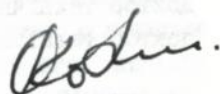


На правах рукопису



Коваленко Олександр Олександрович

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ
ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИВОДІВ ТА СИСТЕМ**

Спеціальність 05.02.03

"Системи приводів"

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



00752516 (Q)

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" на кафедрі "Гідро пневмоавтоматики та гідравліки".

Наукові керівники:

доктор технічних наук, професор ЧКАЛОВ Валерій Васильович
доктор технічних наук, професор ЯХНО Олег Михайлович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор ЛУР'Є Зіновій Якович
кандидат технічних наук, ПАВЛЮК Волюдимир Миколайович

Провідна організація:

Авіаційний науково-технічний комплекс ім. О.К.Антонова,
міністерство машинобудування військово-промислового комплексу і конверсії України, м. Київ

Захист відбудеться "1" 07 1997 р. о 15⁰⁰ годині
на засіданні спеціалізованої вченої Ради К ІО.01.02 у Вінницькому державному технічному університеті за адресою:
286021, м.Вінниця, вул.Хмельницьке шосе, 95.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ВДТУ, за
вказаною адресою.

Автореферат розісланий "16" 05 1997 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої Ради.  Дерібо О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Складність та суттєва нелінійність пневматичних приводів та систем (ППС) і робочих процесів (РП), що в них відбуваються, обумовлюють значні витрати часу та ресурсів на проектування, особливо при експериментальній доводці. До підвищення якості ППС, суттєвого скорочення строків їх дослідження і впровадження може привести використання САПР, що підтверджується досвідом інших галузей техніки.

Застосування існуючих САПР стримується двома основними проблемами: відсутність ефективного і надійного способу представлення математичних моделей (ММ) ППС для САПР та неспроможність існуючих САПР виконувати весь спектр проектних операцій (ПО) дослідження та оптимального проектування ППС.

Тому створення засобів, що дозволили б виконувати весь комплекс ПО аналізу і синтезу ППС у складі сучасних високо-ефективних САПР є актуальною задачею.

Метою роботи є розробка раціональних методів розрахунку, проектування та моделювання роботи ППС та їх елементів у складі сучасних високоефективних САПР. Для її реалізації розв'язано ряд питань, з яких на захист виносяться:

1) спосіб представлення ММ ППС для САПР у вигляді еквівалентної схеми;

2) чисельні ММ РП та типових елементів ППС: дроселювання газу, наповнення/спорожнення ємкості, постійних та змінних пневматичних опорів і ємкостей, розподільників, трубопроводів, циліндрів, клапанів і т.ін., а також ММ об'єктів;

3) залежність коефіцієнта витрат опору від співвідношення тисків на його вході та виході, чисел Re , Fr , We і т.ін.;

4) реалізація для САПР ППС таких ПО, як розрахунок оптимальних допусків, аналіз найгіршого випадку, багатоваріантний аналіз та можливості комбінованого використання ПО, як попередній розрахунок сталого стану, результати якого приймаються як початкові для наступного розрахунку динаміки; розрахунок частотних характеристик з попередньою лінеаризацією системи; побудова частотних характеристик методами спектрального аналізу результатів розрахунку динаміки; призначення оптимальних допусків з аналізом найгіршого випадку;

5) реалізація методу підвищення точності розрахунку ви-

хідних характеристик ППС для чисельного метода інтегрування зі змінним кроком;

6) настройка чисельних методів інтегрування на предметну область за рахунок оптимального вибору ряду констант інтегрування та системи одиниць;

7) підсистема графічного вводу інформації про об'єкт з автоматичною побудовою його опису на вхідній мові САПР;

8) чисельні ММ та результати дослідження і оптимального проектування об'єктів: пневмогідравлічного приводу переміщення форм для лиття; пневматичного цифрового виконавчого приводу; пневматичного слідкуючого приводу.

Наукова новизна роботи.

1. Розроблена методика представлення ММ ППС для САПР у вигляді еквівалентних схем, за якою створені чисельні моделі робочих процесів, елементів ППС і об'єктів проектування.

