

На правах рукопису

КЛЮЧКОВСЬКИЙ  
Сергій Миронович

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО  
ТРАНСПОРТНО-ПОДАВАЛЬНОГО МОДУЛЯ  
ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН  
І АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

Спеціальність 05.02.15 «Машини, агрегати та процеси  
поліграфічного виробництва»

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

ДВ 30.923

Робота виконана в Українському поліграфічному інституті імені Івана Федорова.

Науковий керівник: доктор технічних наук,  
професор Полюдов Олександр  
Миколайович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,  
професор Калінін Сергій  
Григорович

кандидат технічних наук,  
академік АН України  
Дуб Ярослав Іванович

Провідна організація: Ходорівське СКБ поліграфічних  
машин.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



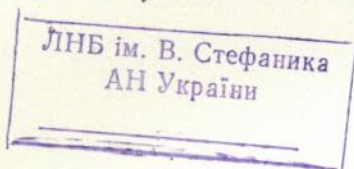
00777749 (+)

Захист відбудеться "28" листопада 1994 р.  
о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради  
К 068.40.01 в Українській академії друкарства за адресою:  
Україна, 290020, Львів, вул. Підголоско, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці академії.

Автореферат розіслано "26" вересня 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради,  
кандидат технічних наук,  
доцент



Дідич В.П.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У поліграфічній промисловості в значній мірі неавтоматизованими залишаються подавальні та навантажувально-розвантажувальні операції. Допомогти у розв'язанні проблеми автоматизації монотонних ручних операцій може розробка і використання спеціалізованих промислових роботів (ПР) і автооператорів з урахуванням вимог поліграфічної промисловості. Застосування універсальних ПР шляхом пристосування їх для роботизації поліграфічних процесів є економічно недоцільним. Доукомплектування поліграфічних машин-автоматів та автоматичних ліній спеціалізованими маніпуляційними системами з програмним керуванням може розширити їх технологічні можливості.

В основу функціонування найбільш ефективних транспортно-подавальних модулів циклових ПР або автооператорів покладені близькі до вільних коливань способи руху виконавчого органу. Широкому застосуванню таких пристроїв заважає невелика кількість їх відомих конструкцій, складність будови у випадку багатопозиційного варіанту. Тому розробка і дослідження нових, більш ефективних конструкцій модулів, які можуть бути покладені в основу спеціалізованих ПР або застосовуватись у складі циклових машин-автоматів поліграфічної промисловості, є актуальним завданням.

Мета роботи полягає у розробці та теоретичному і експериментальному дослідженні привода багатопозиційного резонансного маніпулятора, названого універсальним транспортно-подавальним модулем, який може застосовуватись у складі циклового ПР для автоматизації допоміжних ручних операцій у поліграфічному виробництві, або у складі поліграфічних машин-автоматів у якості транспортно-подавального пристрою з можливістю перенастроювання на різні програмні режими роботи.

Основні завдання досліджень. Відповідно до вказаної мети в

роботі поставлені та розв'язані такі задачі:

- розробка принципової схеми модуля, який виключає крутильний коливальний контур, механізмами підживлення енергією контура і фіксації, електричний керувачий пристрій;
- аналіз законів руху хитної ланки запропонованих схем крутильних коливальних контурів;
- синтез закону руху вихідної ланки модуля у період підживлення контура енергією із-зовні;
- синтез кулачково-пружинного механізму підживлення;
- розробка методики інженерного синтезу універсального транспортно-подавального модуля;
- експериментальні дослідження створеного по запропонованій методиці стенда модуля;
- рекомендації по промислому впровадженню універсального транспортно-подавального модуля.

Практична цінність і реалізація роботи. Розроблені в дисертації науково-технічні рішення та методики призначені для проектування спеціалізованих маніпуляційних систем для потреб поліграфічної промисловості. Запропоновані методики передбачають вибір за номограмами геометричних параметрів просторового коливального контура в залежності від необхідної якості його пружної характеристики та значень параметрів диференційного рівняння руху хитної ланки коливального контура в залежності від закону її руху. Розроблені алгоритми і програми сприяють автоматизації обчислювальних робіт із застосуванням ЕОМ. Запропоновані математичні моделі і методи розрахунків забезпечують необхідну для інженерних потреб точність.

Високі експлуатаційні характеристики експериментального стенда модуля, створеного за викладеними в роботі методиками, підтверджують її практичну цінність.

Наукова новизна. На захист виносяться наступні елементи наукової новизни:

- принципова схема модуля, вихідна ланка якого здійснює згідно програми реверсивні та дискретні повороти з паузами будь-якої тривалості;

- застосування нетрадиційного зрівноваженого багатопозиційного приводу, зокрема, з торсіонним акумулятором потенційної енергії, захищеного авторським свідоцтвом СРСР № І649І85;

- результати аналізу законів руху хитних ланок двох запропонованих схем просторових крутильних коливальних контурів з пружинними акумуляторами потенційної енергії;

- методика синтезу закону руху вихідної ланки модуля під час підживлення контура енергією із-зовні;

- методика синтезу кулачково-пружинного механізму підживлення енергією та фіксації;

- узагальнені результати досліджень експериментального стенда модуля і сформовані на їх основі рекомендації і висновки.

