

В.П. Пурдик, канд. техн. наук,

О.Л. Брицький

Вінницький національний технічний університет,

Вінниця, Україна

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕГУЛЯТОРА ВИТРАТИ З РОБОЧИМ ОРГАНОМ ІЗ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

*Выполнено имитационное исследование регулятора расхода с рабочим органом из полимерного материала, исследованы динамические процессы регулирования расхода жидкости.*

*The simulation study the flow controller with a working body of polymeric material studied dynamical processes control the flow of liquid.*

### Вступ

У переважній більшості приводів технологічних машин та автоматизованих ліній різних галузей промисловості є необхідність регулювання швидкості виконавчих органів або середовища, що є предметом виробництва чи постачання. Для реалізації такої задачі використовуються регулятори витрати, які забезпечують постійне значення величини потоку незалежно від зміни робочих режимів. Конструктивно існуючі регулятори [1, 2], як правило, містять у якості робочих органів точні спряжені елементи (золотникові пари, клапанні елементи тощо). Це призводить до ускладнення конструкції та технології їх виготовлення і ремонту, а також знижує надійність роботи з причини чутливості до чистоти робочої рідини або середовища, що є предметом регулювання.

Значною мірою ліквідувати негативні фактори на роботу регулятора витрати дозволяє використання нетрадиційних конструкцій робочих органів, виготовлених із полімерних матеріалів [3, 4]. Оскільки цей напрямок техніки недостатньо вивчено, є актуальними розробки методів розрахунку характеристик полімерних робочих органів, а також статичних та динамічних характеристик самого регулятора на основі всебічного дослідження особливостей його функціонування у реальних конструкціях технологічних машин.

### Основні результати дослідження

Розроблено конструктивну схему регулятора витрати з полімерним робочим органом, яку зображено на рисунку 1. Вона складається з корпусів 1 та 2, на корпусі 1 жорстко закріплено робочий орган 3 у вигляді тонкостінної циліндричної оболонки. Також у корпусі міститься постійний дросель 6. На внутрішній поверхні корпусу 2 розміщено кільцеві виступи 4, які формують змінний дросель із зовнішньою поверхнею полімерного робочого органа, який є кільцевим зазором, зв'язаним із вихідним каналом 5.

У сталому режимі регулятор витрати підтримує необхідну задану постійну витрату на виході. При

подачі на вихід регулятора витрати збурюючої дії виникає перепад тиску на дроселі 6, що призводить до порушення рівноваги сил на робочому органі 3, в результаті чого він деформується і змінює площу робочого вікна змінного дроселя, як наслідок витрата з порожнини А через дросель 6 до порожнини Б на виході залишається постійною.

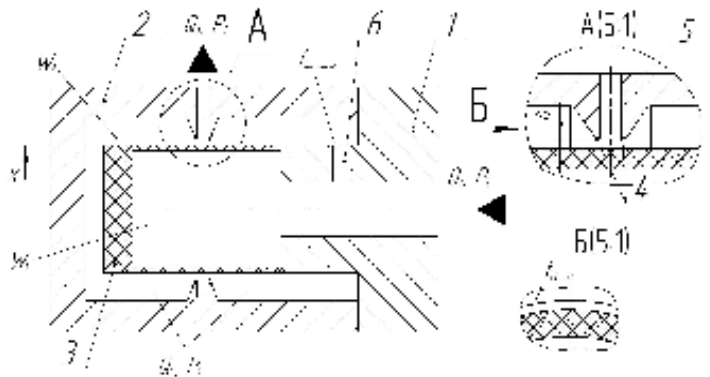


Рисунок 1 — Конструктивна схема регулятора

Розрахункова схема регулятора витрати з полімерним робочим органом, що є двома послідовно з'єднаними дроселями — постійним та змінним. Змінний дросель забезпечує постійний перепад тиску за рахунок зміни площі проходного перетину робочого вікна через деформацію робочого органа.