2. Виконано порівняння ММ РП в ППС за критеріями точності, обчислювальних витрат, сталості обчислювального процесу.

3. Визначена залежність коефіцієнта витрат пневматичного опору від співвідношення тисків на його вході та виході.

4. Реалізований метод підвищення точності розрахунку вхідних характеристик ППС для чисельного методу інтегрування зі змінним кроком.

5. Підвищена сталість чисельних розрахунків та зменшені обчислювальні витрати за рахунок оптимального вибору ряду констант інтегрування та системи одиниць.

6. Створена підсистема графічного вводу інформації.

7. Визначені показники якості об'єктів та оцінений вплив на них основних параметрів шляхом моделювання їх роботи у складі САПР. Сформульовані і розв'язані задачі параметричної оптимізації, призначення оптимальних допусків та аналізу найгіршого випадку.

Практична цінність роботи. Розроблена методика представлення ППС дає можливість проводити їх дослідження та проектування у складі сучасних високоефективних САПР, з використанням усього комплексу проектних операцій по одній ММ.

Системний підхід до розробки методів розрахунку, моделювання та оптимізації ППС дозволив реалізувати їх як окремий модуль САПР. Завдяки прийнятій формі представлення об'єкта і

способу систематизації даних, у складі САПР може працювати безпосередньо проектувальник, що суттєво підвищує ефективність самого процесу проектування.

Реалізація роботи. В процесі виконання роботи проведено донаповнення системи ALLTED функціональними залежностями і MM компонент, що використовуються при проектуванні ППС, опрацьовано практичні рекомендації з побудови MM і настроювання чисельних методів. Спосіб представлення, MM, константи чисельних методів інтегрування відпрацьовані при проектуванні об'єктів і доведені до рівня промислової експлуатації.

Дослідження режимів роботи ППС та їх оптимальне проектування склали основу трьох науково-дослідних робіт, результати яких використовуються підприємствами-замовниками.

Система ALLTED використовується в учбових процесах в НТУУ "КПІ" та в ряді інших відчизняних та зарубіжних закладах, зокрема і для дослідження та проектування ППС.

Апробація роботи та публікації. Основні результати і положення дисертації доповідались і обговорювались на науково-технічних семінарах кафедри гідропневмоавтоматики та гідравліки НТУУ "КПІ", науково-технічних конференціях. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 друкованих робіт, з яких статей - 4, тез доповідей - 8.

Структура та об'єм дисертації. Робота складається з введення, п'яти глав, заключення, списку використаної літератури та додатків. Містить 148 сторінок машинописного тексту, ілюстрована 84 рисунками і 13 таблицями. Список літератури включає 96 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У введенні обґрунтована актуальність розглядуваної теми, поставлена ціль і визначені задачі роботи.





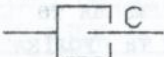
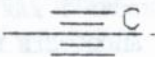

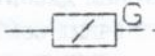
В першій главі розглянуті методи дослідження та проектування ППС і зроблено висновок про необхідність використання при цьому САПР.

На підставі проведеного аналізу способів представлення об'єктів дослідження в сучасних САПР і алгоритмів автоматизованого формування їх MM, визначений перспективний спосіб представлення MM ППС для САПР - еквівалентна схема.

Властивості компонент еквівалентних схем визначаються

змінними на їх полюсах, в якості яких вибрані: масова витрата газу, потік тепла, абсолютні тиск та температура газу. В табл. I наведені чотири види лінійних типових компонент, сформованих як можливі відношення між вибраними основними змінними. Приклад побудови ММ пневматичної системи у вигляді еквівалентної схеми представлений на рис. I.

