

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Стрижак Мар'яна Георгіївна



УДК 621.53

**ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ
ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ
ПНЕВМОАГРЕГАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ**

Спеціальність 05.05.17 - гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі гідропневмоавтоматики і гідроприводу Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник	<p>доктор технічних наук, доцент Крутіков Геннадій Анатолійович, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу</p>
Офіційні опоненти	<p>доктор технічних наук, професор Канюк Геннадій Іванович, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, декан енергетичного факультету, завідувач кафедри теплоенергетики та енергозбереження</p> <p>кандидат технічних наук Свинаренко Максим Сергійович, Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання вторинних енергоресурсів</p>

Захист відбудеться 18 квітня 2013 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.11 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий 13 березня 2013 р.

Вчений секретар
 спеціалізованої вченої ради



Юдін Ю.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з перспективних напрямків у створенні сучасних мехатронних систем є розробка гібридних електропневматичних пристроїв, в яких сполучаються широкі функціональні можливості мікропроцесорного керування та екологічно чистого пневмопривода в якості силової частини. При цьому найвразливішим місцем цих систем є інтерфейсні пристрої, що здійснюють перехід від однієї форми енергії (електричної) до іншої форми енергії (пневматичної).

При створенні зазначених перетворювачів доводиться вирішувати завдання одночасного досягнення високої швидкодії, стійкості і точності, що, як відомо з теорії автоматичного керування, є взаємовиключними вимогами. Для виконання цих вимог розробники все частіше йдуть шляхом введення додаткових електронних контурів, що містять датчики тиску, електронний зворотній зв'язок, корегуючі ланки, підсилювачі і блоки порівняння. Це призводить до значного здорожчання, зниження надійності і ускладнення налаштування й обслуговування в умовах промислової експлуатації.

Тому одним з перспективних напрямків при подальшому удосконаленні електропневматичних перетворювачів є відмова від використання додаткових електронних контурів зворотнього зв'язку і реалізація на основі перетворювача з вбудованими демпфуючими камерами системи зі змінною жорсткістю мембранно-клапанного вузла, величина якої залежить від характеру збурюючих впливів. Одночасно з досягненням потрібного запасу стійкості пристрої мають високу пропускну здатність, що позитивно впливає на швидкодію пневмоагрегатів, де вони використовуються.

Таким чином, дослідження впливу конструктивних параметрів на динамічні характеристики електропневматичних перетворювачів без електронних контурів зворотнього зв'язку являє собою актуальну задачу, вирішення якої визначило подальший напрям роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Тематика роботи тісно пов'язана з науковими програмами, планами й договорами, які виконувались на кафедрі гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ «ХПІ». Здобувач була виконавцем госпдоговірних НДР: «Розробка електропневматичної системи керування зусиллям прижиму шліфувального кола» (ТОВ Крановий електропривод, м. Харків, ДР № 0111U008464), «Розробка і дослідження електропневматичного перетворювача мехатронних систем» (Корпорація Гідроелекс, м. Харків, ДР № 0111U009813).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є теоретичне і експериментальне обґрунтування принципів побудови електропневматичних перетворювачів, для яких динамічна стабільність, швидкодія та точність забезпечується за рахунок використання пружно-в'язкісних властивостей проточних і глухих камер, а також газомеханічних процесів у дроселюючих трактах.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- Аналіз науково-технічних джерел щодо визначення існуючих конструкцій, методів розрахунку, схем використання електропневматичних перетворювачів.
- Розробка конструктивних схем аналогових електропневматичних перетворювачів з пневмомеханічним зворотним зв'язком, що використовують пружно-в'язкісні властивості стисненого повітря в підмембранній і надмембранній камерах для стабілізації перехідного процесу.
- Розробка нелінійних, лінійних та пружно-в'язкісних механічних моделей конструктивних схем перетворювачів.
- Теоретичне дослідження динамічних характеристик перетворювачів.
- Параметрична оптимізація динамічних характеристик електропневматичних перетворювачів щодо визначення раціонального співвідношення основних конструктивних параметрів.
- Дослідження роботи запропонованого аналогового електропневматичного перетворювача в системі пневмоагрегата шліфувально-обдирної машини щодо обґрунтування технологічної та економічної доцільності.

- Дослідження роботи аналогового перетворювача в системі притискного пневмоагрегата машини точкового зварювання і визначення області раціонального використання.

Об'єктом дослідження є газодинамічні й термодинамічні процеси в порожнинах і дроселюючих трактах електропневматичного перетворювача.

Предметом дослідження є методи покращення динамічних характеристик електропневматичного перетворювача і систем пневмоагрегатів на їх основі.

Методи дослідження. Теоретичне дослідження ґрунтувалось на фундаментальних термодинамічних залежностях тіла змінної маси. Для досягнення найлаконічнішої форми запису рівнянь математичної моделі використовувалась теорія аналогічності тепломеханічних систем. При чисельному інтегруванні рівнянь нелінійної моделі використовувався метод Рунге-Кутта. Дослідження лінійної моделі виконувалося методом кореневого годографа, а для переходу з області s -перетворень у область часу використовувались перетворення Хевісайда. При дослідженні коливач механічного аналога мембранно-клапанного вузла були використані перетворення Фур'є. Методи оптимізації ґрунтувались на модифікованому алгоритмі Гауса-Зейделя. Експериментальні методи ґрунтувались на осцилографуванні внутрішніх перехідних процесів, а також швидкості і переміщення мембранно-клапанного вузла. Результати експериментальних досліджень отримані в лабораторії кафедри гідравлічних машин НТУ "ХП".

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше на основі дослідження коливач механічного аналога мембранно-клапанного вузла електропневматичного перетворювача виконано дослідження комплексної жорсткості і енергії розсіювання коливач;

- вперше запропоновано принцип досягнення максимальної стійкості пневматичного редукційного клапана з пропорційним електрокеруванням, як у вигляді оптимального розташування нулів і полюсів передавальної функції РК у s -площині, так і у вигляді співвідношення частоти максимального розсіювання енергії коливач мембранного блока і власної частоти РК;

- удосконалено методи створення редукційного клапана, в якому мембранно-клапанний вузол зі змінною жорсткістю, адаптованою до частоти збурюючих впливів, має невелику жорсткість при відпрацюванні низькочастотних збурень з боку навантажувальної лінії і велику жорсткість при відпрацюванні власних високочастотних коливач;

- отримали подальший розвиток принципи вибору раціональних параметрів електропневматичного перетворювача і співвідношення конструктивних параметрів на основі теоретичних і експериментальних досліджень його динамічних характеристик і вирішена задача його параметричної оптимізації.

Практичне значення отриманих результатів для промислової пневматики полягає у розробці конструкції і співвідношень конструктивних параметрів редукційного клапана з пропорційним електрокеруванням. Створена методика визначення оптимальних конструктивних параметрів, результати досліджень і рекомендації з використання упроваджені в практику проектування й експлуатації промислової пневматики.

- Отримано графіки безрозмірних характеристик РК, що спрощують практичні розрахунки ефекту від заміни клапана з пружинним керуванням клапаном з пропорційним електрокеруванням.

- Розроблено комплект комп'ютерних програм, що дозволяє розраховувати перехідні процеси редукційного клапана з пропорційним електрокеруванням, а також визначати його оптимальні конструктивні параметри.

- Впровадження результатів досліджень дозволяє зменшити амплітуду коливач струму електродвигуна шліфувально-обдирної машини в 2-2,5 рази.

- На прикладі використання електропневматичного перетворювача в системі пневмоагрегата машини точкового зварювання доведено скорочення часу спрацювання у 1,5-2,2 рази у порівнянні з системою, де традиційно використовуються редукційні клапани з пружинним керуванням і отримана принципова можливість узгодження кувального зусилля і зусилля зварювання з током на електродах у пневмоагрегаті машини точкового зварювання.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в ОП Корпорації «Гідроелекс» (м. Харків, акт упровадження від 10.05.2012 р.), ТОВ «Крановий електропривод» (м. Харків, акт упровадження від 22.10.2012 р.) і в навчальний процес кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ «ХП» (акт упровадження від 20.11.2012 р.).

Особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві: наукове обґрунтування можливості створення електропневматичного перетворювача, що має гарну пропускну спроможність і, водночас, забезпечує стійку і надійну роботу. Це досягається за рахунок використання пружно-в'язкісних властивостей надмембранної і підмембранної демпфуючих камер з використанням понять комплексної жорсткості і енергії розсіювання коливань мембранно-клапанного вузла; розробка конструкції електропневматичного редукційного клапана і проведення досліджень впливу конструктивних параметрів РК на його динамічні характеристики; розробка алгоритма оптимізації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались й обговорювались на: Міжнародних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2010, 2011, 2012), X Міжнародній науково-технічній конференції «Горная энергомеханика и автоматика» (Донецьк, 2010), XVI Міжнародній науково-технічній конференції "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці" (Вінниця, 2011), 15 Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» (Москва, 2011), науково-технічному семінарі «Семковские молодёжные научные чтения» (Харків, 2012).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані в 12 наукових працях, серед них: 7 робіт у фахових виданнях, 5 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків. Повний обсяг дисертації 212 сторінок, серед них 48 рисунків за текстом, 53 рисунка на 25 окремих сторінках, 3 таблиці за текстом, список використаних джерел інформації 127 найменувань на 13 сторінках, 3 додатки на 20 сторінках.