Основні положення, що виносяться на захист:

- принцип роботи універсального транспортно-подавального модуля для поліграфічних машин і автоматичних ліній та механізми і пристрої, що його реалізують;

- аналіз законів руху хитної ланки просторових крутильних коливальних контурів із пружинами стиску та розтягу, які можуть застосовуватися в складі модуля;

- методика синтезу закону руху вихідної ланки модуля та кулачково-пружинного механізму, який реалізує необхідний закон руху;

- результати експериментальних досліджень стенда модуля;

- висновки і рекомендації стосовно розробки універсального транспортно-подавального модуля.

Впровадження та реалізація наукових розробок. Основні поло-

ження теорії використовуються в учбовому процесі на кафедрі поліграфічних машин Української академії друкарства. Методика Інженерного синтезу транспортно-подавального модуля використовується в СКБ поліграфічних машин.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і були схвалені на звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і аспірантів VIII імені Івана Федорова в 1991 - 1994 роках. Наукова студентська робота "Разработка и исследование устройства периодического поворота и реверсивного вращательного движения" відзначена медаллю на всесоюзному конкурсі кращих наукових робіт студентів з природничих, технічних і гуманітарних наук у 1989 р. Робота доповідалась на спільному науковому семінарі кафедр поліграфічних машин та деталей машин у 1994 р.

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи викладені у 2 авторських свідоцтвах і 2 наукових статтях.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літератури (67 найменувань) і додатка. Основний зміст роботи викладений на 165 с. машинописного тексту і містить 65 рисунків та 7 таблиць. Загальний обсяг дисертації разом із додатком складає 178 с.

Методи досліджень. Аналітичні дослідження проведені із застосуванням методів теорії подібності, аналітичних та наближених розв'язків нелінійних диференціальних рівнянь за допомогою спеціально складених програм для ЕОМ. При проведенні експериментальних досліджень механічні параметри вимірювались із застосуванням електромагнітних датчиків, зокрема магнітоіндуктивного та взаємодуктивного трансформаторного перетворювачів, використовувались також тензометричні вимірювання та кінофільмування.

Наукові результати, представлені в роботі розроблені і отримані автором особисто за період проходження аспірантури.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність досліджень і розробок нових типів транспортно-подавальних маніпуляційних систем, які можуть бути застосовані в поліграфічному виробництві. Визначено мету роботи і завдання досліджень. Викладені відомості про наукову новизну та основні положення, що виносяться на захист.

У першому розділі проведений огляд праць по приводах циклових маніпуляторів і ПР та зрівноважувальних циклових механізмах поліграфічних машин-автоматів. Проаналізовані вимоги до маніпуляційних роботів в умовах поліграфічного виробництва. Наведений аналіз ручних операцій по завантаженню самонакладів і розвантаженню приймальних столів ниткошвейних, кришкоробних, друкарсько-позолотних автоматів та іншого поліграфічного устаткування, який виявив однотипність цих операцій. Визначені умови застосування уніфікованих ПР у роботизованих комплексах, а також встановлений клас роботів - міжопераційних перевантажувачів, що працюють з пачками зошитів, блоків і книг, здійснюють завантаження і розвантаження технологічних машин, взаємодіють із транспортними системами і реалізують міжмашинні зв'язки. Приведена класифікація і коротка характеристика маніпуляційних робототехнічних систем.

Проведений огляд літературних і патентних джерел, які висвітлюють сучасний стан і тенденції розвитку роботобудування, зокрема, питання побудови приводів циклових маніпуляційних ПР. Розглянуті приводи маніпуляторів циклових ПР, які побудовані за традиційною схемою - з привідним двигуном і демпферами та упорамі в крайніх положеннях робочого органу. Проаналізовані обмеження їх технічних характеристик та причини, які породжують ці об-

меження. Описані циклові ПР, приводи яких побудовані за нетрадиційними схемами з пружинними та інерційними акумуляторами механічної енергії і показані їх переваги та недоліки у порівнянні з ПР, побудованими за традиційною схемою. Наведені приклади схем приводів модулів обертового та поступального руху з пружинним зрівноваженням, введені поняття про резонансні маніпуляційні системи (РМС) та резонансне налагодження коливальної системи, стійкість коливань, поданий приклад розрахунку резонансного модуля. Описані способи збудження автоколивань ланки РМС як у період циклу руху, так і під час вистоя (параметричне збудження) вихідної ланки маніпулятора.

У роботах Т.С.Акініфова, В.І.Бабицького, А.І.Корендясева, В.І.Саламандри, Я.І.Тивеса наведені результати експериментальних досліджень, виконаних на серії натурних макетів, які свідчать, що в порівнянні з традиційними конструкціями циклових ПР РМС з акумуляторами інерційних навантажень дозволяють при зменшенні на порядок потужності приводів підвищити швидкість в 3-4 рази.

Приведена класифікація багатопозиційних РМС, які поділені на три основні групи: а) - з нестійкою рівновагою ланок акумулятора; б) - з можливістю реверсування моменту (сили) акумулятора; в) - диференційні РМС. Показані недоліки і переваги кожної групи. Перевагою систем з можливістю реверсу моменту (сили) акумулятора є наявність максимального моменту (сили) пружного елемента, що діє на вихідну ланку РМС на початку циклу руху, забезпечуючи можливість проходити більшу частину траєкторії під дією акумулятора. Це дозволяє замінити привідний двигун з відповідною системою керування та керувні фіксатори кулачково-пружинним механізмом підживлення з приводом від електромагніта (пневмоциліндра), що спрощує конструкцію РМС.