Таблиця I.
Типові компоненти пневматичних систем

Тип змінної	Вид рівняння	Тип схеми	
		пневматична	теплова
E	$u_E = u(t)$		
J	$t_J = i(t)$		
C	$t_C = C \cdot \frac{du_C}{dt}$		
G	$t_G = G \cdot u_G$		

Наведена загальна характеристика об'єктів дослідження: привода переміщення литтєвих форм; пневматичного цифрового виконавчого приводу (рис. 2); пневматичного слідкуючого приводу. Обгрунтована доцільність їх дослідження у складі САПР з використанням набору традиційних та перспективних ПО.

В другій главі розроблені і представлені у формі, що найбільш повно відповідає використуванним алгоритмам формування та розв'язання чисельних ММ, ММ типових елементів ППС: пневмоопорів, розподільників, трубопроводів, циліндрів, запобіжного, зворотнього та редукційного клапанів і т.ін.

Проведена порівняльна характеристика ряду моделей протікання газу через пневмоопори з метою визначення оптимальної за точністю, обчислювальними витратами та сталістю процесу чисельного інтегрування. Визначено, що коефіцієнт витрат μ є складною функцією від співвідношення тисків на його вході та виході β , чисел Re , Fr , We і т.ін. Тому для підвищення точності моделей запропоновано визначати μ як

$$\mu = \mu_0 \cdot (A + B \cdot \beta), \quad (1)$$

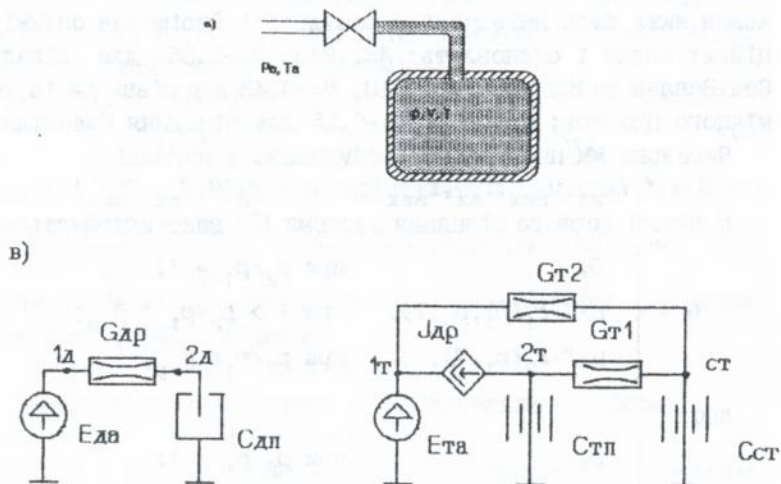


Рис. 1. Приклад побудови еквівалентної схеми пневматичної системи.

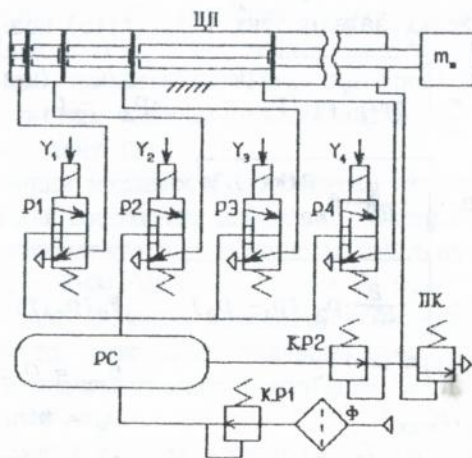


Рис. 2. Схема пневматичного цифрового виконавчого приводу.

де μ_0 - немодифіковане значення коефіцієнта витрат, A і B - постійні для конкретного опору коефіцієнти, що враховують геометричні особливості та умови протікання газу, значення яких були визначені в результаті вирішення оптимізаційних задач і становлять: $A=1.243$, $B=-0.35$ для рівняння Сен-Венана та Ванцеля; $A=1.318$, $B=-0.43$ для рівняння ізотермічного процесу; $A=1.151$, $B=-0.25$ для рівняння Прандтля.