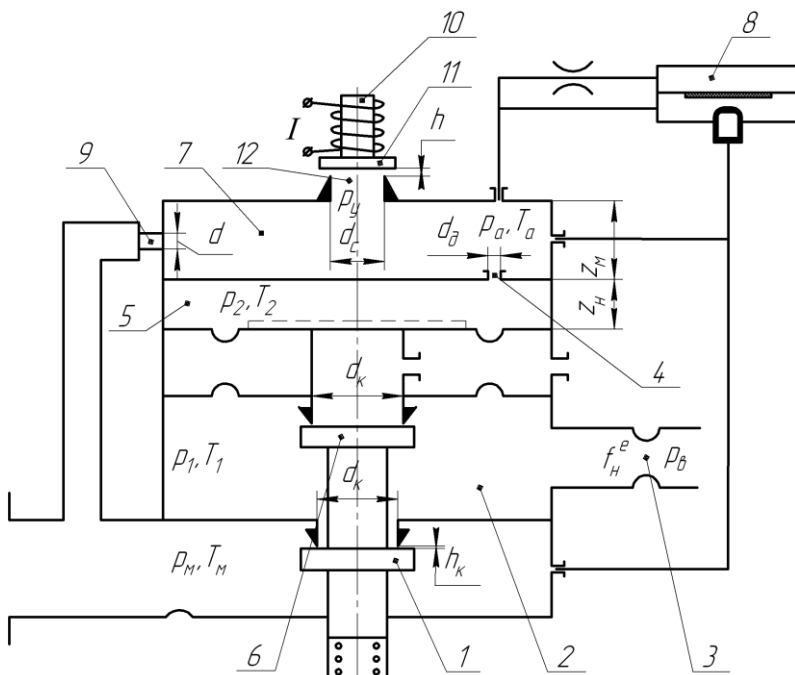


Рис. 1 – Розрахункова схема пропорційного РК з електрокеруванням з надмембранною демпфуючою камерою:

- 1 – нижній клапан; 2 – проточна камера;
- 3 – навантажувальний дросель; 4 – дросель у глуху надмембранну камеру 5; 6 – верхній клапан; 7 – проточна надмембранна камера; 8 – прискорювач;
- 9 - дросель зворотнього зв'язку, що поєднує проточну надмембранну камеру з магістраллю живлення;
- 10 – пропорційний електромагніт; 11 – заслінка;
- 12 – сопло.

типами керування (пружинним, пневматичним і електричним), проаналізовано схеми використання РК з пропорційним електрокеруванням в пневмо-агрегатах технологічного устаткування (шліфувально-обдирна машина, машина точкового зварювання).

Найбільш фундаментальними є роботи з дослідження РК з пружинним керуванням таких вчених, як Дейкун В.К., Цай Д. Г., Кассіди Е. Ц., а також роботи тульської наукової школи (Чекмазов В. І., Подчу-фаров Ю. Б.), в області РК з пневматичним керуванням – роботи Балакшина О. Б.

Проаналізовано методи математичного моделювання процесів у електропневматичних перетворювачах, існуючі методи розрахунків динамічних характеристик РК і пневмоагрегатів з РК.

У другому розділі визначено, що динамічні характеристики РК з датчиком тиску і електричним зворотнім зв'язком є задовільними, однак клапанам такої конструкції притаманні значні недоліки – висока вартість, а також складність у виготовленні й експлуатації, невисока надійність.

Запропоновано перспективну конструкцію РК з пропорційним електрокеруванням без використання електричних зворотніх зв'язків, розрахункова схема якого наведена на рис. 1. В РК на рис. 1 за рахунок раціонального використання пружно-в'язких властивостей демпфуючих камер вдається досягти стійкості і достатньої пропускну здатності водночас. Такий клапан поєднує найкращі властивості пружинного керування, передусім стійкість (але має значно більшу експлуатаційну гнучкість і більшу пропускну здатність), і електричного керування з електронним зворотнім зв'язком (але має вищу надійність, більш простий і дешевий).

Математична модель (ММ) роботи РК побудована на основі рівнянь теплового (енергетичного) балансу для незамкнених порожнин газу (Мамонтов М.А, Герц О.В., Крейнін Г.В.):

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність досліджень, сформульовано мету й задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення й особистий внесок автора.

У першому розділі зроблено аналіз конструкцій існуючих редукційних клапанів (РК) з різними

$$\left\{ \begin{array}{l}
1. \frac{dp_a}{dt} = \frac{k\sqrt{k \cdot R \cdot T_m}}{W_1} \left[f_1 \cdot p_m \cdot \varphi\left(\frac{p_a}{p_m}\right) - \mu_c \cdot \pi \cdot d_c \cdot h \cdot p_a \cdot \sqrt{\frac{T_a}{T_m}} \varphi\left(\frac{p_a}{p_a}\right) \right] - \frac{k\sqrt{k \cdot R \cdot T_m}}{W_2 + F \cdot z} f_2 \cdot s_3 \times \\
\times p_a \cdot \varphi\left(\frac{p_2}{p_a}\right); \\
2. \frac{dT_a}{dt} = \frac{T_a}{p_a} \frac{dp_a}{dt} - \frac{T_a^2 \sqrt{k \cdot R}}{p_a \cdot W_1} \left[f_2 \cdot p_2 \cdot s_4 \cdot \varphi\left(\frac{p_a}{p_2}\right) - \mu_c \cdot \pi \cdot d_c \cdot h \cdot \frac{p_a}{\sqrt{T_a}} \varphi\left(\frac{p_a}{p_a}\right) \right]; \\
3. \frac{dp_1}{dt} = \frac{k\sqrt{k \cdot R \cdot T_m}}{F(z_h - z)} \left[f_3 \cdot p_m \cdot z_k \cdot \varphi\left(\frac{p_1}{p_m}\right) - \sqrt{\frac{T_1}{T_m}} \cdot p_1 \cdot \varphi\left(\frac{p_a}{p_1}\right) (f_h^e + f_3 \cdot z_b) \right] + \frac{k \cdot p_1 \cdot F}{F(z_h - z)} \cdot \frac{dz}{dt}; \\
4. \frac{dT_1}{dt} = \frac{T_1}{p_1} \frac{dp_1}{dt} - \frac{T_1 \cdot F}{F(z_h - z)} \frac{dz}{dt} - \frac{T_1^2 \sqrt{k \cdot R}}{p_1 \cdot F(z_h - z)} \times \left[f_3 \cdot z_k \cdot p_m \frac{1}{\sqrt{T_m}} \varphi\left(\frac{p_1}{p_m}\right) - p_1 \frac{1}{\sqrt{T_1}} \varphi\left(\frac{p_a}{p_1}\right) \right] \times \\
\times (f_h^e + f_3 \cdot z_b); \\
5. \frac{dp_2}{dt} = \frac{k\sqrt{k \cdot R \cdot T_m}}{F(z_h + z)} \left[f_1 \cdot p_m \cdot \varphi\left(\frac{p_a}{p_m}\right) - f_2 \cdot p_a \cdot s_3 \cdot \varphi\left(\frac{p_2}{p_a}\right) \right] - \frac{k \cdot p_2 \cdot F_m}{F(z_h + z)} \frac{dz}{dt}; \\
6. \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_2}{p_2} \cdot \frac{dp_2}{dt} - \frac{T_a \cdot F}{F(z_h + z)} \cdot \frac{dz}{dt} - \frac{T_2^2 \sqrt{k \cdot R \cdot T_m}}{p_2 \cdot F(z_h + z)} \left[f_1 \cdot p_m \cdot \varphi\left(\frac{p_a}{p_m}\right) - f_2 \cdot s_4 \cdot \sqrt{T_m} \cdot \varphi\left(\frac{p_2}{p_a}\right) \right]; \\
7. \frac{dz}{dt} = v; \\
8. \frac{dv}{dt} = \frac{1}{m_s} (F \cdot p_2 - F \cdot p_1 - F_m); \\
9. \frac{dh}{dt} = v_1; \\
10. \frac{dv_1}{dt} = \frac{1}{m_{\text{я}}} (F_{em} - b_{\text{я}} v_1 - c_1 h - F_h); \\
11. \frac{dF_{em}}{dt} = \frac{R_k + R_y}{L_k} (k_{\text{FI}} I - F_{em}),
\end{array} \right. \quad (1)$$

де p – тиск; T – температура; h – відстань між соплом і заслінкою; $\varphi(x)$ – витратна функція; v – швидкість руху мембрани; h – ефективна площа мембрани; F_m – сила сухого тертя хвостовика клапана; L_k , R_k – відповідно індуктивний і активний опір катушки; R_y – внутрішній опір керуючого підсилювача. Таке подання процесів у елементах газових приводів є точнішим ніж апроксимація їх типовим термодинамічним процесом. Початкові умови p_{a0} , p_{10} , h_0 і z_{k0} залежать від параметрів перетворювача, тому вони розраховуються.

