

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"Київський політехнічний інститут"

На правах рукопису
УДК 621.9.077:621.865.85

ПАВЛЕНКО Іван Іванович

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ
ТА АНАЛІЗ ЇХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ
ДЛЯ ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Спеціальність: 05.03.01 - Процеси механічної обробки,
верстати і інструменти
05.02.05 - Робототехнічні системи

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук

КИЇВ 1996

7834.276

ЛННБ України ім.В.Стефаника



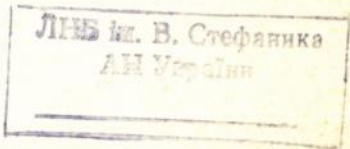
00759660 (X)

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Кіровоградському інституті сільськогосподарського машинобудування.

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор
Спину Гліб Олександрович,
доктор технічних наук, професор
Носов Григорій Романович,
доктор фізико-математичних наук, професор
Горошко Олег Олександрович.

Провідне підприємство: Кіровоградський завод "Гідросила".



Захист відбудеться " 15 " 04 1996р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д 01.02.09 в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" за адресою: 252056 м.Київ, вул.Перемоги, 37, корп. 1, ауд. 214.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий " ___ " _____ 1996р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої Ради Д 01.02.09 доктор технічних наук, професор

Н.С.Равська

Анотація

Дисертаційна робота присвячена вдосконаленню методів розрахунку і проектування конструкцій промислових роботів і роботизованих комплексів.

Метою дисертаційної роботи є підвищення якості створюваних конструкцій промислових роботів, та ефективності використання їх у виробництві.

В роботі вирішені наступні основні завдання:

— розроблено метод структурного аналізу і синтезу побудови промислових роботів різної складності, включаючи різну кількість рук і захватів, а також особливостей з'єднання їх між собою;

— розроблені показники оцінки рухових можливостей роботів, що дозволяє знаходити оптимальні геометричні і кінематичні параметри роботів;

— створена методика проектування кінематичних схем роботів для виконання верстатних і ін. операцій і переходів;

— розроблена структура побудови пальцевих захватів і запропоновані показники оцінки їх захватних і операційних можливостей, що дозволяє встановлювати оптимальні конструктивні параметри таких захватів;

— розроблена методика і рекомендації по розрахунку механічних систем роботів на точність, жорсткість і динаміку;

— запропоновано обґрунтування градації промислових роботів по основних технічних характеристиках і конструктивних параметрах;

— розроблена структура побудови і розглянуто практичний досвід проектування багатопозиційних конструкцій промислових роботів, та обґрунтування умов ефективного їх використання.

Автор захищає:

1. Методику структурного аналізу і синтезу промислових роботів різної складності.

2. Показники оцінки рухових можливостей одноруких і багатуруких роботів.

3. Методику проектування кінематичних схем роботів різного призначення.

4. Методику структурного аналізу і синтезу пальцевих захватів, та показники оцінки їх захватних і операційних можливостей;

5. Методику виконання точностних розрахунків конструкцій промислових роботів, та точностних умов виконання роботом різних операцій.

6. Методику статичних та динамічних розрахунків механічних систем

роботів, та рекомендацій по проектуванню розглянутої конструкції.

7. Обґрунтування градації промислових роботів по основних технічних характеристиках і конструктивних параметрах.

8. Розроблені багатопозиційні конструкції промислових роботів та їх модулі.

9. Методику економічного обґрунтування ефективності використання промислових роботів та роботизованих комплексів.

Основна характеристика роботи

Актуальність роботи. Ріст продуктивності праці, подальший підйом ефективності суспільного виробництва, потребують неухильного підвищення рівня механізації і автоматизації на всіх ділянках виробництва. ●

В особливості, це відноситься до автоматизації різноманітних ручних і допоміжних робіт, на виконанні яких зайнято біля 40% працюючих. Одним з найбільш перспективних напрямків у вирішенні поставленого завдання є використання промислових роботів — якісно нових, найбільш універсальних засобів автоматизації. Основною особливістю, якою відрізняються промислові роботи від інших засобів автоматизації, є наявність в них високорухомої механічної системи, виконаної у вигляді механічних рук і розвинутої системи програмного керування, що дозволяє роботам оперативно відтворювати рухові функції рук людини, виконуючи захват деталей, їх просторове переміщення, орієнтування і інші види операційних рухів.

Значний ріст випуску промислових роботів, велика перспектива їх використання, а також новизна цього глобального науково — технічного напрямку, вимагають проведення подальших досліджень по вдосконаленню основ їх розрахунку і проектування з доведенням цих робіт до ефективного використання промислових роботів у виробництві.

Мета роботи є у вдосконаленні методів розрахунку і проектування промислових роботів, сприяючи створенню більш якісних і економічно доцільних їх конструкцій, а також роботизуємих верстатних і інших комплексів, для чого необхідно вирішити наступні основні завдання:

а) розробити метод структурного аналізу і синтезу промислових роботів з різною кількістю рук, захватів і способів з'єднання їх між собою, а також вибору, на цій основі, раціональних варіантів кінематичних схем;

б) розробити показники оцінки рухових можливостей роботів різної складності, а також окремих структурних груп і проаналізувати по цих показниках найбільш доцільні схеми;

в) створити методику проектування кінематичних схем роботів і, на цій основі, виконати встановлення доцільних схем роботів для деяких типових верстатних і ін. операцій;

г) розробити структуру побудови пальцевих захватів і визначити показники оцінки їх захватних і операційних можливостей, а також виконати аналіз типових їх конструктивних виконань;

д) розробити методику і рекомендації по розрахунках на жорсткість, точність і динаміку механічних систем роботів на прикладі типової конструкції;

є) запропонувати обґрунтування градації промислових роботів по основних технічних характеристиках і конструктивних параметрах;

ж) розглянути особливості і практичний досвід проектування багатопозиційних конструкцій промислових роботів і встановити умови ефективного їх використання.

Основна ідея роботи: розробка методики структурного аналізу і синтезу кінематичних схем роботів і варіантів їх різновидності; вибір оптимальних параметрів схем роботів по запропонованих показниках рухових, захватних і операційних можливостей; створення загальної методики проектування кінематичних схем роботів різної складності і призначення; встановлення обґрунтування градації промислових роботів по основних технічних характеристиках і конструктивних параметрах; розробка рекомендацій по точностних, статичних і динамічних розрахунках конструкцій роботів, а також особливостей їх проектування і забезпечення умов ефективної експлуатації.

Методи дослідження. Для вибору оптимальних кінематичних схем промислових роботів, які являються основою їх конструкцій, і визначають функціональні можливості та ступінь їх досконалості, на основі ймовірносних методів теоретичного аналізу, вирішені питання знаходження прийнятних схем роботів із великої різноманітності можливих варіантів схем роботів з будь-якою кількістю рук і захватів, а також способів з'єднання їх між собою. Із цих варіантів, на основі виробленої методики проектування схем роботів і запропонованих інтегральних рішень за оцінкою рухових і ін. характеристик роботів, визначаються оптимальні схеми з необхідними, для цього, основними кінематичними і геометричними параметрами.

Для дослідження пальцевих захватів, і знаходження їх основних конструктивних параметрів, виконані аналітичні дослідження по запропонованих показниках захватних і операційних можливостей.

Силіві розрахунки механічних систем роботів на жорсткість і динамічну якість, а також точностні розрахунки, розглянуті на прикладі найбільш типової конструкції, з використанням класичних диференціальних і інтегральних методів Кастальяно, Даламбера, Лагранжа і ін, що дозволило виробити ряд конкретних рекомендацій по проектуванню таких роботів.

На основі метрологічних даних по виконанню технологічних операцій і регламентованих параметрів використовуваного в виробництві устаткування, а також статистичної інформації по оброблюваних деталях в машинобудуванні, виконано аналітичне і графо-аналітичне обґрунтування рекомендованої градації промислових роботів по основних технічних характеристиках і конструктивних параметрах.

Достовірність багатьох теоретичних висновків підтверджена: співпаданням вирахованих параметрів шарнірної руки і пальцевих захватів роботів з аналогічними ланками руки і кисті людини; проведеними експериментальними дослідженнями жорсткості і динаміки типової конструкції робота; практичним досвідом розробки, виготовлення і впровадження у виробництво роботів і їх модулів, а також економічними результатами цих робіт.

Наукова новизна. Розроблено математичний метод аналізу і синтезу структури і різноманітності можливих варіантів кінематичних схем роботів будь-якої складності, з визначенням, на цій основі, практично доцільних варіантів. Розроблені показники оцінки рухових можливостей роботів з різною кількістю рук, за якими можна визначити оптимальні геометричні і кінематичні параметри схем роботів. Запропонована загальна методика проектування кінематичних схем роботів, що дозволяє знаходити необхідні їх варіанти, для конкретних виробничих умов.

Розроблена структура і показники оцінки захватних і операційних можливостей пальцевих захватів, на основі яких визначаються основні їх конструктивні параметри.

Виконано дослідження впливу основних конструктивних параметрів типової схеми робота на його жорсткість, точність і динамічну якість.

Запропоновано обґрунтування градації промислових роботів по основних характеристиках і конструктивних параметрах.

Розроблена класифікаційна структура циклових конструкцій промислових роботів і методика практичного створення таких роботів з необхідним економічним обґрунтуванням.

Практична цінність. Запропонований метод детального математичного аналізу структури кінематичних схем роботів будь-якої складності, дозволяє детально розібратись у великій кількості їх варіантів, і вибрати з них обмежену кількість практично доцільних варіантів, з різною кількістю рук, захватів і способів з'єднання їх між собою.