У розділі також виконано огляд транспортно-подавальних сис-

тем періодичної дії поліграфічних машин і методи їх зрівноваження. Наведений порівняльний аналіз пристроїв програмного зрівноваження циклових механізмів (ПРЦМ) поліграфічних машин та РМС. Показано, що при інерційному навантаженні при розрахунковій швидкості ПРЦМ працює в режимі автоколивань з кінематичним збудженням. Питанню програмного зрівноваження циклових механізмів присвячена велика кількість наукових робіт, більшість яких виконана в УПІ імені Івана Федорова вченими К.В.Тіром, О.М.Польдовим, А.І.Петруком, Я.І.Чехманом та іншими.

На основі аналізу літератури показано, що РМС, які працюють в автоколивальному режимі, є ефективними пристроями, на основі яких можлива розробка швидкодіючих ПР із спрощеним приводом. Ці системи можуть бути включеними до складу поліграфічних машин-автоматів у якості циклових механізмів із індивідуальними розвантаженими приводами. Питанню спрощення конструкції при збереженні високих динамічних характеристик не надавалось достатньої уваги, а процес підживлення коливального контура РМС за допомогою кулачково-пружинного механізму не досліджувався.

У другому розділі подана будова і принцип роботи запропонованого універсального транспортно-подавального модуля. Модуль є багатопозиційною РМС з нетрадиційним бездвигунним приводом.

Модуль складається з крутильного коливального контура, двох однакових механізмів підживлення енергією і фіксації а також програмного командоапарата. Коливальний контур містить дві співвісні ланки 1 і 2 (рис. 1), які мають певні моменти інерції  $J_1$  та  $J_2$  ( $J_1$  може дорівнювати  $J_2$ ), та пружний елемент 3, який своїми протилежними кінцями з'єднаний з ланками 1 і 2. Ланки 1 і 2 можуть бути виготовлені у вигляді дисків, до яких прикріплені багатопозиційні кулачки 4 і 5. Механізми підживлення енергією і фіксації складаються із штовхачів 6 і 7 з роликками 8 і 9, які

контактують відповідно з кулачками 4 і 5 під дією пружин розтягу 10 і 11. Механізми приводяться в рух за допомогою електромагнітів 12 і 13. Для фіксації ланок 1 і 2 служать підпружинені фіксатори 14 і 15, зв'язані з штовхачами 6 і 7. Фіксатори взаємодіють клиноподібними робочими поверхнями з відповідними елементами дисків 1 і 2. Ланка 1 є вихідною і може служити поворотним столом, приводом вертикальної колони або руки циклового ПР і т.п.

Працює модуль так. У вихідному положенні ланки 1 і 2 зафіксовані фіксаторами, і кулачково-пружинний механізм підживлення знаходиться у позиції вистов (рис. 2). Ланки 1 і 2 повернуті одна відносно іншої на кут  $\varphi$ , при цьому пружинний елемент 3 зведений і має запас потенційної енергії. У певний момент часу командоапарат подає живлення на електромагніт 12, при цьому штовхач 6 переміщується вправо на величину  $S$ , ролик 8 відводиться від кулачка і зв'язаний із штовхачем фіксатор 14 звільнює ланку 1, яка під дією пружного елемента 3 здійснює поворот. При повороті ланки 1 на кут, близький  $\varphi$ , електромагніт 12 відключається і під дією пружини 10 ролик 8 попадає на профіль кулачка 4. За допомогою кулачкового механізму відбувається передача порції енергії від пружини 10 до коливального контура, яка компенсує дисипативні втрати. Таким чином ланка 1 повертається на необхідний кут  $2\varphi$  і фіксується. Модуль готовий до наступного циклу роботи.

Якщо описаним способом по чергово приводити в дію ланки 1 і 2, то вони здійснюватимуть періодичні односторонні повороти, якщо тільки ланку 1 - реверсивні повороти. Комбінацією керування роботою електромагнітів можна досягти необхідну комбінацію рухів і пауз.

В цьому ж розділі поданий аналіз законів руху хитної ланки просторових крутильних коливальних контурів з акумуляторами механічної енергії у вигляді пружин розтягу або стиску, які можуть

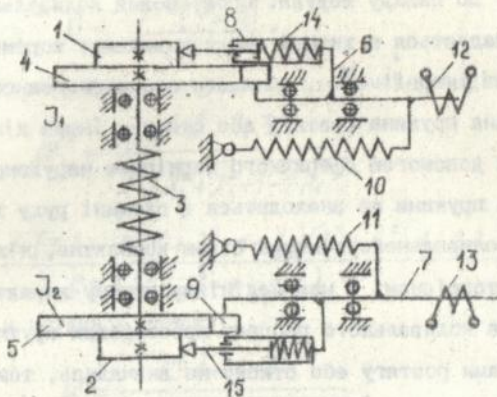


Рис. 1. Кінематична схема універсального транспортно-подавального модуля для поліграфічних машин і автоматичних ліній