Суттєво нелінійним фактором, крім сили сухого тертя, є дискретна зміна маси клапанно-мембранного вузла при посадці нижнього клапана 1 у сидло і відкриття верхнього клапана викиду, а також дискретна зміна режиму витікання стисненого повітря з проточної камери на виході РК при цих умовах. Для опису вказаних факторів у ММ вводяться логічно-алгебраїчні модулі s_1 , s_2 , s_3 , s_4 :

$$s_1 = \frac{1 + \text{sign}(z - z_h)}{2}; \quad s_3 = \frac{1 + \text{sign}(p_2 - p_a)}{2} p_2 / (\sqrt{T_2})^{-1} - \frac{1 + \text{sign}(p_a - p_2)}{2} p_a / (\sqrt{T_a})^{-1}; \\
s_2 = \frac{1 + \text{sign}(z_h - z)}{2}; \quad s_4 = \frac{1 + \text{sign}(p_2 - p_a)}{2} p_2 / \sqrt{T_2} - \frac{1 + \text{sign}(p_a - p_2)}{2} p_a / \sqrt{T_a}.$$

Модулі s_3, s_4 описують процес дискретної зміни структури правих частин диференціальних рівнянь при переході від заповнення до спустошення порожнин РК і навпаки. Дискретна зміна маси мембранно-клапанного вузла і зазорів між верхнім та нижнім клапанами і сідлом визначається, наступним чином:

$$m_s = m_1 \cdot s_1 + m_2 \cdot s_2; \quad z_k = (z - z_n) s_1; \quad z_b = (z_n - z) s_2,$$

де m_1, m_2 – відповідно сумарна маса клапанного і мембранного блока і маса мембранного блока; z – поточне значення зміни висоти глухої надмембранної камери, z_n – висота глухої камери при повністю закритому дросельному клапані.

Рішення, отримані на основі системи (1) не дозволяють повністю оцінити вплив

$$\begin{cases} \Delta p_1 = \frac{1}{s} [k_1 \Delta h_k + k_2 \Delta p_1 + k_3 \Delta p_m + k_4 \Delta p_b]; \\ \Delta p_2 = \frac{1}{s} [k_5 \Delta p_a + k_6 \Delta p_2 + k_7 \Delta v]; \\ \Delta p_a = \frac{1}{s} [k_8 \Delta p_m + k_9 \Delta p_a + k_{10} \Delta p_b + k_{11} \Delta h + k_{12} \Delta p_2]; \\ \Delta h_k = \frac{1}{s} \Delta v; \\ \Delta v = \frac{1}{m_s \cdot s} [k_{15} \Delta p_2 + k_{16} \Delta p_1 + k_{14} \Delta h_k + k_{13} \Delta v + k_{17} \Delta p_m], \end{cases} \quad (2)$$

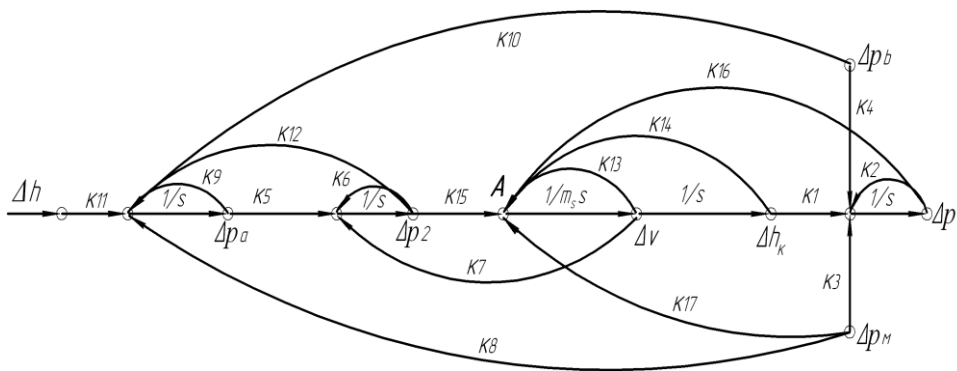
де $k_1 - k_{17}$ – коефіцієнти передач.

конструктивних параметрів на динамічні характеристики перетворювача, тому проведена лінеаризація шляхом розкладання в ряд Тейлора. Рівняння, що описують стан глухої камери лінеаризувалися шляхом заміни реальної характеристики не дотичними, а січними (2). При переході до лінійної моделі у якості припущень не враховувалась зміна температури у порожнинах перетворювача через значно більшу інерційність цього

процесу у порівнянні з процесом зміни тиску, а також вважалось, що електромагнітна частина є безінерційною.

Граф зв'язку, що відображає функціональні залежності лінійної моделі (рис. 2) дозволяє, застосувавши правило Мейсона, отримати передавальну функцію по відношенню до подачі одиничної східчастої дії $p_b(s) = 1/s$ у стандартній формі

$$\Phi_2(s) = \frac{a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0}{b_5 \cdot s^5 + b_4 \cdot s^4 + b_3 \cdot s^3 + b_2 \cdot s^2 + b_1 \cdot s + b_0}. \quad (3)$$



Аналогічним чином розроблена ММ для конструкції РК з підмембранною демпфуючою камерою, а також отримана її лінійна ММ, граф зв'язку і передавальна функція.

Для дослідження пружно-в'язкісних властивостей мембранно-клапанного вузла з надмембранною

Рис. 2. – Граф зв'язку лінійної моделі РК з надмембранною камерою

демпфуючою камерою (рис. 3) розроблено комбіновану систему рівнянь енергетичного балансу газу у надмембранній камері і рівноваги механічного аналога (рис. 3, б):

$$\begin{cases} \dot{p}_3 = -\frac{1}{\tau_1} p_3 - \frac{k \cdot p_{30}}{H} i; \\ c_1 (l_1 - l) = p_3 \cdot F, \end{cases} \quad (4)$$

де p_3 – тиск у глухій надмембранній камері; $\tau_1 = F \cdot H / (k \cdot R \cdot T \cdot \alpha)$ – постійна часу надмембранної камери; F – ефективна площа мембрани; H – висота надмембранної камери; k – показник адіабати; R – газова постійна; T – абсолютна температура повітря; α – провідність дроселя надмембранної камери; l – переміщення мембранного блока; c_1 – жорсткість пневмопружини; l_1 – прихована координата в моделі Максвелла.

Після переходу до перетворень Фур'є вводиться поняття комплексної жорсткості $c^*(\omega) = \text{Re } c^* + i \text{Im } c^* = \text{Re } e^{i\varphi}$ мембранно-клапанного вузла при гармонічному впливі на нього. Причому дійсна і уявна частини c^* :

$$\text{Re } c^* = \frac{\omega^2 (h_1 + \tau_1 \cdot c) \tau_1 + c}{1 + \omega^2 \cdot \tau_1^2}; \quad \text{Im } c^* = \frac{(h_1 + h) \omega + \tau_1^2 \cdot h \cdot \omega^3}{1 + \omega^2 \cdot \tau_1^2}. \quad (5)$$

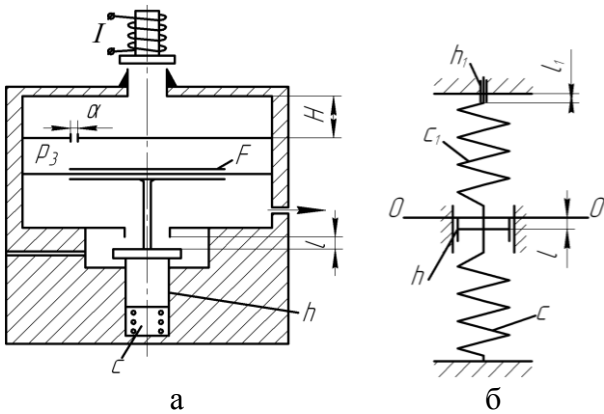


Рис. 3. – Розрахункова схема РК з електрокеруванням (а) та пружно-в'язкісна модель клапанно-мембранного блоку (б)

Енергія розсіяна клапанно-мембранним блоком за один період коливань визначається уявною частиною комплексної жорсткості (де A – амплітуда коливань):

$$E(\omega) = \pi \cdot A^2 \cdot \text{Im } c^*.$$

Таким чином, отримані моделі (1), (2) і (4) при відповідних початкових умовах дозволяють дослідити динамічні характеристики електропневматичних перетворювачів в усьому діапазоні їх зміни.

У **третьому розділі** визначено значення оптимальної частоти, при якій максимально розсіюється енергія коливань ($\bar{h} = h / h_1$), шляхом дослідження на екстремум функції $E(\omega^*)$:

$$\omega^* = \frac{1}{\tau_1} \sqrt{\frac{1 - 2\bar{h} \pm \sqrt{1 - 8\bar{h}}}{2\bar{h}}}, \quad (6)$$

При відповідному виборі параметрів мембранно-клапанного блоку і підмембранної демпфуючої камери можна досягти значення власної частоти коливань мембранно-клапанного блоку близької до ω^* , що забезпечує ефективне гасіння цих коливань. При відпрацюванні ж низькочастотних вимушених коливань такий РК буде мати мінімальну жорсткість, тобто високу пропускну здатність.

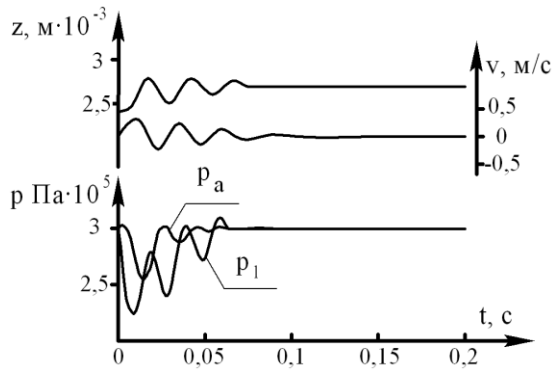


Рис. 4. – Числові нелінійні рішення у розмірному вигляді для РК з надмембранною демпфуючою камерою ($F = 0,22 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$, $d_\delta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $z_n = 0,24 \cdot 10^{-2} \text{ м}$)

Дослідження впливу конструктивних параметрів в усьому діапазоні їх зміни на динамічні характеристики РК проведені методом кореневого годографа.