При розробці математичної моделі прийнято наступні припущення [5]:

- коефіцієнт витрати є величиною постійною;
- об'єм робочого органа є незмінним;
- робочий орган — лінійно-пружне тіло;
- площа торцевої поверхні керуючого органа не враховується;
- площу робочого вікна змінного дроселя зв'язано з переміщенням керуючого елемента лінійною залежністю.

Рівняння нерозривності потоку через постійний дросель описується рівняннями (1), (2) та через змінний дросель рівняннями (3), (4):

$$Q_1 = Q_2 + kW_1 \frac{dp_1}{dt} + f \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

$$Q_2 = \mu \cdot f_{др.пост.} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}, \quad (2)$$

$$Q_2 = Q_3 - kW_2 \frac{dp_2}{dt} - f \frac{dx}{dt}, \quad (3)$$

$$Q_3 = \mu \cdot f_{др.зм.} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_2 - p_3)}, \quad (4)$$

де  $Q_1, Q_2, Q_3$  — витрати через дроселі регулятора витрати;  $W_1, W_2$  — об'єми порожнин регулятора витрати;  $k$  — коефіцієнт стиснення рідини;  $\mu$  — коефіцієнт витрати;  $f_{др.пост.}$  — площа постійного дроселя;  $f_{др.зм.}$  — площа змінного дроселя,  $\rho$  — густина рідини.

Рівняння рівноваги (5) та (6) робочого органа мають вигляд

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + cx = f \cdot p_1 + f \cdot p_2, \quad (5)$$

$$c = \frac{\Delta p}{x}, \quad (6)$$

де  $p_1, p_2$  — тиски у вхідній та проміжній порожнині регулятора витрати,  $m$  — маса керуючого елемента,  $f$  — зведена площа керуючого органа у радіальному напрямі,  $\beta$  — коефіцієнт демпфування робочого органа у рідинному середовищі,  $x$  — радіальне переміщення поверхні оболонки у перетині, що формує робоче вікно змінного дроселя,  $\Delta p$  — перепад тиску на постійному дроселі ( $\Delta p = p_1 - p_2$ ),  $c$  — жорсткість робочого органа у радіальному напрямі.

Динаміка регулятора витрати описується системою диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + cx = f_{вх} \cdot p_1 + f_{др.пост.} \cdot p_2, \\ Q_1 = \mu \cdot f_{др.пост.} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)} + kW_1 \frac{dp_1}{dt} + f \frac{dx}{dt}, \\ Q_2 = \mu \cdot f_{др.зм.} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_2 - p_3)} - kW_2 \frac{dp_2}{dt} - f \frac{dx}{dt}. \end{cases} \quad (7)$$

Дану систему диференціальних рівнянь (7) розв'язано за допомогою MATLAB-Simulink.

У результаті імітаційного дослідження отримано статичну характеристику (рисунок 2) регулятора витрати із полімерним робочим органом, з якої можна визначити діапазон перепаду тиску, при якому змінний дросель адекватно відпрацьовуватиме реакцію на збурюючу дію ( $\Delta p = 0,3-2$  МПа для  $Q = 2-100$  л/хв).