Чисельна ММ пневмоопору побудована у вигляді

$$G = f_1(p_{\text{вх}}, p_{\text{вих}}, T_{\text{вх}}, T_{\text{вих}}); \quad q = f_2(G, T_{\text{вх}}, T_{\text{вих}}). \quad (2)$$

В якості першого рівняння системи (2) використовується

$$G = \begin{cases} 0, & \text{при } p_2/p_1 = 1; \\ \mu \cdot f \cdot F'_1(p_1, p_2, T), & \text{при } 1 > p_2/p_1 > \beta'_{\text{кр}}; \\ \mu \cdot f \cdot F'_2(p_1, T), & \text{при } p_2/p_1 \leq \beta'_{\text{кр}}, \end{cases} \quad (3)$$

або

$$G = \begin{cases} 0, & \text{при } p_2/p_1 = 1; \\ \mu \cdot f \cdot F''_1(p_1, p_2, T), & \text{при } 1 > p_2/p_1 > \beta''_{\text{кр}}; \\ \mu \cdot f \cdot F''_2(p_1, T), & \text{при } p_2/p_1 \leq \beta''_{\text{кр}}, \end{cases} \quad (4)$$

Для другого рівняння використана залежність

$$q = c_p \cdot G \cdot T. \quad (5)$$

В наведених залежностях (2), ..., (5) позначено:

$$F'_1(p_1, p_2, T) = \sqrt{\frac{2k}{RT(k-1)} \cdot p_1^{2(k-1)/k} \cdot p_2^{2/k} - p_1^{(k-1)/k} \cdot p_2^{(k+1)/k}};$$

$$F'_2(p_1, T) = p_1 \cdot \sqrt{\frac{k}{RT} \cdot \beta_{\text{кр}}^{2(k+1)/k}};$$

$$F''_1(p_1, p_2, T) = \sqrt{\frac{2}{RT} \cdot p_2 \cdot (p_1 - p_2)}; \quad F''_2(p_1, T) = p_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{2RT}};$$

$$\beta'_{\text{кр}} = (2/(k+1))^{k/(k-1)};$$

$$\beta''_{\text{кр}} = 0.5;$$

$$p_1 = \max(p'_{\text{вх}}, p'_{\text{вих}});$$

$$p_2 = \min(p'_{\text{вх}}, p'_{\text{вих}});$$

$$p'_{\text{вх}} = \max(p_{\text{мін}}, p_{\text{вх}});$$

$$p'_{\text{вих}} = \max(p_{\text{мін}}, p_{\text{вих}});$$

$$T = \max(T_{\min}, T'); \quad T' = \begin{cases} T_{\text{вх}}, & \text{при } p_{\text{вх}} > p_{\text{вих}}; \\ T_{\text{вих}}, & \text{при } p_{\text{вх}} < p_{\text{вих}}; \end{cases}$$

$p_{\text{вх}}, p_{\text{вих}}$ - абсолютні тиски газу, відповідно, на вході та виході опору; $T_{\text{вх}}, T_{\text{вих}}$ - абсолютні температури газу, відповідно, на вході та виході опору;

Чисельна математична модель пневмоємкості має вигляд

$$G = \sum_m f_1(p, V, T); \quad q = f_2(p, V, T) + q_T, \quad (6)$$

де $G = \sum_{j=1} G_j$ - сумарні масові витрати газу, який надходить по m каналам; $q = \sum_{j=1} q_j$ - сумарний тепловий потік, що вноситься з газом; q_T - тепловий потік через стінки, що визначається по формулі Н'ютона:

$$dq_T = \alpha A (T - T_c) dt, \quad (7)$$

Перше рівняння системи (6) представлено у формі

$$G = G_V + G_P - G_T, \quad (8)$$

де G - масова витрата газу, що надходить в пневмоємкість, а G_V, G_P, G_T - масові витрати газу, відповідно, на зміну об'єму, тиску та компенсацію зміни температури, які визначаються з рівняння стану газу.

Друге рівняння системи (6) має вигляд

$$q = q_U + q_L + q_T, \quad (9)$$

де q - тепловий потік, що переноситься з газом і визначається рівнянням (5); q_U і q_L - теплові потоки, що витрачаються, відповідно, на зміну внутрішньої енергії та на роботу і визначаються першим законом термодинаміки; q_T - тепловий потік на тепловіддачу (7).