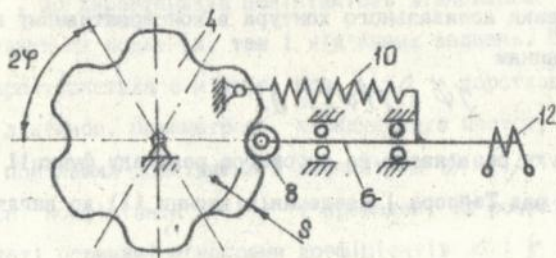


Рис. 2. Кулачково-пружинний механізм у положенні вистов

бути введені до складу модуля. Просторовий коливальний контур (рис. 3) складається з хитної ланки у вигляді коромисла, що має певний момент інерції  $J$ , до якого за допомогою сферичного шарніру приєднана пружина розтягу або стиску. Інший кінець пружини з'єднаний за допомогою сферичного шарніру з нерухомою основою, причому вісь пружини не знаходиться в площині руху хитної ланки. Така схема коливального контура більш компактна, ніж схема з акумулятором - тороїсом, і має нелінійну пружну характеристику.

Динаміка коливального процесу просторових крутильних контурів з пружинами розтягу або стиску не вивчалась, тому аналіз законів коливного руху хитних ланок цих контурів є однією з поставлених задач.

Для обох типів контурів виведені вирази пружного відновлюючого моменту  $T(\varphi)$ , приведеного до хитної ланки. Момент  $T(\varphi)$  виникає при її відхиленні на кут  $\varphi$  від положення стійкої рівноваги і є складною нелінійною функцією положення.

Рух ланки коливального контура в консервативному полі описується рівнянням

$$J\ddot{\varphi} + T(\varphi) = 0. \quad (1)$$

Рівняння руху розв'язане за допомогою розкладу функції  $T(\varphi)$  в степеневий ряд Тейлора і зведення рівняння (1) до вигляду рівняння Діфінга

$$\ddot{\varphi} + \omega^2 \varphi + M\varphi^3 = 0. \quad (2)$$

З урахуванням досвіду досліджень ПРІМ різних типів у розкладеній функції  $T(\varphi)$  достатньо обмежитись двома членами ряду. При цьому ступінь апроксимації виявляється задовільною. Рівняння (2) розв'язується методом асимптотичних розкладів М.М.Боголюбова і Д.А.Митропольського. Параметри рівняння (2) визначаються

$$\omega^2 = \frac{T'(\varphi=0)}{J}, \quad (3)$$

$$M = \frac{T'''(\varphi=0)}{6\gamma} \quad (4)$$

Для контура з пружиною розтягу отримані функції

$$\omega^2 = \frac{R^2 k_n \lambda_1 \varphi}{\gamma \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_1^2 + 1 - 2\lambda_1}}; \quad (5)$$

$$M = \frac{R^2 k_n \lambda_1 [3\lambda_1 - \varphi(\lambda_2^2 + \lambda_1^2 + 1 + \lambda_1)(\lambda_2^2 + \lambda_1^2 + 1 - 2\lambda_1)^{-\frac{1}{2}}]}{6\gamma (\lambda_2^2 + \lambda_1^2 + 1 - 2\lambda_1)}; \quad (6)$$

Для контура з пружиною стиску

$$\omega^2 = \frac{R^2 k_n \lambda_1 \varphi}{\gamma \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_1^2 + 1 + 2\lambda_1}}; \quad (7)$$

$$M = \frac{R^2 k_n \lambda_1 [\varphi(\lambda_1 - 1 - \lambda_1^2 - \lambda_2^2)(\lambda_2^2 + \lambda_1^2 + 1 + 2\lambda_1)^{-\frac{1}{2}} + 3\lambda_1]}{6\gamma (\lambda_2^2 + \lambda_1^2 + 1 + 2\lambda_1)} \quad (8)$$

де  $k_n$  - коефіцієнт жорсткості пружини,  $\varphi$  - відносна монтажна деформація. Параметри  $M$  і  $\omega$  якісно визначають закон руху. Параметр  $M$ , що характеризує нелінійність відновлюючого момента, може набувати як додатніх, так і від'ємних значень. При  $M < 0$  пружна характеристика є м'якою, при  $M > 0$  - жорсткою, при  $M = 0$  - лінійною. Параметр  $\omega$  характеризує частоту коливань.

Для подальших досліджень з параметрів  $\omega$  і  $M$  виділені безрозмірні коефіцієнти  $\chi$  і  $\xi$  і проведені їх розрахунки на ЕОМ. В результаті отримані номограми коефіцієнтів  $\chi$  і  $\xi$  в залежності від відносних геометричних розмірів контура і відносної монтажної деформації пружини. Для прикладу дві номограми показані на рис. 4.