Розроблені комплексні показники оцінки роботів по здійсненню ними різноманітних переміщень, орієнтувань і загальних рухових можливостей, що дозволяє знаходити оптимальні геометричні і кінематичні параметри схем роботів, а також зрівнювати можливості різних варіантів.

Практична перевірка правильності таких висновків виконана на прикладах аналізу найбільш типової схеми робота зі структурою ОППО, а також шарнірної плече — ліктьово-кистевої схеми ООО, для якої теоретично визначені параметри співпали з аналогічними параметрами руки людини.

Вироблена загальна методика проектування кінематичних схем роботів, яка дозволяє обґрунтовано вирішувати це важливе питання. На основі цієї методики визначені доцільні варіанти кінематичних схем роботів для роботизації деяких типових верстатних операцій, при конкретних практичних вихідних умовах.

По запропонованих показниках оцінки захватних і операційних можливостей пальцевих захватів проаналізовані типові варіанти таких захватів, враховуючи різну кількість пальців в захваті, а також, рухомих ланок в кожному пальці. Одержані, при цих дослідженнях, значення геометричних і кінематичних параметрів таких захватів співпали, при відповідних умовах, з параметрами пальців кисті руки людини.

Розроблено інженерний метод розрахунку механічних систем роботів на жорсткість, точність і динамічну якість, дозволяючий визначити необхідні розміри поперечного перерізу основних ланок, співвідношення між їх жорсткістю, відстані між опорами і їх розташуванням, раціональні закони розгону й гальмування, тривалість цих режимів руху, і т. ін.

Виконано обґрунтування градації промислових роботів по вантажопідйомності, величині та швидкості переміщення рухомих ланок, точності позиціонування і точності відтворення траєкторії руху, а також по конструктивних параметрах модулів роботів і умов стикування їх між собою, що забезпечує більш ефективні умови для створення роботів і їх експлуатації.

Розглянуті детальні класифікаційні особливості побудови циклових промислових роботів, на основі яких, розроблено ряд патентно-чистих конструкцій модулів роботів, а також дві закінчені конструкції промислових роботів РЦ5Г10 і РЦ6 П10, відзначених нагородами при демонструванні на ВДНГ УРСР.

Приведені практичні рекомендації по створенню економічно-ефективних конструкцій промислових роботів і відповідних умов їх експлуатації.

Реалізація роботи. Виконаний комплекс досліджень пройшов перевірку і впровадження при розробці конструкцій промислових роботів з загальним річним економічним ефектом 150 тис. крб, в цінах 1991 р. Результати виконаних робіт знайшли широке використання в підручниках, навчальних посібниках, монографіях і інших публікаціях багатьох авторів, розроблених ГОСТах по промислових роботах, а також в навчальному процесі КІСМу і ін. інститутах.

Апробація роботи. По матеріалах досліджень зроблено 24 доповіді на Всесоюзних і республіканських конференціях в Києві, Москві, Ризі, Ташкенті, Севастополі, Краснодарі, Уфі, Воронежі, Краматорську, Йошкар-Олі і Кіровограді, на наукових семінарах по комплексно-цільовій програмі «Роботи і робототехнічні системи» в МВТУ ім. Баумана, ЦНІІ РТК при Ленінградському політехнічному інституті, Київському політехнічному інституті, на засіданні Придніпровського наукового центру АН УРСР, на регулярних засіданнях Республіканської ради по роботах і робототехнічних системах, а також на наукових семінарах Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. Розроблені конструкції промислових роботів РЦ5Г10 і РЦ6П10 демонструвались на ВДНГ УРСР, а розроблений самоцентруючий захватний пристрій широко використовується в типових роботах РВ-50; ЦРВ-50; УМ160. Ф2; СМ40. Ф2 і ін.

Публікації. По матеріалах дисертації опубліковано 45 статей, зроблено 24 доповіді на Всесоюзних і республіканських конференціях, отримано 16 авторських свідоцтв на винаходи, а також видана монографія. Із робіт, опублікованих в співавторстві в дисертації використанні тільки ті результати, які отримані автором самостійно.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, 8 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатку. Робота викладена на 435 стор. машинописного тексту, має 111 мал., 13 табл. і бібліографію на 359 найменувань.

У вступі та першій частині обгрунтована актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання досліджень та наукову новизну, наведені основні відомості про цінність і апробацію роботи.

В другому — п'ятому розділах розглянуті питання структурного аналізу і синтезу кінематичних варіантів роботів різної складності, ґрунтовно проаналізовані типові їх варіанти, виконано дослідження їх рухових, захватних, і операційних можливостей та наведена методика і приклади проектування кінематичних схем роботів різного призначення.

У шостому розділі розглянута методика та рекомендації по виконанню розрахунків механічних систем роботів на жорсткість, точність та динамічну якість на прикладі типової конструкції, а також результати експериментальних досліджень по цих питаннях.

В сьомому розділі наведено обгрунтування градації промислових роботів по технічних характеристиках та конструктивних параметрах.

У восьмому розділі розглянута структура побудови циклових роботів, практичний досвід створення багатопозиційних конструкцій таких

роботів і окремих їх модулів, а також економічні обґрунтування основних напрямків ефективного створення роботів та використання їх у виробництві.

Основний зміст роботи

Вперше промислові роботи з'явилися на початку 60-х років. Вони, за порівняно короткий час, одержали широке практичне використання в усіх технічно розвинених країнах.

Перший розділ. З використанням промислових роботів зв'язують вирішення багатьох соціально-економічних проблем. Головним критерієм, який визначає доцільність впровадження роботів у виробництво, в більшості випадків, являється забезпечення економічної ефективності. Виконання цієї умови представляє значну складність. Впровадженню роботів повинно передувати комплексне передпроектне обстеження виробництва, на предмет оцінки доцільності і вибору оптимальних форм проведення цих робіт. При цьому, роботизацію виробництва необхідно розглядати, з одного боку, як складову частину загальної техніко-економічної політики виробництва, а з другого — як один із глобальних напрямків, з яким все в більшій мірі, будуть зв'язувати різні сфери виробничої і невиробничої діяльності людини.

Промислові роботи являються подальшим розвитком існуючих засобів автоматизації завантажувально-розвантажувальних, складальних, транспортувальних, зварювальних і ін. операцій.

Значний науковий вклад в розробку теоретичних основ розрахунку і конструювання таких пристроїв внесли багато вчених, із яких необхідно виділити: Артоболовського І. І., Бойцова В. В., Владзієвського А. П., Волчковича А. І., Дашенка А. П., Камишного М. І., Корсакова В. С., Кошкіна Л. Н., Кузнєцова Ю. М., Малова А. М., Медвідя М. В., Рабіновича А. Н., Шаумяна Г. А., і ін.

Другим важливим доповненням до цього послужили наукові дослідження по маніпуляторах, які призначені для роботи з радіоактивними матеріалами, а також в інших життєвонебезпечних умовах. Із виконаних робіт, в цих напрямках, слід відзначити публікації Дмитрієва А. Н., Ігнат'єва М. Б., Катиса Г. М., Кулакова В. С., Кулешова В. С., Ястребова В. С., і ін.

В становлення робототехніки, як нового наукового напрямку, великий внесок внесли колективи під керівництвом: акад. АН СРСР Артоболовського І. І.; д. т. н., проф. Кобринського А. Ю., (Інститут машинобудування АН СРСР); чл. — кор. АН СРСР Попова Є. П., д. т. н., проф. Кулешова В. С. (МВТУ ім. Баумана); д. т. н., проф. Беляніна П. М. (ІАТ); д. т. н., проф. Юрєвича Є. І. (ЛПІ ім. Калініна); чл. — кор.

АН СРСР Макарова І. М. (МДУ ім. Ломоносова); акад. АН СРСР Патона Б. Є., д. т. н., проф. Спину Г. О. (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона); д. т. н., проф. Костюка В. І., д. т. н., проф. Гавриша А. П., проф. Ямпольського Л. С. (Київський політехнічний інститут), і ін.

Роботи, як складні технічні системи, прийнято розділяти на дві основні частини: механічну (виконуючу) і інформаційно-керуючу. Головною особливістю дослідження механічної частини становить висока кінематична рухомість і розімкненість кінематичних ланцюгів. Це, поряд із значними вимогами до швидкодії роботів, гнучкості та високої точності рухів, роблять розрахунки механічних систем, по багатьох питаннях, досить складними і не повністю дослідженими. Складність їх вирішення різко підвищується із збільшенням кількості ступенів рухомості роботів, а, тим більше, при багаторуких і багатозахватних їх виконаннях.

В області механіки роботів, в першу чергу, слід виділити дослідження їх кінематики, включаючи структуру їх побудови, аналіз і синтез всіх можливих варіантів, вибір раціональних, а тим більше, оптимальних схем і. т. ін. Важливість цих питань викликана тим, що кінематика визначає основу конструктивної побудови роботів та їх функціональні можливості. У вирішенні відмічених питань великий внесок зробили Артоболовський І. І., Кобринський А. Ю., Степаненко Ю. А., Виноградов І. Б., Воробйов Є. І., Лебедєв П. А., Овакімов А. І., Камишний М. І., Костюк В. І., Ямпольський Л. С., Зинов'єв В. А., і ін. Ці роботи присвячені дослідженню структури і загальних властивостей кінематичних схем роботів, аналізу різновидів їх варіантів, а також оцінці можливостей і математичному опису виконуючих ними рухів.

Все це дозволяє приступити до більш детального розгляду питань структурного аналізу і синтезу побудови роботів різної складності (з різною кількістю рук, хватів, способів з'єднання їх між собою і ін.) і визначенню оптимальних їх геометричних і кінематичних параметрів на базі запропонованих показників оцінки рухових, хватних і операційних можливостей. При цьому також важливо створення загальної методики проектування кінематичних схем роботів для виконання верстатних і інших робіт і операцій.