Нульові портрети системи, що дають повну інформацію про динамічні характеристики, отримані при зміні площі мембрани (F), діаметра сідла клапана (d_k), об'єму навантажувальної лінії (камери на виході РК – W_0), ефективної площі навантажувальної лінії (f_n^e), діаметра дроселя у надмембранній камері (d_δ), діаметра сопла (d_c), висоти надмембранної і проточної камер (z_n і z_m). Один з таких портретів наведений на рис. 5.

Встановлено, що при роботі клапана з ударом об сідло результати лінійного аналізу найчастіше непридатні через їх значну відмінність від реальних нелінійних рішень. Для випадку безударної роботи клапана (яка має місце при стійкій роботі клапана і відносно невеликому початковому збуренні) похибка по частоті і декременту згасання складала $< 15\%$.

Проведений аналіз методом кореневого годографа показав, що зміна вказаних вище параметрів спричиняє значні переміщення домінуючого полюса в s -площині

Аналіз числових розрахунків нелінійної системи (1), виконаний методом Рунге-Куты (через залежність початкових умов p_{a0} , p_{10} , h_0 і z_{k0} від конструктивних параметрів вони розраховуються), дозволив зробити, по-перше, загальні висновки про вплив основних конструктивних параметрів на динамічні характеристики РК, по-друге – отримати еталонні рішення, необхідні для контролю достовірності результатів лінійного аналізу, по-третє – оцінити ступінь впливу суттєво-нелінійних характеристик РК. Встановлено недоцільність використання конструкції з підмембранною демпфуючою камерою і підтверджено висновки про принципову можливість досягнення стійкої роботи РК з надмембранною демпфуючою камерою, зроблені на основі дослідження пружно-в'язкісного механічного аналога (рис. 4).

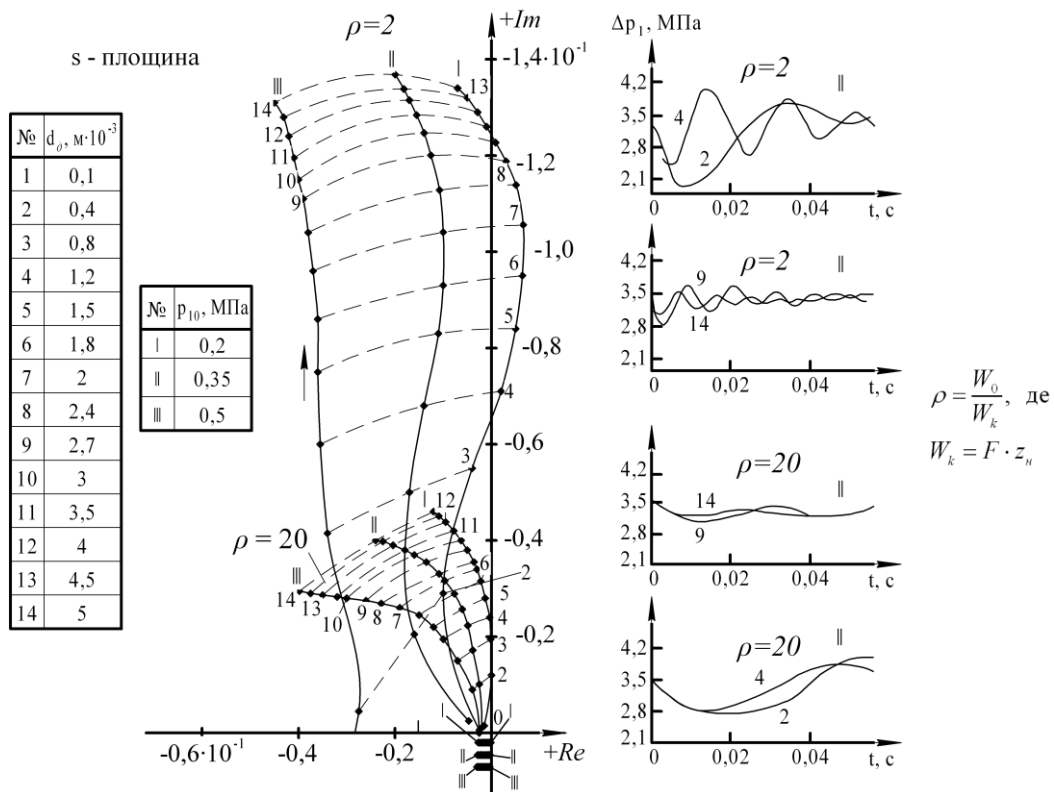


Рис. 5. – Траекторії домінуючих полюсів при зміні діаметра дроселя у надмембранну камеру d_o і тиску налаштування p_1 при різних значеннях навантажувального об'єму ρ

в усіх напрямках, а, отже, можливість ефективного динамічного синтезу РК за рахунок правильного вибору його конструктивних параметрів. Синтез оптимального РК з пропорційним електрокеруванням полягає в тому, щоб при одночасному збільшенні модуля уявної і дійсної частини домінуючого комплексного полюса домогтися приблизного співпадіння положення дійсного домінуючого полюса з абсцисою комплексного домінуючого полюса. РК з обраними таким чином конструктивними параметрами буде мати значну жорсткість при здійсненні власних високочастотних рухів, що сприяє їх затуханню, а при відпрацюванні збурень з боку виконавчого механізму, в спектрі яких відсутні високочастотні складові, цей РК має практично нульову жорсткість, що зумовлює його високу пропускну здатність.

Проведено оптимізацію за мінімумом інтегральної квадратичної оцінки процесу зміни тиску на виході РК для конкретних розмірів клапана з $D_v = 1/2''$:

$$I_0 = \int_0^{\infty} [h(\tau) - h(\infty)]^2 d\tau, \quad (7)$$

де $h(\tau)$ – перехідна функція для вихідної координати; $h(\infty)$ – усталене значення вихідної координати.

Мінімум інтегральної оцінки свідчить про найрашій, у розумінні наближення до східчастій функції, перехідний процес РК.

Для випадків, коли $m \leq n - 1$ (коли m – порядок полінома чисельника передавальної функції, n – порядок полінома знаменника) вираз для визначення I_0 має вигляд:

$$I_0 = (A_0 \cdot \Delta_0 + A_1 \cdot \Delta_1 + A_2 \cdot \Delta_2 + A_3 \cdot \Delta_3 + A_4 \cdot \Delta_4 - 2a_0 \cdot a_1 \cdot \Delta) / 2 \cdot b_5^2 \cdot \Delta, \quad (8)$$

де $A_0 = a_0^2$; $A_1 = a_1^2 - 2 \cdot a_0 \cdot a_2$; $A_2 = a_2^2 - 2 \cdot a_1 \cdot a_3 + 2 \cdot a_0 \cdot a_4$; $A_3 = a_3^2 - 2 \cdot a_2 \cdot a_4$; $A_4 = a_4^2$; Δ – старший визначник Гурвіца; $\Delta_v (v = 4, 3 \dots 0)$ – визначник, що виходить з Δ

заміною $\nu-1$ -го стовпця стовпцем $b_4 b_5 \dots 0$; a_0, \dots, a_4 , b_0, \dots, b_5 – значення коефіцієнтів передавальної функції.

Для оптимізації динамічних характеристик РК по мінімуму інтегральної квадратичної оцінки використовувався модифікований алгоритм Гауса-Зейделя. Запропонована в дисертації рекурентна формула для зміщення в просторі параметрів з попереднім визначенням областей розташування локальних оптимумів забезпечила досягнення надійного рішення. Результатом оптимізації є конкретні діапазони значень конструктивних параметрів, які рекомендовані для застосування (таблиця 1), що отримані при наступних обмеженнях: $z_m = (0,5 - 20) \cdot 10^{-3}$ м, $d_o = (1 - 6) \cdot 10^{-3}$ м, $d_c = (0,5 - 10) \cdot 10^{-3}$ м, $F = (5 - 30) \cdot 10^{-2}$ м², $z_n = (1 - 10) \cdot 10^{-3}$ м, $d_k = (0,5 - 5) \cdot 10^{-2}$ м, $W_0 = (0,1 - 1) \cdot 10^{-4}$ м³.

Таблиця 1 – Розрахунок оптимальних конструктивних параметрів РК

№	$z_m \cdot 10^{-3}$	$d_o \cdot 10^{-3}$	$d_c \cdot 10^{-3}$	$F \cdot 10^{-2}$	$z_n \cdot 10^{-3}$	$d_k \cdot 10^{-2}$	$W_0 \cdot 10^{-4}$	Параметри	
	м	м	м	м ²	м	м	м ³		
1	12	6	7	28	5	1,2	0,1	Межі зміни	верхня
	2	1	2	13	5	1,2	0,1		нижня
	5	2,75	3,43	14	5	1,2	0,1	Оптимальне значення	
2	12	6	7	28	12	1,2	0,1	Межі зміни	верхня
	2	1	2	13	2	1,2	0,1		нижня
	5	5	4	14	4	1,2	0,1	Оптимальне значення	
3	12	6	7	28	12	1,2	0,2	Межі зміни	верхня
	2	1	2	13	2	1,2	0,2		нижня
	5	5	4,2	14	5	1,2	0,2	Оптимальне значення	
4	12	6	6	28	12	1,2	1	Межі зміни	верхня
	2	1	2	13	2	1,2	1		нижня
	6,35	5	4,6	14	5	1,2	1	Оптимальне значення	
5	0,5	6	7	28	12	2,5	0,2	Межі зміни	верхня
	5	1	2	13	2	1,0	0,2		нижня
	5	5	4,5	14	5	1,21	0,2	Оптимальне значення	
6	5	6	7	28	12	2,5	0,2	Межі зміни	верхня
	5	1	2	13	2	1,0	0,2		нижня
	5	5	2,75	14	5	2,08	0,2	Оптимальне значення	

У **четвертому розділі** досліджена робота електропневматичного перетворювача у пневматичних системах шліфувально-обдирної машини (ШОМ) і машини точкового зварювання (МТЗ) і показана ефективність використання розробленого перетворювача в електропневматичних агрегатах, де потрібне узгодження параметрів електричної частини агрегата з параметрами його пневматичної частини.