Проведений аналіз руху ланки коливального контура з урахуванням демпфування. Рівняння руху є нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку. Для його розв'язку розроблена спеціальна програма для ЕОМ. Розрахунок проводиться числовим методом Рунге-Кутта. Крім значень переміщення, швидкості і прискорення програма забезпечує розрахунок їх позиційних інваріантів подібності та

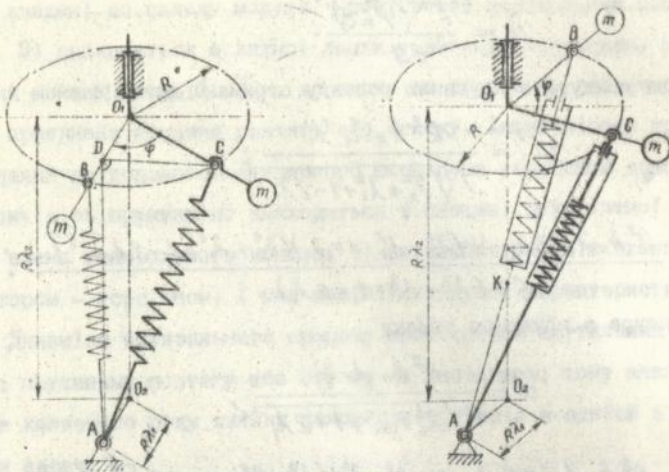


Рис. 3. Просторові крутильні коливальні контури:  
а) - з пружини розтягу; б) - з пружини стиску

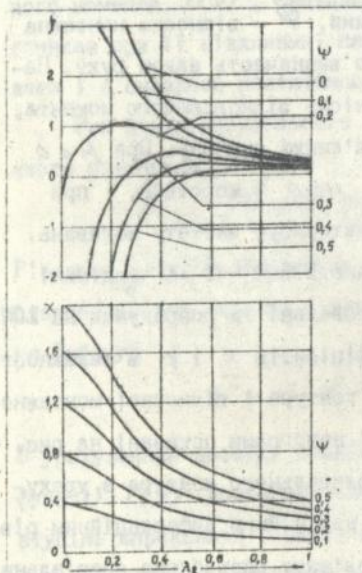


Рис. 4. Номограми коефіцієнтів  $\xi$  і  $\chi$  для контура з пружини розтягу при  $\lambda_1 = 0,8$

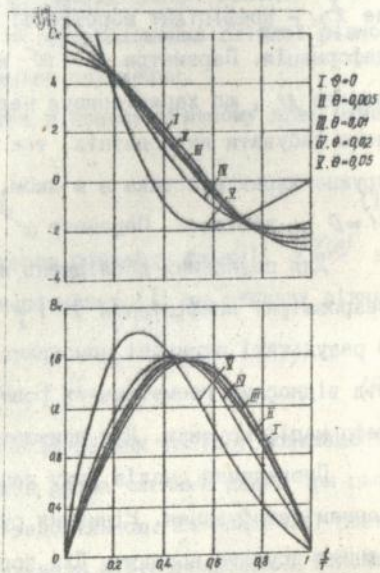


Рис. 5. Номограми інваріантів швидкості та прискорення при  $\xi = 0, \chi = 0,5$

період коливань. Вплив параметрів диференціального рівняння руху на закон руху ілюструють номограми, побудовані за результатами параметричних досліджень. На рис. 5 показані номограми впливу коефіцієнта демпфування  $\theta$  на позиційні інваріанти швидкості і прискорення. Номограма, приведена на рис. 6, ілюструє вплив коефіцієнта нелінійності  $\xi$  на закон руху при відсутності демпфування.

Представлений розв'язок рівняння руху ланки коливального контура з лінійною пружною характеристикою і наявністю демпфування у вигляді функцій переміщення, швидкості та прискорення.

Подана у 2 розділі методика аналізу закону вільних коливань ланки коливального контура є вихідним пунктом синтезу закону руху ланки контура у період його підживлення енергією із-зовні.

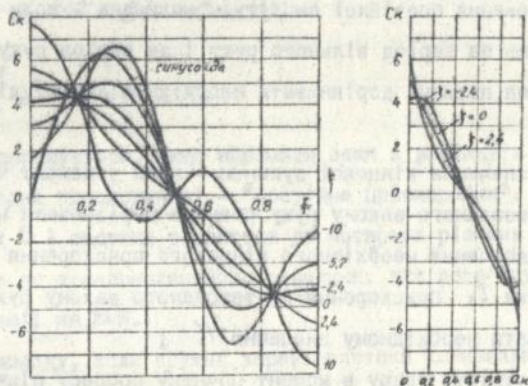


Рис. 6. Вплив коефіцієнта  $\xi$  на закон руху ланки коливального контура при відсутності демпфування

У третьому розділі подана методика синтезу кулачково-пружинного механізму підживлення енергією коливального контура.

У процесі підживлення енергією відбувається поступове II

збільшення таким чином, що повна енергія контура в кінці циклу руху дорівнює повній енергії на початку циклу руху. У процесі підживлення ланка контура рухається по певному закону, який залежить від характеру передачі енергії в часі. Оскільки дисипативні втрати залежать від швидкості руху ланки (домінують сили в'язкого опору), визначити величину втраченої на дисипацію енергії при невідомому законі руху неможливо. Тому першим етапом синтезу підживлюючого механізму є синтез закону руху ланки у період підживлення і його спряження з розрахованим законом руху затухаючих коливань у момент початку процесу підживлення.