Якість конструкції роботів, у визначній мірі, залежить від обґрунтованості виконаних силових і точносних розрахунків. Ці питання, на основі класичних теорій, а також фундаментальних наукових робіт Тимошенко С. П., Лойцяньського Л. Г., Лур'є А. І., Бідермана В. Л., Писаренко Г. С., Бруєвича Н. Г., Вентцеля Є. С., Гнеденко Б. В., і ін, стосовно до роботів розглянуті в роботах Беляніна П. М., Попова Є. П., Воробйова Є. І., Кобринського А. А., Кобринського А. Ю., Спину Г. О., Бурдакова С. Ф.,

Самотокіна Б. Б., Тимофєєва А. Н., та ін. При всій багатоплановості цих досліджень, залишається ще багато невирішених питань, в тому числі з доведенням статичних, динамічних і точностних розрахунків до конкретних методик вирішення цих питань і розробки практичних рекомендацій для типових конструкцій роботів.

Для якісного виконання завдань проектування конструкцій роботів необхідна наявність обгрунтованої їх градації по основних технічних характеристиках і конструктивних параметрах. Вихідні пропозиції по цих питаннях розглянуті в роботах Сурніна Б. Н., Юрєвича Є. І., Козирєва Ю. Г., і ін. Виробивши аргументовані критерії по вирішенню цих питань, маємо можливість встановлення більш точної і обгрунтованої градації по вказаних параметрах.

Актуальним питанням розвитку робототехніки є необхідність подальшого вдосконалення конструкцій промислових роботів. Одним з таких напрямків є створення багатопозиційних конструкцій роботів з спрощеними системами керування. В цьому плані виконана розробка роботів РЦ5Г10 і РЦ6П10, а також велика кількість лінійних, обертових, захватних і інших модулів. Для прийняття доцільних технічних, організаційних, економічних і інших рішень по розробці роботів, а також верстатних і інших комплексів, необхідно визначення умов і меж ефективного їх використання у виробництві.

На основі аналізу вищевказаних і інших праць, в дисертації визначені основні цілі і завдання досліджень, а також шляхи її практичної реалізації.

Другий розділ. Висока кінематична рухомість і велика кількість різних роботів роблять складним вирішення питання вибору оптимальних їх кінематичних схем. Для цього пропонується кінематику роботів розділити на окремі групи, які відрізняються між собою функціональним призначенням і конструктивною приналежністю до відповідного виконавчого механізму робота. За такими признаками загальну кінематику роботів можна розділити на три основні групи:

- кінематики основи;
- кінематики руки;
- кінематики кисті.

На цій основі кінематику робота з однією рукою і одним захватом (кистю) можна подати слідувчою структурною формулою:

$$n = n_o + n_p + n_k$$

де: n — загальна кількість ступенів рухомості робота,

n_o , n_p , n_k — кількість ступенів рухомості кінематики основи, руки, кисті.

Досить універсальні промислові роботи з однією рукою і одним захватом повинні мати слідуочу структуру:

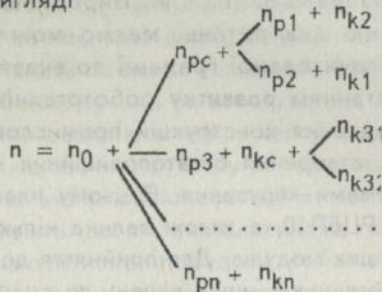
$$5...7 = (0...1)_O + 3_p + (2...3)_K$$

Помимо цих кінематичних груп в роботах можуть бути і інші:

- ступені рухомості спільні для двох і декількох рук (n_{pc});
- ступені рухомості спільні для двох чи декількох кистей (n_{kc});
- ступені рухомості локальних рухів ($n_{л}$).

Структуру багаторукого і багатозахватного робота можна представити:

а) в розгорнутому вигляді



б) в строчній формі

$$n = n_0 + \left\{ \left[n_{pc} + \left[(n_{p1} + n_{k1}) + (n_{p2} + n_{k2}) \right] + \left[n_{p3} + n_{kc} + (n_{k31} + n_{k32}) \right] + \dots + (n_{pn} + n_{kn}) \right] \right\}$$

Для врахування великої кількості варіантів кінематичних схем в їх структурних формулах необхідно враховувати:

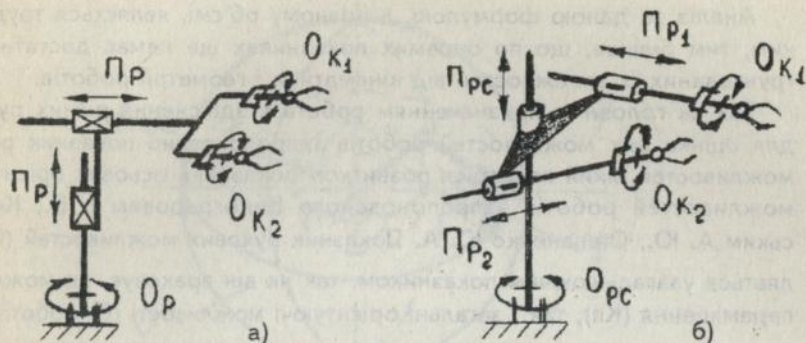
- склад використовуваних кінематичних пар;
- порядок розташування пар в схемі робота;
- вид рухів, використовуваних в кінематичних парах;
- характер виконання кінематичних пар;
- направленість рухів по окремих ступенях рухомості.

Тоді структура робота з однією рукою і двома захватами (кистями) матиме вигляд (мал. 1, а):

$$5 = 3_p + \begin{cases} 1_{k1} \\ 1_{k2} \end{cases} = (O \parallel \Pi \perp \Pi)_p + \begin{cases} (\parallel \cdot O)_{k1} \\ (\parallel \cdot O)_{k2} \end{cases}$$

Структуру дворукого робота з кінематично зв'язаними руками (мал. 1, б) можна записати:

$$6 = 2_{pc} + \begin{cases} 1_{p1} + 1_{k1} \\ 1_{p2} + 1_{k2} \end{cases} = (O \perp \Pi)_pc + \begin{cases} (\times \Pi)_{p1} + (IO)_{k1} \\ (\times \Pi)_{p2} + (IO)_{k2} \end{cases}$$



Мал.1. а) Кінематична схема робота з однією рукою і двома захватами. б) Кінематична схема робота з двома кінематично зв'язаними руками.

Для більш закінченого структурного запису кінематики роботів біля кожної кінематичної пари можна вказати величину і швидкість їх переміщення, а при потребі прискорення і довжини ланок.

На основі запропонованого методу структурного представлення роботів, можна докладно аналізувати всі різноманітні виконання роботів чи окремі їх структурні групи і по узагальнених показниках (тип робочої зони, її розмірність і т. ін.) знаходити практично доцільні їх варіанти.

Третій розділ. Кінематика промислових роботів оцінюється багатьма показниками: числом ступенів рухомості; структурою кінематичних схем; розмірністю робочої зони; типом системи координат і т. ін.

Найбільш повну оцінку оптимальності кінематичних схем роботів слід здійснювати за показником:

$$\Pi_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot k_i}{n}$$

де Π_0 — показник оптимальності,
 λ_i — коефіцієнти, які визначають вагомість різних показників,
 k_i — критерії, які визначають вплив кінематичних і геометричних параметрів робота на різні його характеристики,
 n — число прийнятих критеріїв оцінки оптимальності.

Аналіз за даною формулою, в повному об'ємі, являється трудомістким, тим більше, що по окремих показниках ще немає достатньо обґрунтованих їх залежностей від кінематики і геометрії роботів.

Так як головним призначенням робота є здійснення різних рухів, то для оцінки цих можливостей роботів запропоновано показник рухових можливостей, який являється розвитком показника осьових орієнтуючих можливостей роботів запропонованого Виноградовим І. Б., Кобринським А. Ю., Степаненко Ю. А. Показник рухових можливостей (K_D) являється узагальнюючим показником, так як він враховує, як можливості переміщення (K_n), так і загальні орієнтуючі можливості (C) роботів:

$$K_D = K_n C = K_n C_o C_n$$

де C_o — орієнтуючі можливості осі захвату,

C_n — орієнтуючі можливості площини захвату.