Для забезпечення можливості розрахунку сталого стану по тій же ММ, що й для розрахунку динаміки, компонентне рівняння порожнечі запропоновано автоматично модифікувати

$$i_o = C \cdot di_o / dt \Rightarrow i_o = G_{\Phi} \cdot u_o,$$

де G_{Φ} - фіктивне значення параметру компоненти $G_{\Phi} = C \cdot \epsilon$, ϵ - малий параметр, оптимальне значення якого для типових ППС визначено експериментально і дорівнює близько 10^{-6} в системі одиниць кГ, см, с.

Чисельні ММ решти типових елементів ППС (розподільників, трубопроводів, циліндрів, запобіжного, зворотнього та редук-

ційного клапанів та ін.) побудовані на базі розроблених ММ пневмоопору та пневмоємкості.

В третій главі по запропонованій методиці побудовані та описані ММ об'єктів дослідження. Всі вони представлені у вигляді еквівалентних схем із використанням компонент, що описані в главі 2. Для пневматичного слідкуючого приводу ММ побудована з використанням розробленої підсистеми графічного вводу інформації.

В четвертій главі для кожного об'єкта проведена ідентифікація розроблених моделей та виконано їх всестороннє дослідження. Визначені показники якості та їх залежність від параметрів. Для прикладу, на рис.3 наведені результати дослідження впливу радіального зазору на характеристики пневматичного цифрового приводу і статичні та частотна характеристика слідкуючого приводу, побудовані після обробки результатів розрахунку динаміки.

В п'ятій главі представлені результати параметричної оптимізації та розрахунку оптимальних допусків і аналізу найгіршого випадку об'єктів. Наведені результати порівняння різних методів оптимізації та використовувані цільові функції та обмеження. Розроблена та описана методика виконання проектної операції призначення оптимальних допусків для систем з нелінійною залежністю вихідних характеристик від параметрів. Результати оптимізації та розрахунку оптимальних допусків на параметри слідкуючого приводу приведені на рис.4.

Заключення містить висновки по роботі

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. В результаті виконання роботи створена САПР ППС, яка реалізована як підсистема ППП ALLTED, призначеного для проектування різнорідних динамічних систем. Це дало можливість скоротити час розробки САПР ППС та ефективно проектувати та проводити всесторонні дослідження у складі САПР як окремих ППС, так і систем, в які ППС входять як складові елементи.

2. Ефективність створеної САПР ППС забезпечена слідуючими факторами:

- розроблена методика представлення ММ ППС для САПР у вигляді еквівалентних схем. Спосіб дозволяє оперативнo і в наочній формі будувати ММ різного ступеня складності, гнучко