Для синтезу закону руху ланки в процесі підживлення необхідно вибрати його тип і розрахувати кількісні параметри, відштовхуючись від необхідних умов. Виведено 5 рівнянь, які описують такі необхідні умови:

1) - збереження постійної амплітуди коливань - коли сума величин переміщень за період вільного руху і за період руху в процесі підживлення повинна дорівнювати необхідній амплітуді коливань  $\varphi_E$  ;

2) - забезпечення кінцевої зупинки - коли у момент часу  $t_k$  швидкість синтезованого закону руху повинна дорівнювати нулю;

3) - забезпечення необхідного кінцевого прискорення - коли у момент зупинки  $t_k$  прискорення синтезованого закону руху повинно дорівнювати необхідному значенню  $K$  ;

4) - відсутність удару в момент початку процесу підживлення  $t_n$  - коли швидкість вільних коливань повинна дорівнювати швидкості синтезованого закону руху  $\dot{\omega}_n$  ;

5) - відсутність квазіудару - коли у момент  $t_n$  прискорення вільних коливань повинно дорівнювати прискоренню синтезованого закону руху  $\varepsilon_n$  .

Система з п'яти рівнянь дає можливість визначити 5 невідомо-

мих параметрів: 1) - момент початку процесу підживлення  $t_n$  ;  
 2) - момент зупинки ланки в кінці циклу руху  $t_k$  ; 3), 4) і 5) -  
 невідомі константи А, В і С, які входять у вираз, що описує за-  
 кон руху хитної ланки у період підживлення. Наприклад, для зако-  
 ну руху "рівноспадне прискорення" функція переміщення запишеться

$$\varphi = \frac{At^3}{6} + \frac{Bt^2}{2} + Ct. \quad (9)$$

Система рівнянь необхідних умов запишеться

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad \frac{At_k^3}{6} + \frac{Bt_k^2}{2} + Ct_k - \frac{At_n^3}{6} - \frac{Bt_n^2}{2} - Ct_n &= \varphi_k - \varphi_n \\ 2) \quad \frac{d\varphi}{dt_k} &= \frac{At_k^2}{2} + Bt_k + C \\ 3) \quad \frac{d^2\varphi}{dt_k^2} &= At_k + B = K \\ 4) \quad \frac{d\varphi}{dt_n} &= At_n^2 + Bt_n + C = \omega_n \\ 5) \quad \frac{d^2\varphi}{dt_n^2} &= At_n + B = \varepsilon_n \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Система спрощується, якщо прийняти один з варіантів закону руху  
 "рівноспадне прискорення" - "постійне прискорення". У цьому ви-  
 падку  $A = 0$  і система зводиться до чотирьох рівнянь і може бути  
 приведена до трансцендентного рівняння, яке розв'язується мето-  
 дом ітерації на ЕОМ.

У випадку, коли пружна характеристика коливального контура  
 є нелінійною, функції переміщення, швидкості та прискорення за-  
 дані у табличному вигляді. У цьому випадку синтез закону руху є  
 можливий наближеними методами на ЕОМ. Для цього розроблений ал-  
 горитм програми розрахунку, який передбачає кусково-лінійну ап-  
 проксимацію таблично заданих функцій, чисельне інтегрування та  
 ітерацію.

Параметричні дослідження системи рівнянь, яка описує синтезований закон руху ланки контура у період підживлення, показали, що на величину кута  $\varphi$ , який відповідає початкові процесу підживлення, має вплив величина демпфування. Виявлено, що закон руху "рівноспадне прискорення" можливо здійснювати за допомогою кулачково-пружинного механізму при значенні логарифмічного декременту  $\delta < 1,25$ .

Наступними етапами методики синтезу кулачково-пружинного механізму є визначення функції крутного момента, створюваного механізмом підживлення, розрахунок енергоємності пружини та профілю кулачка. Функція крутного момента визначена шляхом розв'язку рівняння моментів, що діють на хитну ланку. Функція роботи, яку передає кулачковий механізм у період підживлення визначається як інтеграл по переміщенню функції крутного момента.

Біжучу роботу, яку поглинає контур у процесі підживлення, виконує кулачково-пружинний механізм. Джерелом енергії є пружина, попередньо деформована електромагнітом. Припущено, що ККД кулачкового механізму на протязі всього циклу роботи є величина постійна. При умові лінійної характеристики пружини біжуча робота, яку вона виконує під час підживлення, є функцією переміщення її рухомого кінця. Після розв'язку рівняння роботи відносно переміщення рухомого кінця пружини, отримана функція біжучого переміщення штовхача  $i$ , відповідно, радіусів-векторів кулачка. Визначивши енергосилові параметри пружини, кут  $\varphi_n$ , задавшись радіусом ролика  $i$  і максимальним радіусом кулачка розраховується ділянка робочого профілю кулачка у відповідності з вимогами інженерного синтезу кулачкових механізмів.

Приведені рекомендації стосовно вибору типу штовхача. Оптимальним визнано варіант центрального поступального кулачкового механізму.

У четвертому розділі викладені методика і результати експериментальних досліджень універсального транспортно-подавального модуля. Дослідження проводились з метою перевірки основних теоретичних положень і уточнення ряду енергетичних параметрів.

Для експериментальних досліджень автором був розрахований за поданою методикою, спроектований і виготовлений експериментальний стенд модуля. Коливальний контур модуля виготовлений з акумулятором - торсіоном.