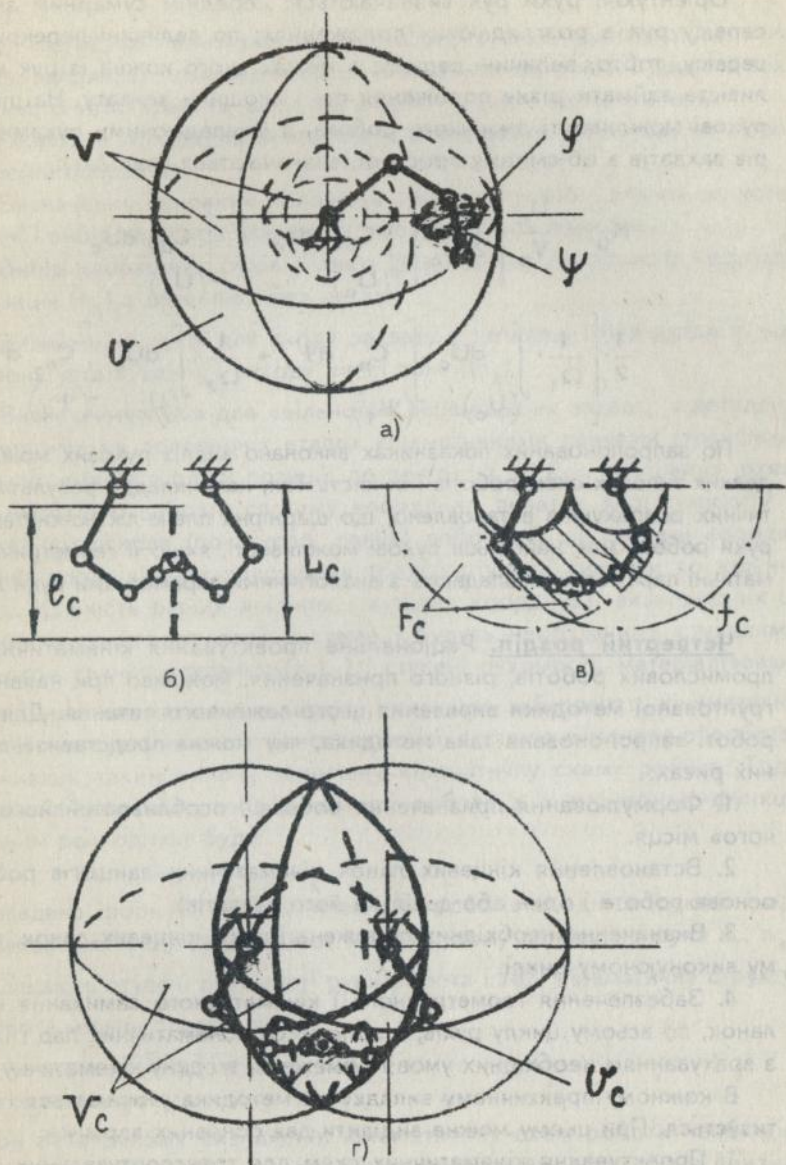
Показник переміщень характеризує відношення реально досягнутих переміщень захвату до теоретично можливих. В залежності від специфіки аналізу, можливості переміщення, як і орієнтуючі можливості, можна визначати при переміщеннях захвату по лінії, площині і в об'ємі. Кожний із цих показників, як і загальний показник рухових можливостей, може знаходитись в межах від 0 до 1.

Так, при переміщенні захвату в об'ємному просторі (мал. 2, а) загальні його рухові можливості визначаються за формулою:

$$K_g = \frac{1}{V} \int_{(U)} C_o dU \cdot \frac{1}{\Omega} \int_{(U)} dU \cdot \int_{(\Psi)} C_n d\Psi$$

де U, V — реальна і теоретично можлива величина переміщення захвату, Ψ — просторовий (тілесний) кут, всередині якого може змінюватись осьова орієнтація захвату.

Запропоновані показники можна використовувати для оцінки рухових можливостей роботів з будь-якою кількістю рук. При цьому такі оцінки можуть визначатися як по незалежних, так і по погоджених руках рук. Незалежні рухи рук оцінюються аналогічно одноруким роботам. Переміщення рук при погодженому їх русі визначається при сумісних і відносних переміщеннях захватів по лініях, площинах і в об'ємі. Всі ці рухи розглядаються при різних відстанях між захватами рук і різних напрямленнях їх рухів. Достатньо повну оцінку погоджених переміщень одержимо при сумісності центрів захватів рук чи коли захвати переміщуються по одній спільній траєкторії (мал. 2, б, в).



Мал. 2. Робочі зони однорукого (а) і дворуких (б - г) робітників і схеми орієнтувальних їх рухів (а,г)

Орієнтуючі рухи рук визначаються: середнім сумарним значенням сервісу рук в розглядаючих положеннях; по величині перекриваючого сервісу, тобто, величині сервісу, в межах якого кожна із рук має можливість займати різне положення осі і площини захвату. На цій основі, рухові можливості дворукого робота, з співпадаючими рухами їх центрів захватів в об'ємному просторі, визначаються (мал.2, г):

$$K_g := \frac{U_c}{V_c} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot U_c} \cdot \left[\int_{(U_c)} C_{D1} dU_c + \int_{(U_c)} C_{D2} dU_c \right] + \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{\Omega_1} \cdot \int_{(U_c)} dU_c \cdot \int_{(\Psi_1)} C_{n1} d\Psi_1 + \frac{1}{\Omega_2} \cdot \int_{(U_c)} dU_c \cdot \int_{(\Psi_2)} C_{n2} d\Psi_2 \right] \right]$$

По запропонованих показниках виконано аналіз рухових можливостей деяких типових схем робіт і їх кисті. Так, наприклад, в результаті теоретичних розрахунків встановлено, що шарнірна плече-ліктьо-кистева схема руки робота має найбільші рухові можливості, якщо її геометричні і кінематичні параметри співпадають з аналогічними параметрами руки людини.

Четвертий розділ. Рациональне проектування кінематичних схем промислових робіт, різного призначення, можливо при наявності обґрунтованої методики вирішення цього важливого питання. Для цього в роботі запропонована така методика, яку можна представити в загальних рисах:

1. Формулювання призначення робота і особливостей його «робочого» місця.
2. Встановлення кінцевих ланок кінематичних ланцюгів робота (це основа робота і один або декілька його захватів).
3. Визначення необхідних положень і рухів кінцевих ланок, по всьому виконуючому циклі.
4. Забезпечення геометричного і кінематичного замикання кінцевих ланок, по всьому циклу рухів, з допомогою кінематичних пар і їх ланок, з врахуванням необхідних умов і обмежень, в єдину кінематичну схему.

В кожному практичному випадку ця методика уточнюється і конкретизується. При цьому можна виділити два основних варіанти:

1. Проектування кінематичних схем для транспортувальних робіт, виконуючих позиційні рухи.
2. Проектування кінематичних схем для технологічних робіт, виконуючих контурні рухи.

Тоді, методика проектування кінематичних схем транспортувальних роботів, наприклад, для завантаження токарних верстатів і другого технологічного устаткування, включає в себе слідуєчі основні етапи:

1. Розробка компанувального плану розміщення устаткування на роботизуємі операції.

2. Визначення основних положень транспортуємих деталей на устаткуванні і вибір варіантів захвату їх роботом в цих позиціях.

3. Вибір необхідних рухів захвату для підходу до позицій і відходу від позицій (n_p) з деталлю і без деталі.

4. Визначення рухів для входу захвату з деталлю і без деталі в робочу зону устаткування і виходу з цієї зони. (n_z)

5. Визначення рухів для «вільного» переміщення захвату з деталлю, і прийнятими на попередніх етапах кінематичними ланками (транспортуєча система), від одної позиції, до другої і т. д. Для вирішення цього етапу необхідно вибрати систему координат, початок якої сумістити з положенням основи (початкової ланки) робота. В цій системі координат аналізують вихідні положення транспортуєчої системи по кожній позиції. Кількість різних лінійних і кутових координат, визначаючих ці положення транспортуєчої системи і будуть необхідними ступенями «вільного» транспортування (n_T). Ці ступені рухомості, матеріалізовані відповідними кінематичними парами і ланками, забезпечать кінематичне і геометричне замикання транспортуєчої системи з основою робота, визначивши, таким чином, закінчену кінематичну схему робота. Тоді, загальна кількість ступенів рухомості робота з їх структурно-функціональним розподілом буде:

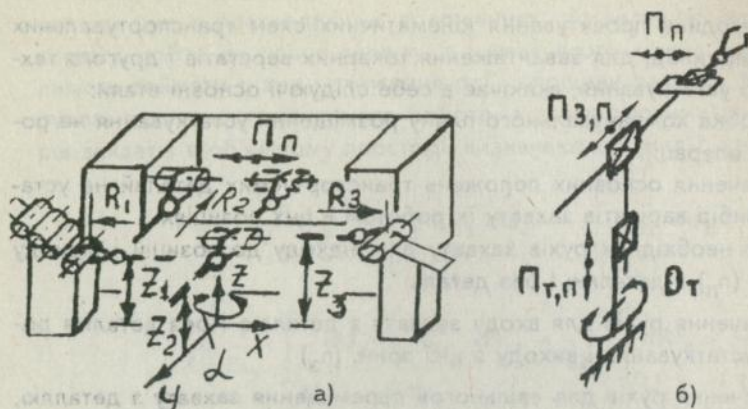
$$n = n_T + n_z + n_p + n_K$$

Наведена формула справедлива для роботів з однією рукою і одним захватом. Якщо такий робот має нерухому основу, то рухи n_T , n_z і n_p складають ступені рухомості руки робота і тоді кінематичну структуру робота можна представити:

$$n = n_p + n_K$$

$$\text{де } n_p = n_T + n_z + n_n$$

При остаточному визначенні кінематичних схем робота необхідно мати на увазі, що деякі ступені рухомості можуть мати різне призначення і входити в різні структурно-функціональні групи. На прикладі цієї методики встановлені типові кінематичні схеми роботів для завантаження токарних і інших верстатів, спрощений його приклад показано на мал.3.



Мал.3. Приклад побудови кінематичної схеми промислового робота для завантаження токарного верстату.

П'ятий розділ. Із захватних пристроїв промислових роботів найбільш універсальними являються їх пальцеві виконання. В теперішній час вже створена значна кількість таких конструкцій, які, в основному, використовуються в широко-універсальних роботах. Разом з тим, питання їх розрахунку і проектування практично не висвітлені в публікаціях, як в нашій державі, так і в інших країнах. Це, в першу чергу, відноситься до розробки загальних показників, які дозволяють оцінити принципові можливості таких захватів і впливу на ці можливості основних їх конструктивних параметрів. При вирішенні цих питань необхідно виходити з того, що пальцеві захвати являють собою багатоланкові, високорухомі конструкції. Це дозволяє їм виконувати захват і утримання предметів різної форми, а також з допомогою самих пальців здійснювати необхідні операції, забезпечуючи переміщення і орієнтацію утримуваних предметів. Виходячи з цього, в роботі запропоновано здійснювати оцінку можливостей таких захватів по показниках захватних і операційних можливостей.