Так в ШОМ фірми "CentroMaskin" (Швеція), яка використовується для фінішної антикорозійної обробки металопродукції високосортної сталі, застосовується дискретна система керування, побудована на релейних пневморозподільниках, дроселях і редукційних клапанах (рис. 7). Її недоліками є складність для налаштування, грубе слідкування зусилля притиску за струмом електродвигуна, велика інерційність, висока чутливість до налаштування параметрів. Всі ці недоліки вдається подолати шляхом заміни системи керування, наведеної на рис. 7 одним електропневматичним РК з пропорційним електрокеруванням (рис. 10).

Блок-схему системи автоматичного регулювання зусилля притиску шліфувального кола в режимі зачистки наведено на рис. 9 (k_{PD} – коефіцієнт передачі регулятора тиску з електрокеруванням; $k_{ПЦ}$ – коефіцієнт передачі по підсиленню пневмоциліндра; R_{KP} – радіус

шліфувального кола; $k_{эл}$ – коефіцієнт передачі по навантаженню електромотора; $k_{ос}$ – коефіцієнт підсилення зворотнього зв'язку). Система регулювання, що ґрунтується на використанні аналогового електропневматичного перетворювача, дозволяє відстежувати навантаження на

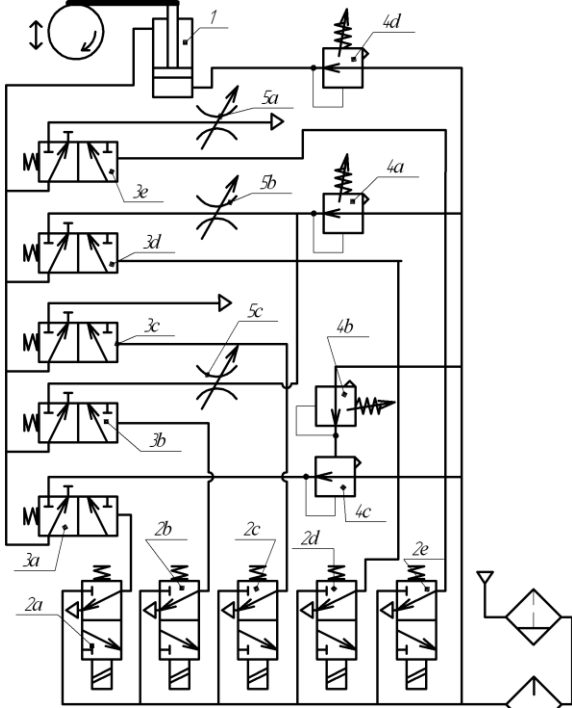


Рис. 7. – Пневматична схема керування пневмоциліндром шліфувальної бабки (прототип)

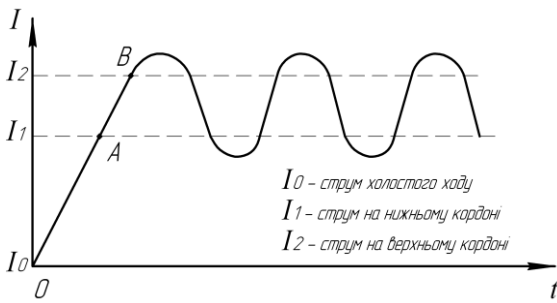


Рис.8. – Струм електромотора

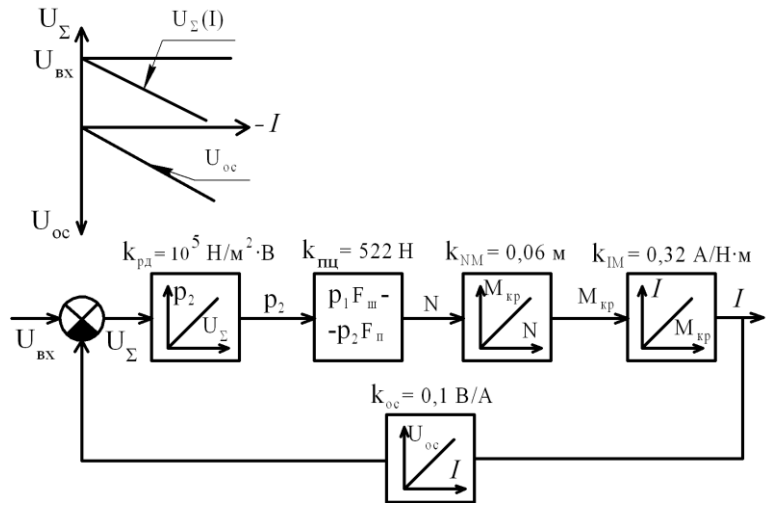


Рис.9. – Блок-схема замкненої системи безперервного керування в режимі зачистки

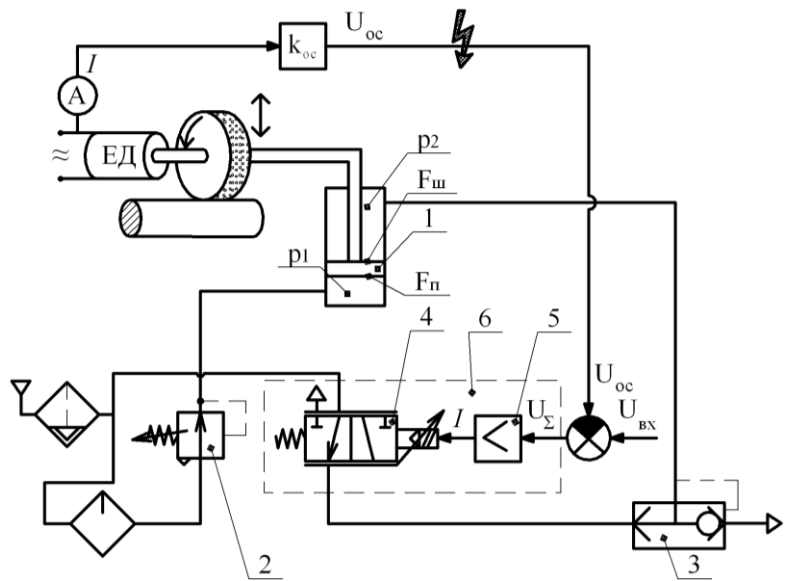


Рис.10. – Пневматична система керування циліндром шліфувальної бабки з використанням аналогового електропневматичного перетворювача

шліфувальному колі по струму електромотора і пропорційно цьому змінювати зусилля притиску кола до заготівки.

Дослідження функціонування РК з електрокеруванням у системі пневмоагрегата проводилось як у розмірній, так і у безрозмірній формах. ММ (9), що відображає спільне функціонування пневмоагрегата і РК з пропорційним електрокеруванням будувалася на основі термодинамічних залежностей тіла змінної маси для повітря в глухих і проточних порожнинах РК (Мамонтов Н.А, Герц Е.В., Крейнін Г.В.), а також рівнянь динамічної рівноваги клапанно-мембранного блока.

$$\begin{aligned}
1. \quad \frac{d\sigma_1}{d\tau} &= \frac{k}{\rho_1} \left[(1-\gamma_1)\sigma_m \varphi(\sigma_m, \sigma_1) - \sigma_1 \eta_1 q_1 \varphi(\sigma_1, \sigma_\epsilon) + \eta_2 \sqrt{\theta_1} \sigma_1 \frac{d\gamma_1}{d\tau} \right]; \\
2. \quad \frac{d\theta_1}{d\tau} &= \frac{\theta_1}{\sigma_1} \frac{d\sigma_1}{d\tau} - \frac{\theta_1^2}{\sigma_1 \rho_1} \left[\sigma_1 (1-\gamma_1) \varphi(\sigma_m, \sigma_1) - \sigma_1 \eta_1 q_2 \varphi(\sigma_1, \sigma_m) - \eta_2 \frac{\sigma_1}{\sqrt{\theta_1}} \varphi(\sigma_1, \sigma_\epsilon) \right]; \\
3. \quad \frac{d\sigma_2}{d\tau} &= \frac{k}{\gamma_1} \left[\text{sign}(\sigma_a - \sigma_m) \sigma_m - \text{sign}(\sigma_a - \sigma_2) \eta_1 q_2 \varphi(\sigma_a, \sigma_2) - \sigma_2 \frac{d\gamma_1}{d\tau} \right]; \\
4. \quad \frac{d\sigma_a}{d\tau} &= \frac{k}{\delta + 1 - \gamma_1} \left[\sigma_m \varphi(\sigma_m, \sigma_a) - \sigma_a \sqrt{\theta_a} \eta_3 \varphi(\sigma_a, \sigma_\epsilon) - \text{sign}(\sigma_a - \sigma_\epsilon) \sigma_a \eta_2 q_1 \varphi(\sigma_a, \sigma_\epsilon) \right]; \\
5. \quad \frac{d\gamma_1}{d\tau} &= S_1; \\
6. \quad \frac{dS_1}{d\tau} &= \frac{1}{\beta} \left[\Pi_p (\sigma_m - \sigma_1) + \sigma_2 - \sigma_a + \chi_p \right] - 2\xi \omega S_1 + \omega^2 (1 - \gamma_1); \\
7. \quad \frac{d\sigma_4}{d\tau} &= \frac{k}{1 + \gamma_{20} - \gamma_2} \left[\sigma_4 \frac{d\gamma_2}{d\tau} - \frac{\sigma_5^{1.14}}{\Pi} \Omega \varphi(\sigma_4, \sigma_5) \right]; \\
8. \quad \frac{d\sigma_5}{d\tau} &= \frac{k}{\gamma_{20} + \gamma_2} \left[\sqrt{\theta_1} \sigma_1 \varphi(\sigma_1, \sigma_5) - \sigma_5 \frac{d\gamma_2}{d\tau} \right]; \\
9. \quad \frac{d\gamma_2}{d\tau} &= S_2; \\
10. \quad \frac{dS_2}{d\tau} &= \frac{1}{\beta_1} [\sigma_4 - \Pi \sigma_5 + \chi].
\end{aligned} \tag{9}$$

