.праць. - Миколаїв: МКІ, 1989. - с.33-38.

4. Ніколаєв О.Л., Гимпель Р.М. Моделювання первинних перетворювачів сили з метою лінеаризації характеристики //Електроустаткування та автоматизація суднових установок і систем: Зб.наук.праць. - Миколаїв: МКІ, 1989. - с.89-96.

5. Соловійов С.М., Ніколаєв О.Л. Системи чутливого сприйняття на основі давачів сили //5-та Всес. нарада по РТС., тез. докл. - Геленджик, 1990.

6. Соловійов С.М., Ніколаєв О.Л. Розробка давачів сили і засобів адаптації допоміжних пристроїв автоматизованих технологічних систем на їх основі //Міжн. конгр. Укр. інж.-мех. у Львові. Тез. докл. - Львів, 1993. - с.290-291.

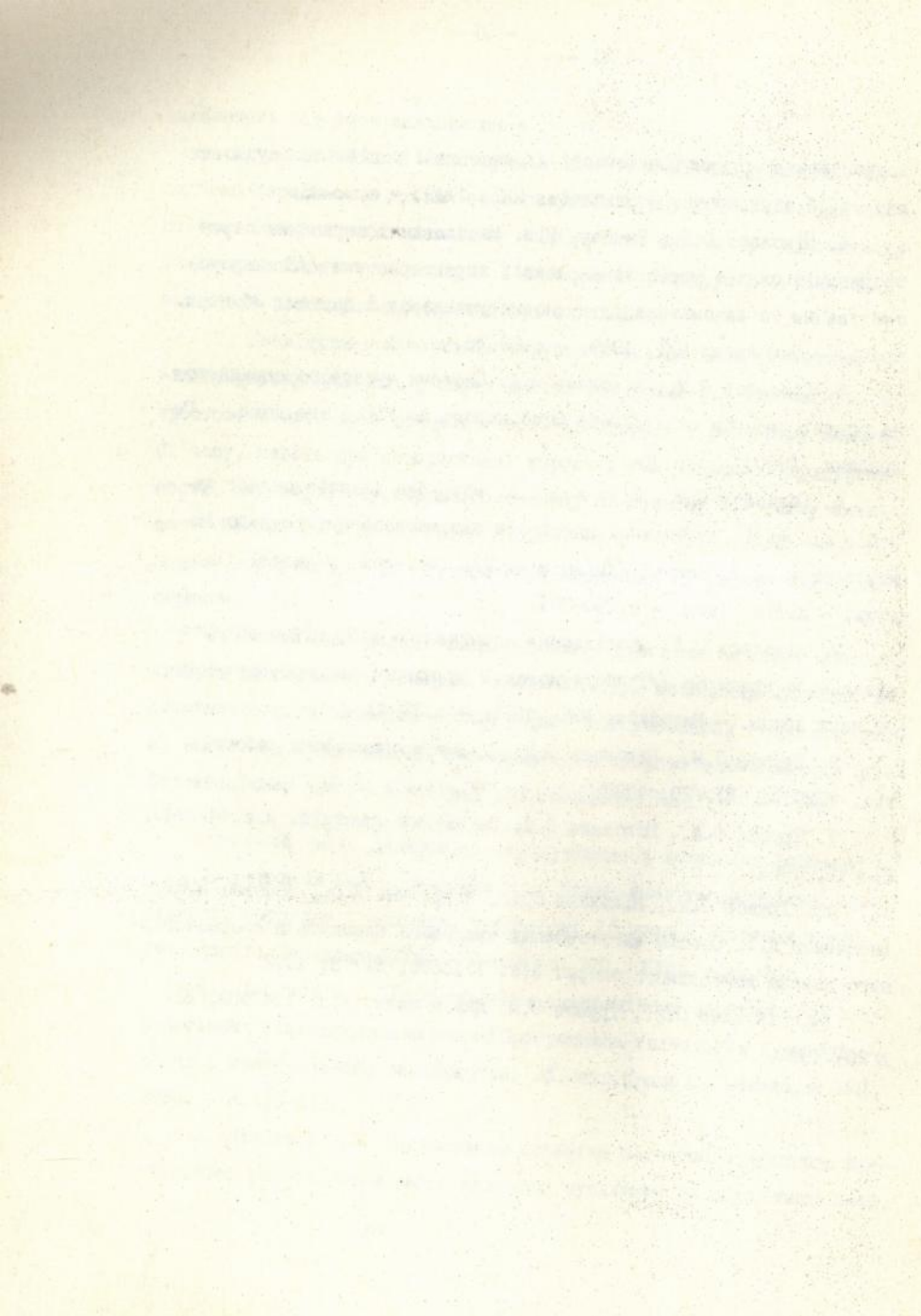
7. Ніколаєв О.Л. Дослідження адаптивного вібраційно-завантажувального пристроїв //Триботехнологія суднового машинобудування; Зб.наук.праць. - Миколаїв: МКІ, 1991. - с.39-47.

8. Трунов О.М., Ніколаєв О.Л. Захват промислового робота, а.с. 1328191, ВІ №29, 1987.

9. Трунов О.М., Ніколаєв О.Л. Захватний пристрій. А.с.1473943, ВІ №15, 1989.

10. Трунов О.М., Ніколаєв О.Л., Нікулічев В.О., Набоких В.П., Титрченко Л.І. Спосіб виготовлення чутливого елемента п'єзорезисторного давача контактного опору. А.с. 1716578, ВІ №8, 1992.

11. Ніколаєв О.Л., Трунов О.М. Давач сили. А.с. 1747959, ВІ №26, 1992.



1157009

AB 30.122

**AB 30.122**