Захватні можливості доцільно визначати на прикладах утримання типових деталей. Так, максимальний радіус циліндричних деталей R , які можна захватити двохланковими пальцевими захватами, визначаються із рівняння:

$$R^3 + R^2 \cdot (1 + m) \cdot \operatorname{tg} \alpha - R \cdot (L_1)^2 \cdot m \cdot (2 - m) - L_1^3 \cdot m^2 \cdot (1 - m) \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0$$

де α — кут контакту другої ланки пальців з деталлю;
 $m = L_2 / L_1$ — відношення довжин II і I ланок пальців.

Для оцінки захватних можливостей пальцевих захватів використовуються відносні показники:

— для утримування циліндричних деталей

$$K_R = R / (L_1 + L_2)$$

— для утримування плоских деталей

$$K_B = B / 2(L_1 + L_2) = 1 / (1 + m)$$

де B — ширина утримуваної деталі.

Із проведених досліджень встановлено вплив кількості рухомих ланок (Z) в пальцях на захватні можливості захвату (табл. 1):

Таблиця 1.

Z	2	3	4	5
K_R	0,577	0,615	0,626	0,63
K_B	0,666	0,80	0,857	0,88

Таким чином, в плані захватних можливостей, достатньо прийнятними являються дволанкові пальцеві захвати, і тільки в деяких випадках — трьохланкові. При цьому необхідно пам'ятати, що збільшення в пальці хоч би одної додаткової рухомої ланки, різко ускладнює конструктивну реалізацію таких захватів.

Операційні можливості пальцевих захватів визначаються сумісними і відносними рухами пальців. Ці рухи можна оцінити по максимальних і умовно середніх значеннях поступових і кутових, сумісних і відносних переміщеннях пальців. Найбільш загальні оцінки дають слідуєчі показники:

— умовно середня величина сумісних поступових переміщень кінців пальців

$$S_c = F_c / F$$

де F_c — величина зони, в межах якої можуть сумісно переміщуватись кінці пальців (мал.4.а);

F — величина повної зони в межах якої переміщуються пальці;

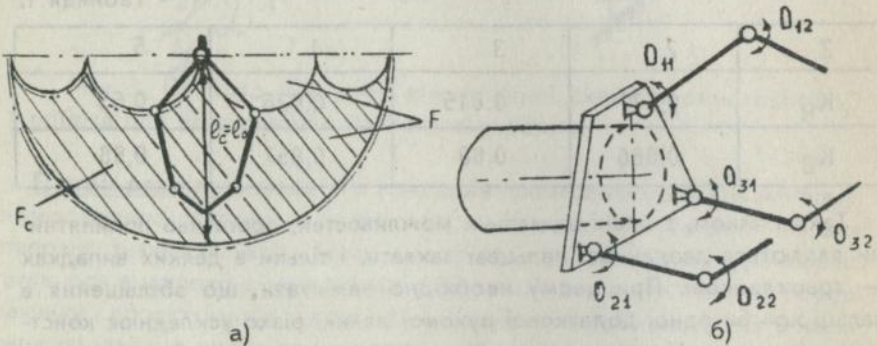
— умовно середня величина переміщення одного пальця відносно другого.

$$S_o = F_o / F$$

Із виконаних досліджень встановлено, що пальцевий захват робота з трьохланковими пальцями повинен мати геометричні і кінематичні параметри, близькі до пальцевого схвату руки людини. Природно, що для переважної більшості практичних задач немає необхідності в досить склад-

ному 5-ти пальцевому захваті з 3-ма рухомими ланками в кожному пальці. Ці задачі успішно можуть бути вирішені 2-х або 3-х пальцевими захватами з двома чи трьома рухомими ланками в пальцях. Приклад схеми одного з таких захватів приведений на мал.4.б, а його структура має вигляд:

$$n_3 = 6 = \begin{matrix} \diagup & O'_{11} & \parallel & O'_{12} \\ & O'_{21} & \parallel & O'_{22} \\ \diagdown & O'_{31} & \parallel & O'_{32} \end{matrix}$$



Мал.4. а) Зона спільних операційних рухів пальців захвату робота. б) Кінематична схема трьохпальцевого захвату.

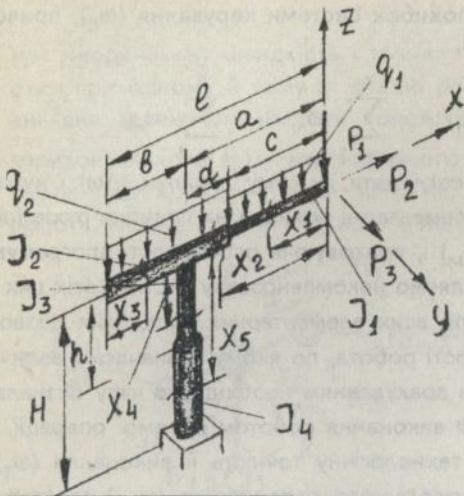
Шостий розділ. Силова незамкненість промислових роботів, висока кінематична рухомість виконуючих ланок, значна змінність їх вильотів — пред'являє високі вимоги до жорсткості, точності і динамічної якості конструкцій роботів.

При проектуванні роботів важливо домагатися правильного розподілу жорсткості між окремими ланками, а також обгрунтованого вибору основних їх параметрів. Вирішення цього питання виконане на прикладі найбільш типової Т-образної схеми робота (мал.5), по методу диференціювання потенціальної енергії U , розглянутої системи:

$$\delta_z := \frac{\partial U}{\partial P_1} ; \quad \delta_x := \frac{\partial U}{\partial P_2} ; \quad \delta_y := \frac{\partial U}{\partial P_3}$$

де δ_z , δ_x , δ_y — деформація руки робота в вертикальному, горизонтальному і тангенціальному напрямках;

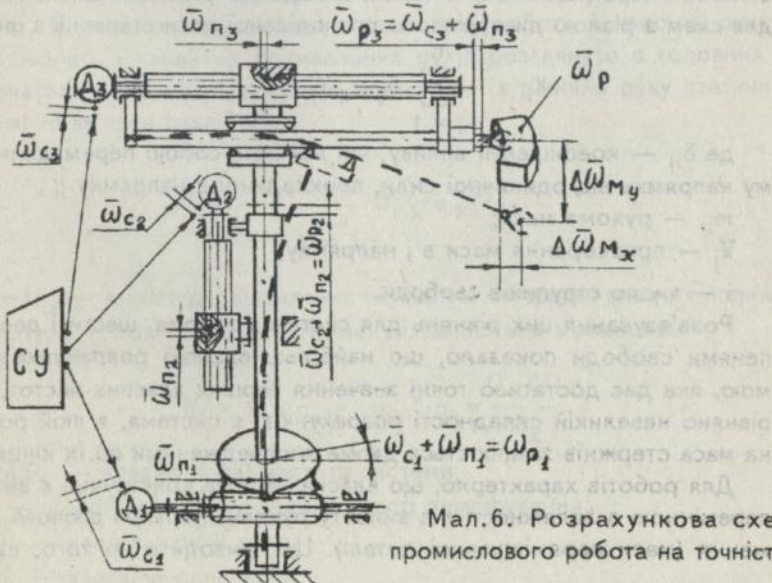
P_1 , P_2 , P_3 — сили, діючі в цих напрямках.



Мал.5. Розрахункова схема промислового робота на жорсткість.

Остаточне вирішення рівнянь зведене до формул і графіків, по яких можна визначити оптимальне відношення жорсткості ланок робота і їх дійсну величину. Встановлено, що основний вплив на прогиб руки робить деформація вертикальної стійки, жорсткість якої повинна бути в 3...8 разів вище горизонтального плеча. В свою чергу, крутильна жорсткість вертикальної стійки повинна бути вище її прогибною в 3...4 рази. Для зменшення власної деформації конструкції робота необхідно передню опору горизонтального плеча змістити з віссю вертикальної стійки.

Використовуючи загальні методи, розв'язування задач точності, виконана розробка загальної схеми і методу врахування формування всіх похибок в конструкції робота (мал.6).



Мал.6. Розрахункова схема промислового робота на точність.