Перехід до безрозмірної форми здійснено на основі принципу аналогічності тепломеханічних систем за способом Вишнеградського-Воронова-Мамонтова з урахуванням доповнень Хантлі, що дозволяє звести число незалежних змінних у диференціальних рівняннях до мінімальної кількості критеріїв динамічної подібності.

Перші шість рівнянь описують зміну тиску у проточній порожнині на виході РК ($\dot{\sigma}_1$), зміну температури в тій самій порожнині ($\dot{\theta}_1$), зміну тиску в глухій надмембранній камері ($\dot{\sigma}_2$) і проточній надмембранній камері ($\dot{\sigma}_a$), зміну висоти підмембранної камери ($\dot{\gamma}_1$), зміну швидкості переміщення мембранного блока (\dot{S}_1).

Основні критерії подібності для окремо взятого двостороннього пневмопривода при динамічному аналізі: *параметр* β ($\beta = m \cdot x_6 / t_6^2 \cdot F \cdot p_{16}$ – критерій інерційності РК (безрозмірна маса), що чисельно дорівнює відношенню сили інерції при базовому прискоренні (x_6 / t_6^2) до максимальної сили, яку розвиває клапан; $\beta_1 = m \cdot L / t_6^2 \cdot F_{\Pi} \cdot p_{16}$ – критерій інерційності пневмоциліндра), *відносно*

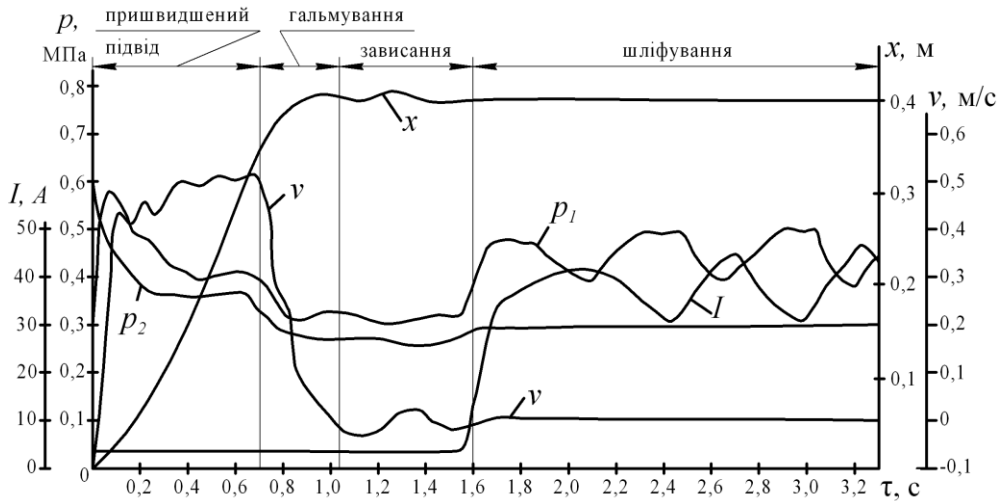


Рис. 11. – Результати чисельного вирішення системи рівнянь для пневмоагрегата з дискретним регулюванням

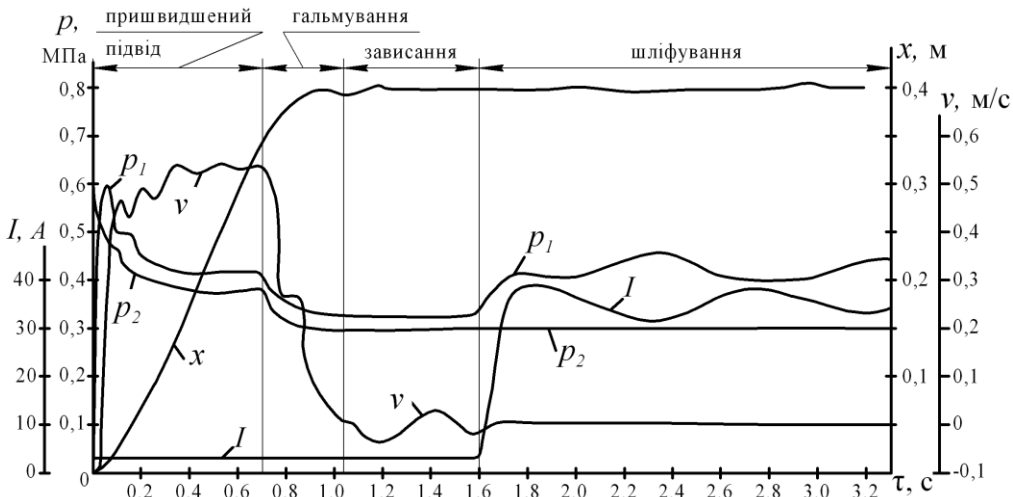


Рис. 12. – Результати чисельного вирішення системи рівнянь для пневмоагрегата з РК з пропорційним електрокеруванням

спрощується саме налаштування системи.

Аналіз роботи РК з електричним керуванням в системі пневмоагрегата машини точкового зварювання (МТЗ) проведений на основі нелінійної ММ (9).

Пневматична схема привода МТЗ наведена на рис. 13. При заміні РК з пружинним керуванням в МТЗ на РК з пропорційним електрокеруванням забезпечується підвищення експлуатаційної гнучкості (зусилля притиску електрода в автоматичному режимі може узгоджуватися з током зварювання) і суттєве підвищення швидкодії системи.

Для визначення області найраціональнішого використання РК з пропорційним електрокеруванням результати досліджень узагальнені у вигляді графіків залежності безрозмірного часу спрацювання по зусиллю від основних критеріїв динамічної подібності (рис. 14). Це дозволило встановити наступне:

1. Найбільший ефект від заміни РК з пружинним керуванням РК з пропорційним електрокеруванням досягається при малих значеннях Ω (при оцінювані по транспортному часу спрацювання привода) і при великих значеннях Ω

статичне навантаження

$\chi = P / p_{16} \cdot F$ і відносна ефективна площа вихлопного тракту $\Omega = f_2^3 / f_1^3$.

Порівняльні дослідження на ПЕОМ (рис. 11-12) показали, що перехід від дискретної до запропонованої аналогової системи дозволяє суттєво покращити найважливіший експлуатаційний показник ШОМ, який визначає якість шліфування – амплітуду коливань струму електродвигуна. Так, при умовах функціонування, що відповідають перехідним процесам на рис.11-12, у аналогової системи амплітуда коливань склала 5 А, а у дискретної – 13 А. Крім того, значно

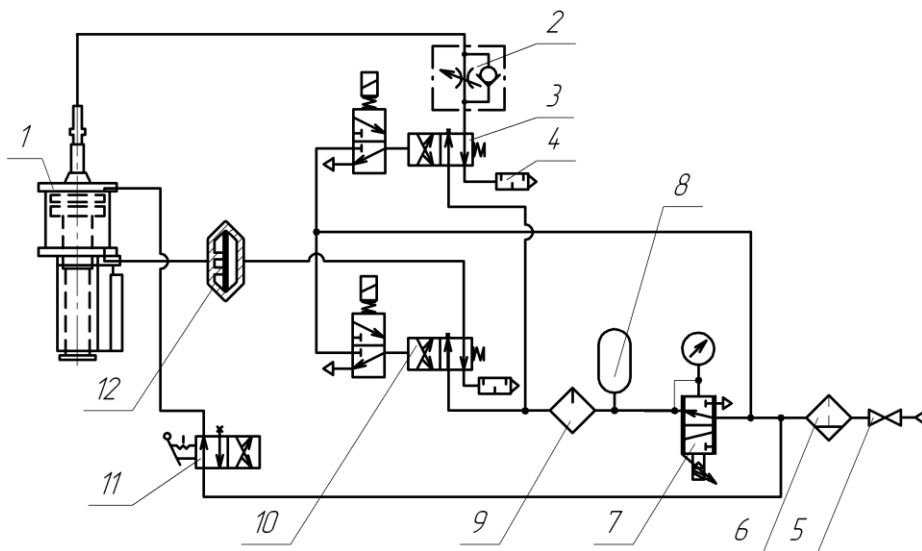


Рис.13. – Пневматична схема привода машини точкового зварювання

- 1 – пневмоциліндр;
- 2 – пневмозамок;
- 3, 10 – трилінійні пневморозподільники з електричним керуванням;
- 4 – глушник;
- 5 – запірний вентиль;
- 6 – фільтр-вогловіддільник;
- 7 – РК з пропорційним електрокеруванням;
- 8 – проміжний ресивер;
- 9 – маслорозпилювач;
- 12 – мембранний вихлопний клапан;
- 11 – кран з ручним керуванням.