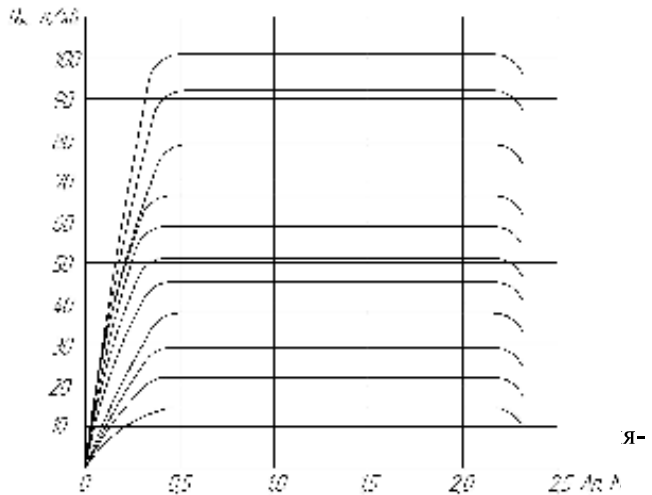


Рисунок 2 — Статична характеристика регулятора витрати

У процесі імітаційного дослідження динамічних процесів регулятора витрати з полімерним робочим органом отримано осцилограми перехідного процесу, одну з яких представлено на рисунку 3. Осцилограма відтворює процес регулювання витрати при ступінчастому збурюючому сигналі на вході.

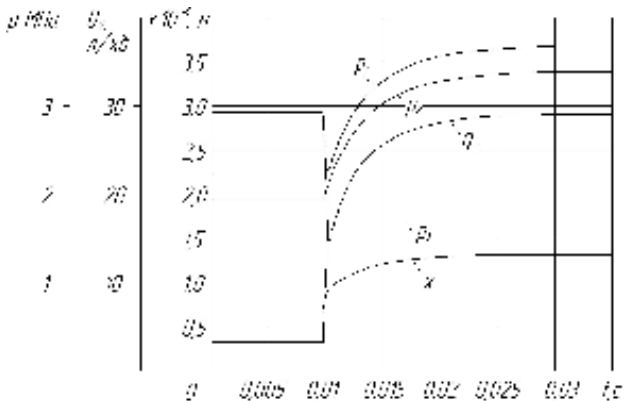


Рисунок 3 — Перехідний процес у регуляторі витрати

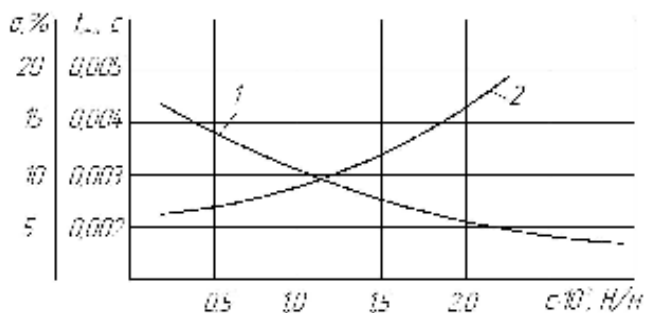


Рисунок 4 — Залежність часу регулювання (крива 1) та відносного перерегулювання (крива 2) витрати від жорсткості робочого органа

**Висновки**

Математичне моделювання динамічних процесів регулятора витрати з полімерним робочим органом показало: з підвищенням жорсткості робочого органа термін регулювання витрати (крива 1) зменшується, а величина перерегулювання (крива 2) збільшується за залежностями, які показано на рисунку 4.

Підтверджено прийняті припущення та визначено вплив маси робочого органа, визначено оптимальні конструктивні параметри та їх співвідношення

$$\begin{aligned}W_1 &= 0,5W_2, \\c &= 2,5 \cdot 10^9 \text{ Н/м}, \\f_{\text{др.пост.}} &= 19,6 \cdot 10^{-6} \text{ м},\end{aligned}$$

**Література**

1. Коробочкин, Б.Л. Динамика гидравлических систем станков. — М., Машиностроение, 1976. — 240 с.

2. Попов, Д.Н. Динамика регулирования гидро- и пневмосистем. — М., Машиностроение, 1976. — 424 с.

3. Исследования и разработка гидрораспределителей с упругими оболочками для гидроприводов дорожных и строительных машин: Диссертационная работа / Р.П. Кириков. — Омск, 1977. — 187 с.

4. Адаптивные регуляторы расхода с высокоэластичными оболочками: Диссертационная работа / А.Н. Гаврилов. — 1993. — 145 с.

5. Эластичные элементы в устройствах управления гидромеханизмов технологических машин: Диссертационная работа / В.Б. Петров. Винница, 1986. — 272 с.

*Надійшла 4.12.2012 року*