Вони складаються з суми похибок системи керування (ω_c), приводів (ω_p) і механічної системи (ω_m).

$$\omega_p = \sum_{i=1}^n \omega_{ci} + \sum_{i=1}^n \omega_{ni} + \sum_{i=1}^n \omega_{mi}$$

Ці похибки можна також розглядати як суму лінійних ($\Delta\omega$) і кутових ($\gamma\omega$) похибок. Розділяючи всі елементарні похибки на похибки рухів (ω_p) і похибки механічної системи (ω_m) і, враховуючи особливості програмування і налагодження робота, виділяємо некомпенсовану частину всіх цих похибок. Послідуочий їх аналіз по всіх елементарних складових дозволяє скласти загальний баланс точності робота, по якому визначаємо величину і питому вагу кожної похибки з врахуванням необхідного часу безналагоджувальної роботи робота. Для виконання роботом окремої операції, необхідно, спочатку, встановити технологічну точність її виконання (ω_T), а потім визначити похибки технологічного середовища (ω_{TC}) та статичні (ω_{PC}) і динамічні (ω_{PD}) похибки робота із дотриманням слідуочої умови:

$$\omega_T \geq \omega_{TC} + \omega_{PC} + \omega_{PD}$$

Для здійснення динамічних розрахунків виконано обґрунтування розрахункової динамічної схеми робота. Використовуючи класичний метод Даламбера і відомі із механіки співвідношення між діючими на систему силами і переміщеннями її точок, складаємо рівняння вільних коливань для схем з різною дискретністю розподіленої маси стержнів в формі:

$$X_i = - \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \cdot m_{ij} \cdot \ddot{X}_j$$

де δ_{ij} — коефіцієнти впливу, які являють собою переміщення в i -тому напрямку від одиничної сили, прикладеної в напрямку j ;

m_{ij} — рухома маса;

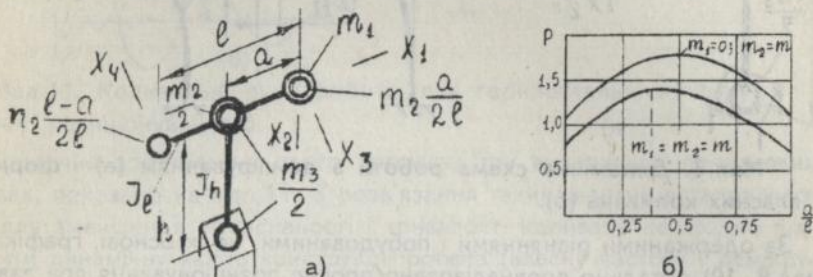
\ddot{X}_j — прискорення маси в j напрямку;

i — число ступенів свободи.

Розв'язування цих рівнянь для систем з трьома, шести і дев'яти ступенями свободи показало, що найбільш вдалою розрахунковою схемою, яка дає достатньо точні значення перших власних частот, при порівняно невеликій складності розрахунків, є система, в якій розподільна маса стержнів замінюється двома зосередженими по їх кінцях.

Для роботів характерно, що власна частота конструкції є величиною перемінною в залежності від вильоту рухомих ланок і діючого навантаження (маси переміщуваної деталі). Це приводить до того, що робот

має неодинакову швидкість і точність переміщень в різних положеннях руки при одному й тому ж законі розгону і гальмування. В роботі визначена залежність частоти конструкції від маси деталі m_1 , довжини горизонтального (L) і вертикального (h) стержнів, їх жорсткості і вильотів (мал.7). Коректуючи за цими залежностями закони руху ланок робота, можна істотно підвищити його швидкодію.



Мал.7. Розрахункова динамічна схема (а) і залежність власної частоти конструкції робота від маси деталі і ланок, та положення горизонтального плеча (б).

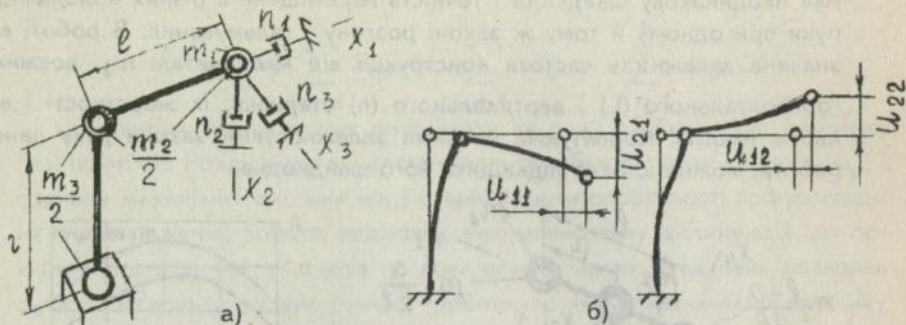
Зменшення часу переміщення ланок робота пов'язано із здійсненням прискореного розгону і гальмування, що, в свою чергу, приводить до появи коливальних рухів, особливо, в момент зупинки (позиціонування). Вплив конструктивних параметрів робота і законів руху на інтенсивність і характер коливальних рухів розглянуто в головних координатах, вибір яких дозволяє виключити із рівнянь руху статичні та динамічні зв'язки (мал.8):

$$X_i(t) = \sum_{k=1}^n U_{i,k} \cdot q_k(t)$$

де U_{ik} — амплітудні відхилення i -й маси к k -й формі власних коливань;
 $q_k(t)$ — головні координати, які визначаються з рівняння:

$$\ddot{q}_k + 2 \cdot n \cdot \dot{q}_k + (p_k)^2 \cdot q_k = \frac{Q_k(t)}{M_k}$$

де P_k — власна (k -та) частота системи;
 n — коефіцієнт пропорційності демпфування;
 Q_n — узагальнюючі сили;
 M_k — узагальнюючі маси.



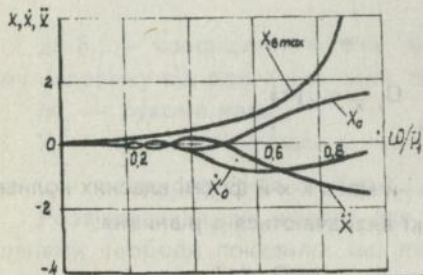
Мал.8. Динамічна схема робота з демпфуванням (а) і форми власних коливань (б).

За одержаними рівняннями і побудованими, на їх основі, графіками (мал.9, 10) детально проаналізовано процес позиціонування при завершенні дії гальмівної сили.

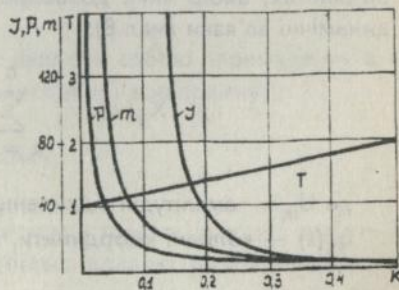
Так, коливальні рухи кінця руки робота в горизонтальному (X_1) і вертикальному (X_2) напрямках, при горизонтальному русі руки, записуються рівняннями:

$$x_1 = c_1 \cdot e^{-n_1 \cdot t} \cdot \cos(p_1 \cdot t + \phi_1) \cdot u_{11} + c_2 \cdot e^{-n_2 \cdot t} \cdot \cos(p_2 \cdot t + \phi_2) \cdot u_{12}$$

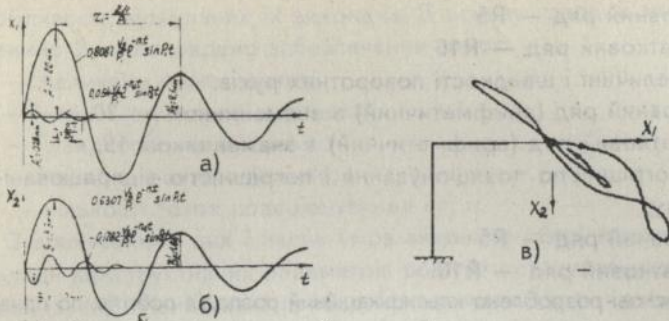
$$x_2 = c_1 \cdot e^{-n_1 \cdot t} \cdot \cos(p_1 \cdot t + \phi_1) \cdot u_{21} + c_2 \cdot e^{-n_2 \cdot t} \cdot \cos(p_2 \cdot t + \phi_2) \cdot u_{22}$$



Мал.9. Залежність амплітуди, швидкості та прискорення від відношення частот при синусоїдальному законі гальмування.



Мал.10. Вплив величини шляху гальмування на час руху (Т) і конструктивні параметри (J, P, m).



Мал.11. Коливальні рухи робота, при горизонтальному руху, в момент позиціонування.

Графічне зображення цього процесу, при визначених початкових умовах, показано на мал.11. З розв'язання таких рівнянь встановлено, що для зменшення інтенсивності і тривалості коливань необхідно підвищити динамічну якість конструкції робота (власну частоту і демпфування) і знижувати, за рахунок плавного гальмування, швидкість і пружне зміщення руки в момент зупинки (мал.9). Так, при синусоїдальному законі гальмування, його час повинен складати 0,8...1,2 періоду власної частоти конструкції робота.

Сьомий розділ. Постійне збільшення використання роботів вимагає встановлення обґрунтованої їх градації по основних технічних характеристиках і конструктивних параметрах. Для цього необхідно визначити вихідні умови, які доцільно покласти в основу такої градації. Такими умовами прийнято:

1. Встановлення відповідності між технічними характеристиками роботів і технічними характеристиками обслуговуючого устаткування.
2. Забезпечення відповідності між технічними характеристиками промислових роботів і параметрами об'єктів з якими вони оперують.
3. Досягнення погодженості між технічними характеристиками роботів і вимогами «ГОСТов», які пред'являються до виконуючих операцій.
4. Прийнята градація повинна відповідати вимогам «ГОСТ 8032-84(СТСЕВ 3961-83) Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел» і ін. сталим стандартизованим параметрам.

На цій основі визначена необхідна градація промислових роботів:

1. По вантажопідйомності:
 - основний ряд — R5 (знаменник — 1.6)
 - додатковий ряд — R10 (знаменник — 1.25)
2. По величині і швидкості лінійних рухів:

— основний ряд — R5

— додатковий ряд — R10

3. По величині і швидкості поворотних рухів:

— основний ряд (арифметичний) з знаменником — 30.

— додатковий ряд (арифметичний) з знаменником 15.

4. За погрішністю позиціонування і погрішністю відпрацювання траекторії руху:

— основний ряд — R5

— додатковий ряд — R10.

На цій основі розроблено класифікаційний розподіл роботів, по приведених характеристиках, для порівняльної оцінки їх якості (табл.2). Таблица 2.