Проводились попередні експериментальні дослідження з метою виявлення реальної величини демпфування, жорсткості торсіона, частоти власних коливань і вводу їх в розрахунок підживлюючого механізму. В результаті був синтезований профіль кулачка і виготовлені кулачково-пружинні механізми підживлення. Автором розроблений і виготовлений електричний командоапарат, який керує роботою електромагнітів. Командоапарат реалізує роботу стенда у двох режимах - реверсивного та періодичного повороту вихідної ланки з паузами регульованої тривалості та призначений для проведення експериментальних досліджень і демонстраційної роботи стенда в автоматичному режимі.

Експериментальний стенд універсального транспортно-подавального модуля має такі технічні характеристики.

Період циклу руху вихідної ланки (без додаткового інерційного навантаження) .....	0,2 с
Крок переміщення вихідної ланки .....	36°
Повна енергія коливального контура .....	2,16 Дж
Енергія підживлення (без додаткових навантажень) ..	0,4 Дж
Жорсткість торсіона .....	43,8 $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$
Момент інерції хитких ланок .....	0,14 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^2}$
Сила тяги електромагнітів .....	300 Н

Програма експериментальних досліджень передбачала: визначен-

на енергоємності механізму підживлення для забезпечення стійкої роботи стенда; дослідження впливу зміни моменту інерції хитної ланки на величину необхідної енергії підживлення та період циклу руху; дослідження впливу додатково введеного демпфування на енергетичний баланс стенда.

Експериментальні дослідження проводились із застосуванням трансформаторного феродинамічного перетворювача, магнітоіндуктивного датчика, інерційного акселерометра і комплекта тензометричної і реєструючої апаратури.

У ході експерименту виявлено, що реальна енергія підживлення, яка забезпечує стійку роботу стенда, виявилась на 22 % більшою, ніж теоретично визначена. Це пояснюється рядом неврахованих факторів: неточність виготовлення кулачкового механізму; дисипативні втрати в електромагніті; гістерезис пружин; необхідність надання запасу стійкості. За результатами досліджень у методику інженерного синтезу універсального транспортно-подавального модуля введений відповідний коефіцієнт запасу.

Дослідження стенда показали, що модуль здатний транспортувати значні маси, які збільшують момент інерції вихідної ланки у 8-10 разів, без значного збільшення енергії підживлення. Так, при збільшенні моменту інерції у 8 разів, що відповідає масі додаткового вантажу 17 кг із плечем 0,3 м, енергію пружини необхідно збільшити шляхом підналагодження на 30 %. Період циклу руху при цьому збільшується у 2,8 рази.

Виявлено, що порівняно з півперіодом вільних коливань ланки з відповідним моментом інерції період циклу руху з підживленням енергією триваліший в середньому на 6-7 %, що узгоджується з теорією синтезу закону руху хитної ланки модуля.

У процесі дослідження впливу додаткового демпфування на необхідну енергію підживлення хитна ланка гальмувалась за допомогою

фрикційного пристрою. Граничне демпфування, при якому зберігалась працездатність модуля, характеризується логарифмічним декрементом  $\delta = 0,26$ . Логарифмічний декремент коливального контура стенда модуля без додаткового демпфування становить  $\delta = 0,12$ . Енергію підживлення необхідно було збільшувати до 0,7 Дж.

Результати експериментальних досліджень систематизовані і подані у вигляді таблиць і графіків. Експериментальні дослідження стенда підтвердили основні теоретичні положення і показали його високі експлуатаційні якості. Максимальна циклічність стенда в режимі періодичного повороту становить 120 ц/хв.

Робота стенда на різних режимах відзнята на кінострічку для демонстрування під час захисту.

#### ВИСНОВКИ

1. Обґрунтована необхідність розробки резонансних маніпуляційних систем та нових зрівноважених циклових транспортно-подавальних пристроїв для потреб поліграфічної промисловості.

2. На основі аналізу сучасного стану розвитку маніпуляційних систем сформульовані завдання розробки теорії синтезу багатопозиційного зрівноваженого крокового транспортно-подавального модуля з нетрадиційним бездвигунним приводом (а.с. № 1649185), призначеного для забезпечення міжмашинних зв'язків, розгалуження технологічних потоків, виконання обслуговуваних подавальних операцій за гнучкою програмою, тощо.

3. Виведені функції пружних відновлюючих моментів для двох типів просторових крутильних коливальних контурів з акумуляторами енергії у вигляді пружин розтягу і стиску, які можуть застосовуватись у складі модуля.

4. Для просторових контурів з пружинами розтягу та стиску рівняння руху зведені до вигляду рівняння Дюфінга. Проведені на

ЕОМ дослідження параметрів, що якісно визначають закон руху, показали вплив геометричних розмірів контурів і монтажних деформацій пружин на нелінійність пружних характеристик і частоту коливань. Встановлено, що для контура з пружиною розтягу пружна характеристика може бути м'якою при більших значеннях відносної монтажної деформації  $\psi$  ( $\psi > 0,3$ ) та розміру  $\lambda_2$  ( $\lambda_2 > 0,4$ ) і менших  $\lambda_1$  ( $\lambda_1 < 0,4$ ), в інших випадках пружна характеристика жорстка. Для контура з пружиною стиску пружна характеристика є жорсткою у переважній більшості випадків.