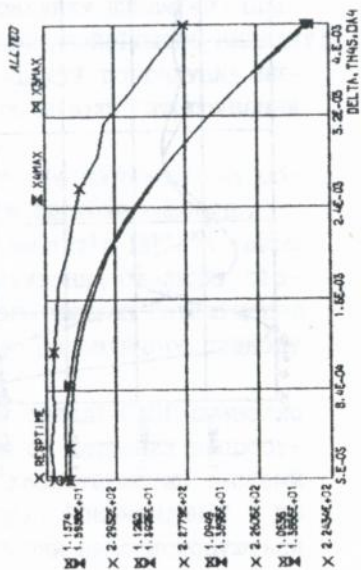
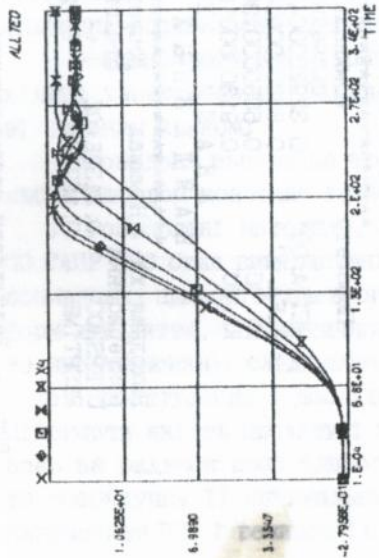
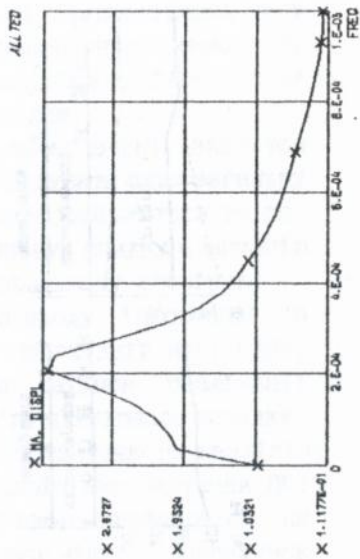
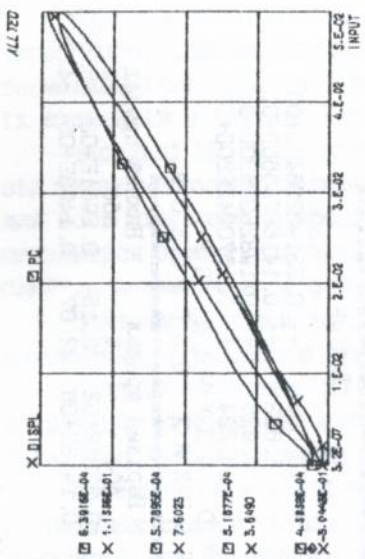
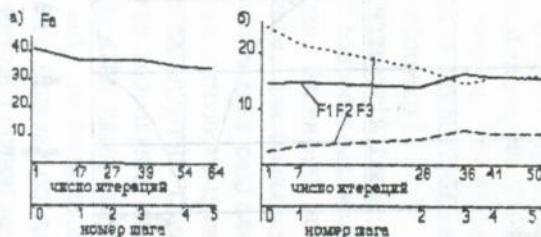
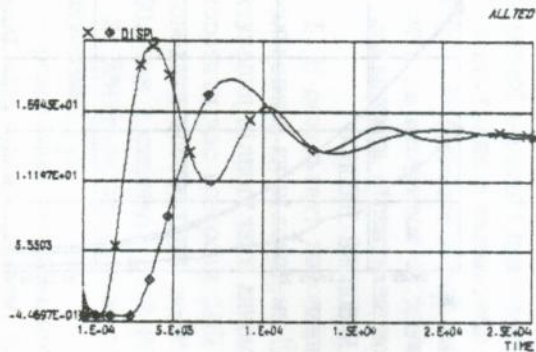


Рис. 3. Результати дослідження пневматичних приводів.



РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ДОПУСКОВ

Параметр	Номинальное значение	Допуск	
		%	абс
BETTA.QC	0.3292000042D+01	+ - 10.083	+ - 0.3319323640D+00
ALFA.QC	0.8520000006D+00	+ - 1.663	+ - 0.1416876660D-01
KI.QC	0.5050000130D+00	+ - 3.926	+ - 0.1982632630D-01
KP.QC	0.9130000010D+00	+ - 18.294	+ - 0.1670242220D+00

АНАЛИЗ ХУДШЕГО СЛУЧАЯ ПРИ НАЙДЕННЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ДОПУСКОВ

Выходная характеристика	Номинал	Допустимое отклонение, %	Верхний предел		Нижний предел	
			абс	%	абс	%
OVERSHOO	0.3139E+02	+ - 5.00	0.3238E+02	3.15	0.2961E+02	-5.66
RESPTIME	0.1571E+05	+ - 20.00	0.1918E+05	22.07	0.1493E+05	-4.96

Рис. 4. Результаты параметричної оптимізації (а) та розрахунку оптимальних допусків (б)

змінювати ступінь ідеалізації і враховувати індивідуальні особливості та умови роботи об'єктів дослідження;