Клас точності роботів	Величина переміщення, мм	Вантажопідйомність, кг			
		0,1	1,0	10	100
		Погрішність позиціонування, мм			
Високий	100	зв. 0,0035	зв. 0,005	зв. 0,007	зв. 0,01
		до 0,035	до 0,05	до 0,07	до 0,1
	250	зв. 0,005	зв. 0,007	зв. 0,01	зв. 0,014
		до 0,05	до 0,07	до 0,1	до 0,14
	400	зв. 0,006	зв. 0,0085	зв. 0,012	зв. 0,017
		до 0,06	до 0,085	до 0,12	до 0,17

В додаток до цього вирішене питання визначення потреби в роботах різної вантажопідйомності. Площі, розміщені між лініями вантажопідйомності:

$$P = \gamma \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \text{const}$$

в координатах довжини деталі (L) і діаметру деталі (d) і будуть визначати область використання роботів, величина яких, в полярній системі координат дорівнює:

$$F = \iint p \, dp \, d\alpha$$

де p — рівняння лінії вантажопідйомності.

Із виконаних досліджень встановлено, що максимальну потребу, для машинобудування (за винятком малих деталей приборобудування і т. ін) мають роботи вантажопідйомністю: 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; і 25 кг.

Підвищення ефективності створення і впровадження роботів у виробництво вимагає забезпечення їх регламентації не тільки по технічних характеристиках, а й по основних конструктивних параметрах. Це важливо, як при створенні звичайних конструкцій роботів, так і, в

особливості, модульних їх виконань. В основу градації модулів робіт повинно бути покладено забезпечення вимог:

- величини переміщення;
- навантажувальної здатності;
- швидкості переміщення;
- похибки позиціонування;
- кількості точок позиціонування і т. п.

З врахуванням цих і інших умов виконано обґрунтування необхідної градації конструктивних параметрів робіт і стикувальних їх елементів. Одне із таких виконань приведено на мал. 12, а частина діапазонів розмірів в табл.3.

Таблиця 3.

d мм	d ₁ мм	d ₂ мм	D мм	A мм		d ₀ мм	M
				R10	R20		
					14	3,4	M3
10	8	14	22	16		4,4	M4
					20	4,4	M4
16	12	20	30	25		5,5	M5

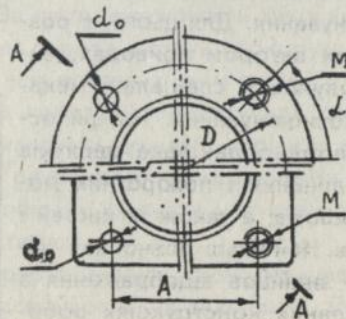
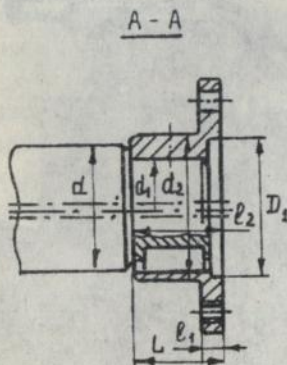
Підсумком цих досліджень є розробка класифікаційного позначення промислових робіт, в яке, в порядку важливості, необхідно включити:

а) основну частину позначень: тип системи керування; кількість ступенів рухомості і основні відмінні особливості виконання механічної частини; вид приводу; вантажопідйомність;

б) додаткову частину позначень: тип системи координат, в якій працює робот; погрішність позиціонування; максимальний радіус вильоту руки.

Виконання 1

Виконання 1.1 Виконання 1.2



Виконання 2.1 Виконання 2.2

Виконання 2

Мал.12. Уніфіковані виконання стиковочних фланців робіт.

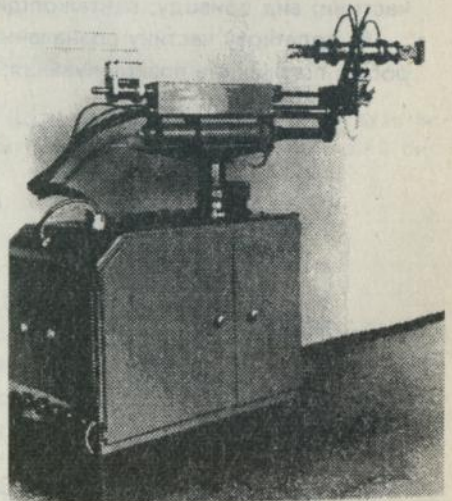
Тоді, наприклад, повне класифікаційне позначення робота з цикловим керуванням, 6-ма ступенями рухомості і виконання (стаціонарний з однією рукою), пневматичним приводом і вантажопідйомністю 10 кг., працюючим в циліндричній системі координат, погрішності позиціонування до 0,2 мм і максимальним радіусом вильоту руки до 500 мм, буде: РЦ6П10. Ц43.

Восьмий розділ. Сучасний етап роботизації виробничих процесів характеризується найбільшим використанням циклових промислових роботів, в т. ч. і модульних їх виконань, що обумовлено простотою їх конструкцій, невисокою вартістю, підвищеною надійністю, меншими складностями в експлуатації, більш короткими строками окупності і т. д.

При загальній принциповій подібності таких роботів вони мають істотну різницю в виконанні. Це, в більшості випадків, визначається типом і конструктивною реалізацією приводів. Останнє залежить від вантажопідйомності робота, величини, швидкості і точності переміщень рухомих ланок, кількості точок позиціонування і ін.

Для обгрунтованого прийняття конструктивних рішень виконана розробка детальної класифікаційної структури таких приводів, яка враховує: тип приводу; виконання двигунів; кількості двигунів; способи з'єднання вихідної ланки двигуна з рухомою ланкою приводу; використовуваних проміжних передач; способу забезпечення необхідних величин переміщень; спосіб гальмування; кількості, виконання, місця розташування упорів і т. п.

Одним з основних напрямків вдосконалення циклових приводів являється розширення їх функціональних можливостей за рахунок збільшення кількості точок позиціонування. Для цього, в розроблених автором приводах, використовуються спеціальні механізми позиціонування. На цій основі створено декілька десятків різних лінійних і поворотних модулів роботів, а також їх кистей і захватів. Найбільш повно цей напрямок знайшов відображення в розроблених конструкціях роботів РЦ5Г10 і РЦ6П10 (мал 13), які демонструвались на ВДНГ УРСР.



Мал.13. Промисловий робот РЦ6П10.

Підвищення ефективності роботизації верстатних і інших операцій вимагає визначення впливу основних характеристик і параметрів промислових роботів, а також особливостей їх експлуатації на величину очікуваної економії. Вирішення цього питання виконано на основі вихідних положень теорії продуктивності праці і машин, розробленої проф. Шаумяном Г. А. (з додатками, виконаними проф. Волчковичем Л. І.) і на основі методу приведених витрат. Із зроблених досліджень встановлено, що одержання економічного ефекту від впровадження роботів можливе при обов'язковому підвищенні продуктивності праці від використання роботів, збільшення змінності і ступеню завантаження устаткування, скорочення загальної чисельності працюючих, оптимальних значень одноразових капітальних і плинних витрат. Тільки комплексний облік цих і інших умов дозволить домогтися позитивних результатів.

Загальні висновки.

1. Розроблено математичний метод структурного аналізу і синтезу кінематичних схем промислових роботів з різною кількістю рук, захватів (кистей) і способів з'єднання їх між собою. Метод оснований на розподілі ступенів рухомості за призначенням на окремі структурні групи, а також врахування всіх відмінних особливостей використовуваних кінематичних пар: клас пар; вид рухів; характер виконання і порядок розміщення пар; направленність рухів; довжина ланок, величина і швидкість їх переміщень. На цій основі вирішене питання визначення прийнятних варіантів кінематичних схем роботів.

2. Розроблені показники оцінки рухових можливостей одноруких і багаторуких роботів, які дозволяють визначити переміщення і орієнтацію незалежних і погоджених рухів рук. За цими показниками виконано аналіз рухових можливостей типових схем роботів з структурою руки ОПП і ООО, а також орієнтуючі можливості всіх основних схем кистей.

3. Розроблена загальна методика побудови кінематичних схем роботів, яка дозволяє обґрунтовано визначити доцільні варіанти кінематичних схем для виконання роботом різних робіт і операцій. На основі цієї методики виконано визначення типових кінематичних схем роботів для завантаження токарних і ін. верстатів.

4. Запропоновано метод структурного аналізу схем пальцевих захватів з різною кількістю пальців і особливостей їх виконання. Розроблена система показників оцінки пальцевих захватів, яка визначає їх захватні і операційні можливості. По запропонованих показниках виконано аналіз дво- і трьохпальцевих захватів з двома і трьома рухомими

ланками в пальці і вироблені конкретні рекомендації по проектуванню таких захватів.

5. Виконано дослідження жорсткості типової Т-образної конструкції робота. Встановлено, що жорсткість вертикальної стійки робота повинна бути вище жорсткості горизонтального плеча в 3...8 разів, а крутильна жорсткість стійки вище її згину в 3...4 рази.

6. Розроблена загальна схема і методика оцінки точності робота і виконуваної операції. Проаналізовано вплив основних точностних характеристик роботів (зазорів, контактних деформацій в опорах, розміщення опор в конструкції і ін.) на величину зміщення кінця руки робота. Запропоновані рекомендації по розрахунку точності робота з врахуванням необхідного часу безналогоджуваної його роботи.

7. Виконано обґрунтування розрахункової динамічної схеми робота, яка дає достатньо точні значення перших власних частот. По цих схемах досліджено вплив основних конструктивних параметрів роботів на їх динамічну якість, а з врахуванням типових законів руху проаналізовані режими гальмування. Для здійснення швидкого і плавного гальмування руки робота, необхідно приймати безударні закони руху. Час гальмування, при цьому, повинен складати порядку 0,8-1,2 періода власних коливань. Правильність теоретичних висновків підтверджена експериментальними дослідженнями.