(при оцінюванні по повному часу спрацювання).

2. Для умов, характерних для швидкодіючих притискних пневмоагрегатів (МТЗ, шліфувально-обдирна машина), заміна РК з пружинним керуванням клапаном з пропорційним електрокеруванням дозволяє скоротити повний час спрацювання привода у 1,5 – 2,2 рази.

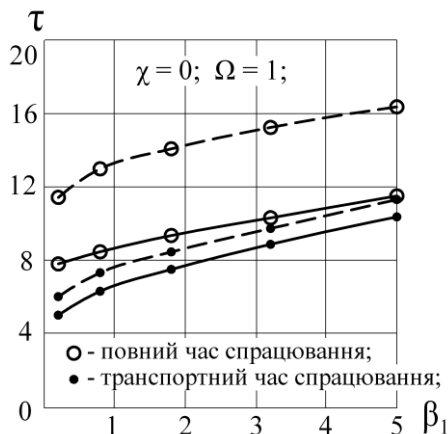


Рис. 14 – Графік залежності безрозмірного часу спрацювання пневмоагрегата, де встановлений РК з пружинним (пунктиром) і електричним керуванням, від конструктивних параметрів

3. Час спрацювання пневмоагрегата, де встановлений РК з електрокеруванням, практично не залежить від конструктивного параметра β (навідміну від пружинних РК), що дозволяє зменшити габарити таких РК порівняно з аналогічними пружинними РК.

4. Область раціонального використання РК з електрокеруванням лежить у межах: $2 < \beta < 5$, $1 < \Omega < 2$ і $0 < \chi < 0,3$.

У п'ятому розділі викладені результати експериментальних досліджень РК з пропорційним електрокеруванням, основні задачі яких були пов'язані, по-перше, з перевіркою вірогідності результатів, отриманих шляхом розрахунку; по-друге – з визначенням тих коефіцієнтів і залежностей ММ, які неможливо визначити ні шляхом розрахунку, ні з довідкових даних; а також підтвердженням основних висновків, зроблених на основі теоретичного аналізу.

Для виміру і запису параметрів перехідного процесу стенд оснащений комплектом давачів і вимірювальної апаратури для осцилографування. Виконувалися виміри і запис тиску на виході РК, переміщення клапана РК і клапана повітрерозподільника.

Для визначення коефіцієнта в'язкого тертя (f), сили сухого тертя (F_{m0}) у клапанно-мембранному блоці РК, а також аеродинамічної сили (F_a) на клапані зібрана установка, де в якості вимірювача використовувалась мембрана і шток випробовуваного РК. Використання мембрани в якості метрологічного елемента вимагало її градування, яке виконувалось за

методикою Водяника В.І. і полягало у побудові кривих $F(l, \Delta p)$ (Δp – перепад тисків на мембрані). При вимірюванні F_{m0} , f і F_a використовувався принцип силової компенсації, при якому зміна зусилля на штоці клапанно-мембранного вузла компенсувалася за рахунок зміни перепаду тиску на мембрані.

Через те, що сила сухого тертя у клапанно-мембранному блоці залежить від багатьох факторів, у тому числі і технологічного характеру, результати досліджень по визначенню F_{m0} усереднювалися, і при розрахунках на ПЕОМ цей параметр вводився як середнестатистичне значення ($F_{m0} = 20$ Н).

Для визначення коефіцієнта в'язкого тертя клапанно-мембранного блока використано тензометричний давач тиску у підмембранній камері і індуктивний давач переміщення клапанно-мембранного блока. Встановлено, що зі збільшенням тиску налаштування і зі зменшенням швидкості переміщення величина f зростає.

При визначенні впливу потоку на клапан визначалася сумарна осьова сила, що включає в себе аеростатичну і аеродинамічну складові. Величину осьової сили при повністю закритому клапані можна приблизно визначити як $\psi(p_1 - p_2)$, де ψ – нерозвантажена площа клапана. Тоді залежність осьової сили від висоти підйому клапана l при постійному відношенні тисків, яка, за даними експеримента, в робочому діапазоні значень l близька до лінійної спадної функції, дозволяє навести дію цієї сили як дію фіктивної пружини з попереднім зтисненням $\psi(p_1 - p_2)$ і жорсткістю $c_F(p_1 / p_2)$: $F_a = \psi(p_1 - p_2) - c_F(i) \cdot l$.

При експериментальному дослідженні перехідних характеристик РК з пропорційним електрокеруванням крім параметрів РК в широких межах змінювались умови його функціонування. Порівняння осцилограм перехідного процесу РК з електрокеруванням з числовими рішеннями для нелінійної динамічної моделі вказують на цілком задовільне їх співпадіння. Найбільші розбіжності мали місце для автоколивальних режимів з ударом клапана об сідло (похибка по частоті – 15%, похибка по амплітуді – 25-30%).

У тому діапазоні зміни конструктивних параметрів, який забезпечував експериментальний макет РК з пропорційним електрокеруванням, були підтверджені висновки, зроблені на основі лінійного аналізу про характер впливу конструктивних параметрів і умов функціонування на динамічні характеристики РК. При порівняльних випробуваннях за даними осцилограм визначались амплітуда коливань тиску на виході РК, декремент загасання цих коливань на радіан власної частоти і за одиницю часу, а також частота коливань при одному і тому ж виді і величині збурюючого впливу. Порівняння розрахункових кривих перехідного процесу з експериментальними осцилограмами показує цілком задовільне їх співпадіння, яке не виходить за межі 10%.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу обґрунтування принципів побудови електропневматичних перетворювачів, для яких динамічна стабільність, швидкодія та точність забезпечується за рахунок використання пружно-в'язкісних властивостей проточних і глухих камер, а також газомеханічних процесів в дроселюючих трактах.

1. Аналіз науково-технічних джерел показує, що для успішного створення гібридних електропневматичних систем, в яких поєднуються великі функціональні можливості мікропроцесорного керування і екологічно чистого силового пневмоагрегата необхідна розробка достатньо точних, надійних і порівняно дешевих електропневматичних перетворювачів.

2. Розроблено і обґрунтовано конструктивну схему пропорційного електропневматичного редуційного клапана, який займає проміжне положення між редуційним клапаном з ручним

пружинним керуванням, недоліком якого є неможливість використання в системах електронного керування і електропневматичним перетворювачем з електронним контуром зворотнього зв'язку, недоліком якого є дорожнеча, ускладнене налаштування і нижча надійність.

3. В результаті досліджень пружно-в'язкісних властивостей надмембранної демпфуючої камери, як основного стабілізуючого елемента, доведено принципову можливість створення стійких перетворювачів, які використовують лише пневмомеханічний зворотній зв'язок.

4. Розроблено нелінійну математичну модель роботи редуційного клапана з пропорційним електрокеруванням, що ґрунтується на термодинамічних залежностях тіла змінної маси, а також лінійну модель, що поєднує лінеаризацію як методом дотичних, так і методом січних.

5. На основі аналізу числових рішень для нелінійної моделі, а також характеру нульових портретів лінійної моделі, що охоплюють увесь діапазон зміни конструктивних і налаштувальних параметрів, отримана повна і адекватна картина впливу цих параметрів на динамічні характеристики редуційного клапана.

6. На основі розроблених моделей проведено параметричну оптимізацію, в результаті якої встановлені конкретні геометричні параметри, які забезпечують найкращу якість перехідного процесу і найбільшу пропускну спроможність перетворювача.

7. Для дослідження роботи редуційного клапана з електрокеруванням у системі пневмоагрегата розроблено нелінійну математичну модель системи "редуційний клапан-пневмоагрегат", яку приведено до безрозмірної форми з виділенням мінімальної кількості незалежних параметрів – критеріїв динамічної подібності.

8. Обґрунтовано доцільність заміни дискретної пневматичної системи керування шліфувально-обдирною машиною на аналогову систему на базі електропневматичного перетворювача, що забезпечує зниження амплітуди коливань струму електродвигуна (а, отже і якості зачистки заготовки) у 2-2,5 рази.

9. Використання при дослідженнях математичної моделі пневмоагрегата машини точкового зварювання у безрозмірній формі дозволило визначити в області критеріїв динамічної подібності межі раціонального використання редуційного клапана з електропневматичним керуванням.

10. Показано, що при тих умовах функціонування, які характерні для пневмоагрегатів машини точкового зварювання встановлення пневматичного редуційного клапана з електрокеруванням замість традиційно використовуваного редуційного клапана з пружинним керуванням дозволяє скоротити повний час спрацювання робочого органа пневмоагрегата при підводі електродів у 1,5-2,2 рази.

11. Результати дисертаційної роботи впроваджені в корпоративі «Гідроелекс» (м. Харків, акт впровадження від 10.11.2012 р.), ТОВ «Крановий електропривід» (м. Харків, акт впровадження від 22.10.2012 р.) і в навчальний процес кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ «ХПІ» (акт впровадження від 18.11.12 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пономаренко М.Г. (Стрижак М.Г.) Аналіз статичної точності пневматичного редуційного клапана / Г.А. Крутіков, М.Г. Пономаренко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2008. – № 22. – С. 76-84.

Здобувач уперше отримала статичну модель пневматичного редуційного клапана, на основі якої сформулювала способи зниження статичної чутливості.