- розроблена бібліотека чисельних ММ РП (протікання газу через опір, наповнення/спорожнення пневматичних емкостей, термодинамічні процеси), на базі яких побудовані ММ ППС та їх елементів у вигляді еквівалентних схем;

- чисельні ММ РП та елементів ППС забезпечені захистом від зриву обчислень, дають можливість будувати одну загальну для всіх проектних операцій ММ, легко модифікуються та доповнюються проектувальником, що забезпечує швидку адаптацію САПР до нових умов та запобігає її моральному старінню;

- розроблена підсистема графічного вводу інформації з автоматичною побудовою опису об'єкту на вхідній мові САПР;

- розширений спектр ПО САПР ППС за рахунок реалізації розрахунку оптимальних допусків, аналізу найгіршого випадку, багатоваріантного, спектрального та статистичного аналізів;

- забезпечена можливість комбінованого використання ПО: розрахунок сталого стану, результати якого приймаються як початкові для наступного розрахунку динаміки; розрахунок частотних характеристик з попередньою лінеаризацією системи; розрахунок частотних характеристик після обробки методами спектрального аналізу результатів розрахунку динаміки; призначення оптимальних допусків з аналізом найгіршого випадку;

- реалізований метод підвищення точності розрахунку вихідних характеристик ППС для чисельного метода інтегрування зі змінним кроком;

- проведена настройка чисельних методів на предметну область вибором констант інтегрування та системи одиниць.

4. Розроблені методика, ММ РП та елементів ППС, а також ПО САПР ППС були використані для проектування реальних різнопланових приводів: пневмогідравлічного приводу переміщення форм для лиття, пневматичного цифрового виконавчого приводу та пневматичного слідуючого приводу.

5. Проектування і дослідження ППС у складі САПР дозволяє підвищити якість проекту і зменшити об'єм натурних випробувань за рахунок попереднього аналізу характеристик системи та розрахунку її оптимальних параметрів. Рекомендації по параметрам ППС і режимам їх функціонування використовуються

підприємствами-виробниками при проектуванні нових виробів.

Основні положення і результати дисертації викладені в наступних роботах:

1. Чкалов В.В., Коваленко А.А., Яцук П.Ф. Проектирование пневмогидравлического ударного устройства в составе САПР // Гидропривод и гидропневмоавтоматика: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1989. - Вып. 25. - с.17-23.

2. Коваленко А.А., Войтко А.Ф. Расчет оптимальных допусков систем гидропневмоавтоматики в составе САПР // Тез. докл. респ. конф. "Проектирование, производство и эксплуатация жидкостно-газовых систем современных воздушных судов и авиационной наземной техники". - Киев, 1989, с.28.

3. Чкалов В.В., Сухонос А.Ф., Коваленко А.А., Алексеев В.Ю. Автоматизация проектирования систем гидропневмоавтоматики // Тез. докл. науч. - техн. конф. "Гидравлика и гидропневмопривод машин, автоматов и промышленных роботов в машиностроении". - Киев, 1990, с.13.

4. Чкалов В.В., Сухонос А.Ф., Алексеев В.Ю., Коваленко А.А. Автоматизация проектирования гидропневмоприводов // Тез. докл. XIII респ. науч. - техн. конф. "Реология гидравлически сложных сред и гидропневмопривод в машиностроении". - Киев, 1991, с.62-63.

5. Чкалов В.В., Коваленко А.А. Расчет оптимальных допусков параметров элементов гидропневмоавтоматики в составе САПР // Гидропривод и гидропневмоавтоматика: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1991. - Вып. 27. - с.15-21.

6. Коваленко А.А., Омельченко Н.И., Эрастов Е.В. Автоматизация проектирования пневматических приводов и воздушных систем самолетов // Тез. докл. III науч. - техн. конф. "Проектирование, производство и эксплуатация систем гидропневмопривода, гидропневмоавтоматики, гидропневмомашин и их компонентов" - Киев, 1993, с.20-21.