8. Виконана обґрунтованість параметричної і розмірної градації промислових роботів по основних технічних характеристиках: вантажопідйомності, похибки позиціонування, величині і швидкості лінійних і кутових переміщень рухомих ланок. Розроблена градація роботів по основних конструктивних параметрах: розмірах рухомих ланок, базуючих і приєднаних параметрах стикуючих фланців і ін. конструктивних рішеннях, що дає більш кращі умови для створення промислових роботів, в т. ч. і модульних виконань, і сприяє підвищенню ефективності їх використання у виробництві.

9. Розроблена класифікаційна структура побудови найбільш поширених конструкцій циклових роботів. З її використанням розроблено декілька десятків лінійних і обертових модулів роботів, їх захватів і кистей, а також дві закінчені конструкції роботів РЦ5Г10 і РЦ6П10, які демонструвались на ВДНГ УРСР і захищених 16 авторськими свідоцтвами.

Виконано техніко-економічний аналіз ефективності створення промислових роботів і впровадження їх у виробництво, а також вироблені конкретні рекомендації по цих питаннях.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Камышный Н. И., Павленко И. И. Жесткость промышленных роботов. // Изв. ВУЗов, «Машиностроение». М. 1974. № 11. —с.171-174.

2. Камышный Н. И., Павленко И. И. Кинематика промышленных роботов. // Вестник машиностроения. М. 1975. № 1. —с.63-65.

3. Павленко И. И. Основные направления повышения экономической эффективности промышленных роботов. //Технология и организация производства. К. 1977. № 2. —с.10-13.

4. Павленко И. И. Кинематическая структура промышленных роботов. //Изв. ВУЗов, «Машиностроение». М. 1977. № 9. —с.25-28.

5. Камышный Н. И., Павленко И. И. Исследование динамики конструкции промышленного робота. //Автоматизация и комплексная механизация в машиностроении. Л. 1978. Тр. ЛПИ. № 360. —с.9-12.

6. Павленко И. И. Обоснование типажа промышленных роботов. // Проблемные вопросы автоматизации производства. Рига. 1978. Тез. Всесоюз. научно-техн. конф. —с.165-166.

7. Павленко И. И. Кинематика кисти промышленных роботов. //Вестник машиностроения. М. 1979. № 1. —с.28-30.

8. Павленко И. И. Пальцевые захваты промышленных роботов. //Оборудование с ЧПУ. М.: НИИМаш. 1979. — № 3. —с.11-14.

9. Павленко И. И., Камышный Н. И. Параметрическая и размерная градация промышленных роботов. //Изв. ВУЗов, «Машиностроение». М. 1979. № 5. —с.43-46.

10. Павленко И. И. Трехзвенные пальцевые захваты. //Оборудование с ЧПУ. М.: НИИМаш. 1980. № 2. —с.5-8.

11. Павленко И. И. Основные показатели двигательных возможностей роботов. //Вестник машиностроения. М. 1980. № 4. —с.9-11.

12. Павленко И. И. Конструктивные и кинематические варианты промышленных роботов. //Вестник машиностроения. М. 1980. № 11. —с.3-5.

13. Павленко И. И. Трехпальцевые схваты промышленных роботов. //Оборудование с ЧПУ. М.: НИИМаш. 1981. № 5. — с.9-11.

14. Павленко И. И. Анализ колебательных движений руки робота. //Конструирование и технология производства с/х машин. К.: Техніка. 1982. Респ. межвед. науч. —техн. сб. Вып. 12. —с.68-71.

15. Павленко И. И., Панов А. А. Унификация линейных модулей автоматических манипуляторов. //Механизация и автоматизация производства. М. 1982. № 9. —с.25-26.

16. Павленко И. И. Расчет механических захватных устройств роботов. //Проблемы прочности, надежности и долговечности деталей и конструкций. Кировоград. 1983. —с.35-36.

17. Павленко И. И. Конструктивные и кинематические варианты двуруких роботов. //Вестник машиностроения. М. 1983. —№ 12. —с.5-9.

18. Павленко И. И. Показатели двигательных возможностей двуруких роботов. //Вестник машиностроения. М. 1984. № 9. —с.23-25.

19. Павленко И. И. Приводы цикловых роботов. //Технология и организация производства. К. 1984. № 4. —с.22-23.

20. Кмышный Н. И., Павленко И. И. Анализ потребности в роботах различной грузоподъемности. //Изв. ВУЗов, «Машиностроение». М. 1985. № 1. —с.91-96.

21. Павленко И. И. Особенности определения кинематических схем роботов. //Вестник машиностроения. М. 1985. № 3. —с.17-20.

22. Павленко И. И. Линейные приводы промышленных роботов. //Машиностроитель. М. 1986. № 7. —с.13-14.

23. Павленко И. И. Анализ двигательных возможностей роботов с кинематикой руки ВПП. //Автоматизация производственных процессов. Львов, 1985. Вып. 24. —с.75-80.

24. Павленко И. И. Приводы промышленных роботов с ЦПУ. //Механизация и автоматизация производства. М, 1986. № 6. —с.10-12.

25. Павленко И. И. Многопозиционные приводы цикловых роботов. //Технология и организация производства. К, 1986. № 4. —с.22-24.

26. Павленко И. И. Многопозиционные промышленные роботы с цикловым управлением. //Вестник машиностроения. М, 1988. № 3. —с.5-6.

27. Павленко И. И. Определение типовых кинематических схем роботов для загрузки токарных станков. //Конструирование и технология производства с/х машин. К.: Техніка, 1991. Респ. межвед. научно-техн. сб. Вып. 21. —с.104-108.

28. Павленко І. І. Дослідження динаміки руху руки промислового робота в процесі позиціонування. //Конструювання та технологія виробництва с/г машин. —К.: Техніка, 1996. Вип. 23.

29. Павленко И. И. Проектирование механических систем промышленных роботов. —К.: Деп. в ДНТБ Украины, 1996. —35с.

30. А. с. 901675 СССР, МКИЗ F15 В 15/24. Привод робота /И. И. Павленко. —Опубл. 30.01.1982. Бюл. № 4.

31. А. с. 918079 СССР, МКИЗ В25J 9/00. Модуль промышленного робота /И. И. Павленко. —Опубл. 07.04.1982. Бюл. № 13.

32. А. с. 1033309 СССР, МКИЗ В25J 9/00. Промышленный робот

/И. И. Павленко. — Оpubл. 07.08.1983. Бюл. № 29.

33. А. с. 1119839 СССР, МКИЗ В25J 9/00. Механизм поворота промышленного робота /И. И. Павленко. — Оpubл. 23.10.1984. Бюл. № 39.

34. А. с. 1122501 СССР, МКИЗ В25J 9/00. Привод исполнительного органа робота /И. И. Павленко. — Оpubл. 07.11.1984. Бюл. № 41.

Павленко И. И. Синтез структуры промышленных роботов и анализ их механических систем для станочных комплексов. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности: 05.03.01 — «Процессы механической обработки, станки и инструменты» и 05.02.05 — «Робототехнические системы», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 1996.

Защищается 69 научных работ и 16 авторских свидетельств на изобретения, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований по вопросам расчета и проектирования механических систем промышленных роботов и роботизированных комплексов.

Разработан метод структурного анализа и синтеза построения роботов любой сложности и нахождения оптимальных их параметров по предложенным показателям двигательных, захватных и операционных возможностей.

Создана методика проектирования кинематических схем различного производственного назначения.

Исследованы вопросы точности, жесткости и динамики механических систем роботов на примере типовой конструкции.

Предложено обоснование построения типажа роботов.

Разработаны многопозиционные конструкции промышленных роботов и отдельные их модули.

Определены условия и границы эффективного применения роботов.

Результаты работы получили производственную апробацию в промышленных предприятиях.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований положены в основу раздела «Механические системы роботов» курса «Основы робототехники» Кировоградского института с/х машиностроения.

Pavlenko I. I. Structural synthesis of industrial robots and analysis of their mechanical systems for machine complexes.

A thesis competing for a degree of Doctor of Technical sciences on speciality: 05.03.01 — «Processes of Mechanical Treatment, Machines and Tools» and 05.02.05 — «Robo-technical Systems», the state Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnical Institute», Kyiv, 1996.

69 scientific works and 16 certificates of authorship are being defended, containing the results of theoretical and experimental investigations of analysis and design of mechanical systems of industrial robots and robotized complexes.

The method of structural analysis and synthesis of constructing robots of any complicacy and finding their optimum parameters according to the suggested indices of impellent, gripping and operation abilities has been developed. The technique of projecting kinematic diagrams of various industrial purposes has been created. The issues of accuracy, rigidity and dynamics of robots mechanical systems by the example of a type design have been investigated. The grounds for construction of a robot dimension succession have been suggested. Multipositional designs of industrial robots and their separate models have been developed. The conditions and scopes of effective application of robots have been determined.

The results of the work have been approbated at industrial enterprises.

The results of theoretical and experimental research made up the basis for the section «Mechanical systems of robots» in the course of studies «Basics of Roboto-technics» in Kirovograd Institute of Agricultural Engineering.

Ключові слова

Аналіз, синтез, кінематичні схеми, рухові можливості, операційні можливості, похибки, динамічна якість, позиціонування, жорсткість, демпфування, робототехнологічний комплекс, економічна ефективність.

Комп'ютерна верстка Кожухар С.Г.

Здано в набір 10.03.96. Підписано до друку 13.03.96.

Формат 60x84 1/16 (A5). Папір газетний. Надруковано на ризографі.

Умов. друк. арк. 2. Зам №~~47~~/96. Тираж 100 прим.

© РВЛ КІСМ. м.Кіровоград, пр.Правди, 70А.

тел. 597-451, 559-245

444849

AB 34.276