2. Пономаренко М.Г. (Стрижак М.Г.) До питання стабілізації тиску у швидкодіючих пневмоприводах / Г.А. Крутіков, М.Г. Пономаренко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2010. – № 54. – С. 71-76.

Здобувачем розглянута можливість використання у швидкодіючих пневмоприводах редуційних клапанів з пропорційним електрокеруванням.

3. Пономаренко М.Г. (Стрижак М.Г.) Пути стабилизации давления в быстродействующих пневмоприводах / Г.А. Крутіков, М.Г. Пономаренко // Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДВНЗ "ДонНТУ". – 2010. – Вип. 19(175). – С. 90-97.

Здобувачем розглянуті пружні та демпфуючі властивості редуційного клапана з електрокеруванням як системи стабілізації тиску пневноагрегатах.

4. Пономаренко М.Г. (Стрижак М.Г.) Дослідження роботи редуційного клапана з пропорційним електрокеруванням в системі шліфувально – обдирної машини / Г.А. Крутіков, М.Г. Пономаренко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2010. – № 25. – С. 33-40.

Здобувачем здійснена заміна дискретної системи керування пневмоциліндром шліфувально-обдирної машини прецизійною аналоговою системою, що ґрунтується на електропневматичному перетворювачі.

5. Стрижак М.Г. Дослідження мехатронних перетворювачів методом кореневого годографа / Г. А. Крутіков, М.Г. Стрижак // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. - № 1(21). – С. 141-150.

Здобувачем отримана нелінійна математична модель РК з пропорційним електрокеруванням і, на основі розрахованих перехідних процесів, зроблені висновки про вплив підмембранної і надмембранної камер на динамічні характеристики РК.

6. Стрижак М.Г. Лінеаризація звена "Дросель–глуха камера" електропневматичного перетворювача з пропорційним електрокеруванням методом дотичних / Г.А. Крутіков, М.Г. Стрижак // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 40. – С. 119-123.

Здобувач розробила методика лінеаризації глухої камери РК методом дотичних, а не січних, завдяки чому вдається створити досить точний лінійний аналог.

7. Стрижак М.Г. Оптимізація конструктивних параметрів мехатронних перетворювачів / Г.А. Крутіков, М.Г. Стрижак // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця, 2012. – № 1(35). – С. 59-63.

Здобувачем була здійснена оптимізація конструктивних параметрів РК за методом інтегральних квадратичних оцінок і визначені діапазони зміни розмірів клапана, в яких він залишається стійким.

8. Стрижак М.Г. Определение областей устойчивости аналогового электропневматического преобразователя в пространстве его конструктивных параметров / Г.А. Крутиков, М.Г. Стрижак // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 9. – С. 16-21.

Здобувач дослідила пружно-в'язкісну систему РК, на основі якої за методом D-розбиття визначила області стійкої роботи.

9. Стрижак М. Г. Влияние конструктивных параметров мехатронных преобразователей на их динамические характеристики / Стрижак М.Г., Крутиков Г.А. // Тексты докладов 15 Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов: декабрь 2011 г. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана. – С. 217-229.

Здобувач отримала лінійну математичну модель, граф зв'язку і передавальну функцію РК, провела дослідження впливу конструктивних параметрів клапана на його динамічні характеристики методом кореневого годографа.

10. Пономаренко М.Г. (Стрижак М.Г.) Оптимізація конструктивних параметрів електропневматичних перетворювачів / Пономаренко М.Г., Крутіков Г.А. // Тези доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції: 12-14 травня 2010 р., у 4-х частинах. – Ч. II. – Харків: НТУ "ХПІ". – С. 145.

Здобувачем уперше запропоновано використати інтегральні квадратичні оцінки для оптимізації електропневматичних перетворювачів.

11. Стрижак М.Г. Методика дослідження лінійної моделі електропневматичних перетворювачів / Стрижак М.Г., Крутіков Г.А. // Тези доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції: 01-03 червня 2011 р., у 4-х частинах. – Ч. II. – Харків: НТУ "ХПІ". – С. 127.

Здобувачем обґрунтовано вибір методика дослідження лінійної моделі РК методом кореневого годографа.

12. Стрижак М.Г. Оптимізація динамічних характеристик електропневматичних перетворювачів / Стрижак М.Г., Крутіков Г.А. // Тези доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції: 15-17 травня 2012, у 4-х частинах. – Ч. II. – Харків: НТУ "ХПІ". – С. 118.

Здобувачем сформульована задача досягнення оптимальних динамічних характеристик РК з пропорційним електрокеруванням.

АНОТАЦІЇ

Стрижак М.Г. Обґрунтування структури і параметрів електропневматичних перетворювачів пневмоагрегатів технологічного устаткування. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2012.

Дисертація присвячена обґрунтуванню структури і параметрів електропневматичних перетворювачів пневмоагрегатів технологічного устаткування, розробці і дослідженню їх оптимальної, з точки зору досягнення найвищих швидкодії, пропускної здатності і запасу стійкості водночас, конструкції, дослідженню впливу конструктивних параметрів перетворювача на його динамічні характеристики. Мета дослідження – теоретичне і експериментальне обґрунтування нових принципів побудови електропневматичних перетворювачів, динамічна стабільність, швидкодія і точність яких забезпечується за рахунок ефективного використання пружно-в'язкісних властивостей проточних і глухих камер, а також газомеханічних процесів в їх дроселюючих трактах.

У роботі досліджено електропневматичний редуційний клапан з пропорційним електрокеруванням: розроблені нелінійні та лінеаризовані математичні моделі, що дозволили вивчити вплив конструктивних параметрів на динамічні характеристики, проведена параметрична оптимізація. Результатом є стійкий і надійний електропневматичний редуційний клапан, стабільність в якому досягається за рахунок оптимальної структури і параметрів, без використання додаткових електронних контурів зворотнього зв'язку.

Ключові слова: електропневматичний перетворювач, пропорційне електрокерування, редуційний клапан, пневмоагрегат.

Стрижак М.Г. Обоснование структуры и параметров электропневматических преобразователей пневмоагрегатов технологического оборудования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2012.

Анализ существующих конструкций электропневматических преобразователей показал, что для достижения устойчивости в таких преобразователях чаще всего используются дополнительные электронные контуры, содержащие электронную обратную связь. В диссертационной работе исследованы пропорциональные редуцирующие клапаны без датчика давления и электронных контуров обратной связи, устойчивость в которых достигается за счёт использования только пневмомеханической обратной связи и упруго-вязкостных свойств глухих и проточных камер, а также дроселирующих трактов.

В работе обоснована структура и параметры электропневматических преобразователей пневмоагрегатов технологического оборудования, разработана и исследована оптимальная, с точки зрения достижения наивысших быстродействия, пропускной способности и запаса устойчивости одновременно, конструкция электропневматических преобразователей, исследовано влияние конструктивных параметров преобразователя на его динамические характеристики. Цель исследования – теоретическое и экспериментальное обоснование новых принципов построения электропневматических преобразователей, динамическая стабильность, быстродействие и точность которых обеспечивается за счёт эффективного использования упруго-вязкостных

свойств проточных и глухих камер, а также газомеханических процессов в их дросселирующих трактах.

Разработаны нелинейная и линеаризованная математические модели, которые позволили изучить влияние конструктивных параметров на динамические характеристики электропневматических преобразователей. В результате исследований упруго-вязкостных свойств надмембранной демпфирующей камеры доказана принципиальная возможность создания устойчивых преобразователей, которые используют только пневмомеханическую обратную связь. Проведена параметрическая оптимизация методом интегральных квадратичных оценок. Результатом является электропневматический редуционный клапан, стабильность в котором достигается за счёт оптимальной структуры и параметров, без использования дополнительных электронных контуров обратной связи.

Ключевые слова: электропневматический преобразователь, пропорциональное электроуправление, редуционный клапан, пневмоагрегат.

M. Strizhak. Justification of structure and parameters of electropneumatic converters for pneumatic units of processing equipment. – Manuscript.

Thesis for competition of scientific degree of candidate's of technical science on speciality 05.05.17 - hydraulic machines and hydropneumatic units. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2012.

The thesis deals with the justification of structure and parameters of electropneumatic converters for pneumatic units of processing equipment, development and research optimum, from the point of view of achievement of high speed, capacity and a stability stock at the same time, their design, to in-depth study of influence of design data of the converter on its dynamic characteristics. The research objective - theoretical and experimental justification of the new principles of creation of electropneumatic converters, dynamic stability, speed and which accuracy is provided at the expense of effective use of elastic and viscous properties of flowing and deaf cameras, and also the gas-mechanical processes in their throttling lines.

In work the electric air reducing valve with proportional electromanagements is investigated: the nonlinear and linearized mathematical models allowed to study influence of design data on dynamic characteristics are developed; parametrical optimization is performed. The steady and reliable electropneumatic reducing valve stability in which is reached at the expense of optimum structure and parameters, without use of additional electronic contours of feedback is developed.

Key words: electropneumatic converter, proportional electromanagement, reducing valve, pneumatic unit

Відповідальний за випуск
д.т.н., проф. кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ “ХП”
Андренко П.М.

Підписано до друку 22.02.2013 р. Формат 60x84/16.
Папір офсетн. Друк – різнографічний. Умовн. друк. арк. 0,9
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Замовлення №

Надруковано у ФО-П Миронов М.В.

Свідоцтво ВО 4 № 022953 від 24.04.2003 р.

61002, м. Харків, вул. Червонопрапорна, 3