5. Проведений на ЕОМ аналіз законів руху ланок просторових контурів з пружинами розтягу та стиску з урахуванням демпфування виявив вплив параметрів рівняння руху на функції переміщення, швидкості і прискорення, їх позиційні інваріанти і період коливань.

6. Розроблена методика синтезу закону руху ланки коливально-го контура у період його підживлення енергією із-зовні. Отримані аналітичні залежності, за якими розроблена програма синтезу закону руху на ЕОМ для контура з лінійною пружною характеристикою. Для контура з нелінійною характеристикою складений алгоритм програми синтезу закону руху ланки у період підживлення.

7. Запропонована методика синтезу кулачково-пружинного механізму підживлення з приводом від електромагніта, в основу якої покладений розв'язок рівняння моментів, що діють на ланку контура в процесі підживлення, та інтегрування момента підживлюючого механізму по переміщенню ланки контура.

8. За розробленою методикою автором спроектований і виготовлений експериментальний стенд модуля, який являє собою десятипозиційну резонансну маніпуляційну систему з акумулятором - торсіоном, вихідна ланка якого здійснює за програмою дискретні повороти в обох напрямках.

9. Експериментальні дослідження стенда модуля підтвердили основні теоретичні положення, дали можливість уточнити деякі енергетичні параметри та виявили вплив зміни ряду параметрів на експлуатаційні характеристики стенда.

10. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблена методика інженерного синтезу універсального транспортно-подавального модуля для поліграфічної промисловості.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО В РОБОТАХ

1. Ключковський С.М. Універсальний модуль транспортно-подавальних механізмів для роботів і циклових машин-автоматів // Поліграфія і видавнича справа, № 27, 1993 - С. 64-69.
2. Ключковський С.М. Синтез законів руху вихідної ланки просторових крутильних коливних контурів // Тези доповідей звітної наук.-техн. конфер. проф.-викл. складу і аспірантів УПП ім. Івана Федорова. - Львів. 1993 - С. 20.
3. А.с. № 1649185 СССР, МКИ<sup>5</sup> І6 Н 27/00. Полюдов А.Н., Ключковский С.М., Дырда Д.В. Устройство периодического поворота. Заявка № 4602662/28. Заявлено 05.11.88. Оpubл. 15.05.91. Бюл. № 18 - 3 с.
4. А.с. № 1736746 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 42 В 2/04. Полюдов А.Н., Ключковский С.М. Привод качающегося стола ниткошвейной машины. Заявлено 25.12.89. Заявка № 4773354/12. Оpubл. 30.05.92. Бюл. № 20 - 3 с.



## А Н Н О Т А Ц И Я

Ключковский С.М. Разработка и исследование универсального транспортно-подающего модуля для полиграфических машин и автоматических линий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.15 – машины, агрегаты и процессы полиграфического производства, Украинская академия печати, Львов, 1994. Защищается диссертационная работа, которая содержит теоретические исследования динамики предложенной схемы универсального транспортно-подающего модуля для полиграфических машин и автоматических линий, являющегося по существу многопозиционной резонансной манипуляционной системой, методику инженерного синтеза модуля, а также, исследования экспериментального стенда, созданного по предложенной методике. Установлено, что удовлетворительная динамика работы модуля может быть достигнута с использованием в качестве приводного двигателя электромагнита или пневмоцилиндра, что упрощает конструкцию. По результатам экспериментальных исследований внесена поправка в методику синтеза. Приводятся данные об эффективности и технические характеристики модуля.

Ключові слова: промисловий робот, маніпулятор, автоколивання.

S Y N O P S I S

S. M. Klyuchkovskij. Elaboration and research of universal transport-giving module for the machines and automatic lines of printing industry. Dissertation is submitted for a candidate of technical sciences degree on speciality 05.02.15 - machines, assemblies and processes of the printing industry, Ukrainian academy of printing, Lviv, 1994. The dissertation contains: theoretic research of dynamics of suggested scheme of universal transport-giving module for the machines and automatic lines of printing industry, which is as a matter of fact multipositional resonance manipulate system; procedure of engineer synthesis of the module; experimental research of stand created on the basis of suggested methodology. It was established, that satisfactory dynamics of module's work can be reached by using of an electromagnet or air cylinder as a drive. It can simplifioate the construction. Some changes were introduced to the synthesis methodology by results of experimental research. There are given data of effiicence and technical characteristics of module.

Львівський державний університет імені Івана Федорова

Відомості про наукові роботи викладачів та асистентів Львівського державного університету імені Івана Федорова за 1994 рік. У таблиці наведено дані про викладачів фізико-математичного факультету, зокрема про професора І. М. Ковалюка та асистента І. М. Ковалюка. Значення в таблиці вказують на кількість наукових праць, надрукованих у друку за вказаний період часу.

Кількість наукових праць, надрукованих у друку за вказаний період часу.

Підписано до друку 20.09.94. Формат 60x84/16.  
Обсяг 2 друк. листа, Зам. 614. Тир. 100. Безплатно.  
Львів. Друкарня VIII ім. Ів. Федорова.



Безплатно

Ав 30.923