7. Чкалов В.В., Сухонос А.Ф., Коваленко А.А. Использование ПРАНС-ПК в учебном процессе // Сб. тез. межвуз. науч. - метод. конф. с междунар. участ. "Высшее техническое образование в новых социально-экономических условиях" - Красноярск, 1994, с.180.

8. Коваленко О.О. Оптимальне проектування пневмогідрав-

лічного приводу переміщення форм для безопочного лиття // Тез. доп. наук. конф. мол. вчених "Машинобудівник 96". - Київ, 1996, с.10.

9. Коваленко О.О. Проектування пневматичного цифрового виконавчого приводу у складі САПР // Тез. доп. наук. конф. мол. вчених "Машинобудівник 96". - Київ, 1996, с.10-11.

10. Коваленко О.О. Проектування пневматичного слідкуючого приводу з мікропроцесорним управлінням у складі САПР // Тез. доп. наук. конф. мол. вчених "Машинобудівник 96". - Київ, 1996, с.11-12.

11. Коваленко А.А. Численные математические модели течения газа через пневматические сопротивления для САПР // Доп. в УкрИНТЭИ 04.03.1997, №223-У197.

12. Коваленко О.О., Яхно О.М. Розробка чисельної математичної моделі пневматичного опору для САПР // Вісник ВПІ - 1997. - № 2. - 4 с.

Особистий внесок. В роботах, що опубліковані у співавторстві, пошукачеві належать: розробка моделей пневмогідролічного ударного пристрою та проведення чисельних досліджень (1), реалізація методу підвищення точності розрахунку вихідних характеристик для чисельного метода інтегрування зі змінним кроком (2), розробка чисельних моделей ППС (3), розробка підсистеми графічного вводу інформації (4), метод визначення апроксимаційної залежності для нелінійних систем та реалізація процедури розрахунку оптимальних допусків на параметри ППС (5), розробка моделей елементів кондиціонування повітря (6), методика проектування ППС у складі САПР (7), розробка та тестування чисельних моделей опору (12).

Abstract. Alexander A. Kovalenko. Pneumatic Actuators and Systems Computer-Aided Engineering and Research. Manuscript. Thesis for a Candidate of Technical Sciences Degree in speciality 05.02.03 "Systems of Drives". Vinnytsia State Technical University, Vinnytsia, 1997.

The main principles and results of the thesis:

- method of representation of pneumatic actuators and systems (PAS) in the form of equivalent circuits for Computer-Aided Engineering (CAE) systems;

- mathematical models of the working processes, of the

basic elements of PAS and of the design objects;

- dependence of the pneumatic restriction discharge coefficient vs balance of pressures on it terminals;
- making available for PAS CAE such design features as optimal tolerances assignment, worst case analysis, multivariant analysis as well as combine using of design features;
- increasing calculation accurateness of PAS outputs;
- results of objects research and optimal design with CAE

Аннотация. Коваленко А.А. Автоматизация проектирования и исследования пневматических приводов и систем. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.03 "Системы приводов". Винницкий государственный технический университет, Винница, 1997.

Основные положения и результаты работы:

- способ представления математических моделей ППС для САПР в виде эквивалентных схем;
- математические модели рабочих процессов, типовых элементов ППС и объектов проектирования;
- зависимость коэффициента расхода пневматического сопротивления от соотношения давлений на его входе и выходе;
- реализация для САПР ППС таких проектных операций как расчёт оптимальных допусков, анализ худшего случая, многовариантный анализ, а также возможности комбинированного использования проектных операций;
- повышение точности расчёта выходных характеристик ППС для численных методов интегрирования с переменным шагом;
- результаты всестороннего исследования и оптимального проектирования объектов в составе разработанной САПР.

Ключові слова: пневматичні приводи та системи, елементи пневматичних приводів та систем, робочі процеси, еквівалентна схема, автоматизація дослідження та проектування, система автоматизації проектування.

Підписано до друку 15.05.97 р.
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету.
Наклад 100 примірників.

18 Feb

436480

AB 37.816

AB 37.816