

УДК 62-762/035/

С.Семчишин, В.Семчишин

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ШВИДКОДІЮЧИХ ЗАПОБІЖНИХ КЛАПАНІВ З ГАЛЬМІВНИМ ПРИСТРОЄМ

Описується конструкція і принцип дії швидкодіючого запобіжного електромагнітного клапана з гальмівним пристроєм у кінці ходу. Подана методика дослідження динаміки спрацювання запобіжних клапанів з механічним розсіюванням кінетичної енергії в кінці ходу, а також методика оптимального вибору мас і жорсткостей елементів клапана.

Для автоматизації технологічних процесів, пов'язаних з потоками рідких і газоподібних середовищ під високим тиском, широко застосовується запобіжна арматура з електромагнітним приводом. Характерною особливістю останнього є висока швидкодія, що особливо важливо з техніко-економічної точки зору, а також запобігання забрудненню навколишнього середовища шкідливими реагентами хімічних та інших технологій, зокрема при виробництві поліетилену під високим тиском.

Проте при спрацюванні такого електромагнітного привода робочі поверхні клапана (золотника і сідла) приймають значне ударне навантаження, що обумовлює відносно низький ресурс клапана.

Тому важливо ефективно зменшити швидкість рухомих частин приводу клапана безпосередньо перед співударом. При цьому необхідно забезпечити швидкодію клапана. З урахуванням вищевказаного перспективною є конструкція електромагнітного приводу з гальмівним пристроєм у кінці ходу, схема на рис.1. Принцип дії такого електромагнітного приводу такий. При подачі керівного сигналу на магніт 5 з участю пружини 6 якір 4 приводиться в рух. В кінці ходу, де зусилля електромагніта теоретично зростає до нескінченності [1], а значить, і швидкість досягає високих значень, хвостовик 1 вступає в контакт з сухарями 2, підпружиненими, наприклад, за допомогою плоских пружин 3. Сухарі 2 і пружини 3 тут є розсіювачами кінетичної

енергії рухомих частин приводу. Після зменшення швидкості якір приводу з хвостовиком займає положення, вказане на рис. 2.

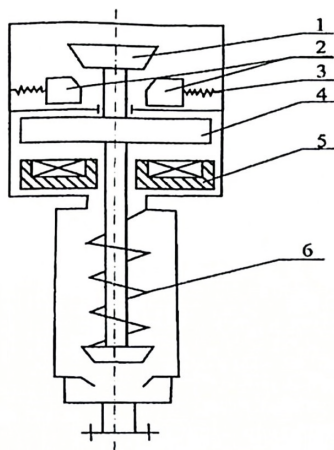


Рис.1.

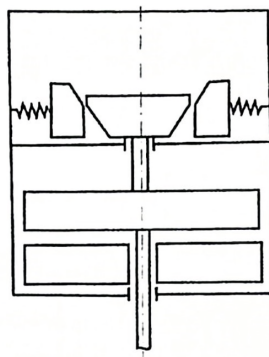


Рис.2.

Характерною особливістю запропонованої конструкції електромагнітного приводу є:

- гальмування рухомих частин електромагнітного приводу не вимагає додаткових джерел енергії;
- рухомі частини приводу гальмують в кінці ходу, тому швидкість приводу майже не змінюється;
- зусилля приводу практично повністю передається ущільнювальним поверхням.

Для такої конструкції електромагнітного приводу необхідним є правильний вибір маси m_2 сухарів 2 і жорсткості c_2 пружин 3. Для розв'язання вказаної задачі розглянемо динамічну модель приводу, подану на рис.3, де m_1 - маса частин приводу, які рухаються поступально; m_2 - маса сухарів; c_1 - жорсткість стику хвостовика з сухарями; c_2 - жорсткість пружин сухарів. Розрахункова схема складена з такими припущеннями: жорсткість c_2 - лінійна; сила F , прикладена до маси m_1 , постійна; тертя у стиску хвостовика з сухарями нема.

Кінетична енергія системи W дорівнює:

$$W = \frac{m_1 \cdot \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{x}_2^2}{2}, \quad (1)$$

а потенціальна -

$$\Pi = \frac{1}{2} c_1 (x_1 - x_2 \operatorname{tg} \alpha)^2 + c_2 \cdot x_2^2 \quad (2)$$

Підставляючи значення W і Π у рівняння Лагранжа II роду, отримаємо систему диференціальних рівнянь, які описують рух приводу:

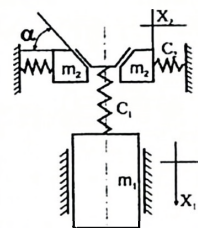


Рис.3

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 (x_1 - x_2 \operatorname{tg} \alpha) &= F \\ m_2 \ddot{x}_2 - \frac{c_1}{2} (x_1 - x_2 \operatorname{tg} \alpha) + c_2 x_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Відображаючи систему (3) в простір зображень, знаходимо (при початкових умовах: $t=0$; $x_1 = x_2 = 0$; $\dot{x}_1 = V$; $\dot{x}_2 = 0$):

$$\left. \begin{aligned} X_1 \left(S^2 + \frac{c_1}{m_1} \right) - X_2 \frac{c_1 \operatorname{tg} \alpha}{m_1} &= \frac{F}{m_1 S} + V \\ -X_1 \frac{c_1 \operatorname{tg} \alpha}{2m_2} + X_2 \left(S^2 + \frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2m_2} + \frac{c_2}{m_2} \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Розгляньмо визначник системи рівнянь (4):

$$D(S) = \begin{vmatrix} S^2 + \frac{c_1}{m_1} & -\frac{c_1 \operatorname{tg} \alpha}{m_1} \\ -\frac{c_1 \operatorname{tg} \alpha}{2m_2} & S^2 + \frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2m_2} + \frac{c_2}{m_2} \end{vmatrix} = S^4 + S^2 \left(\frac{c_1}{m_1} + \frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2m_2} + \frac{c_2}{m_2} \right) + \frac{c_1 \cdot c_2}{m_1 \cdot m_2} \quad (5)$$

Оскільки до рівняння (5) належать тільки парні степені S^2 , то його можна подати як:

$$D(S) = (S^2 + \beta_1^2) (S^2 + \beta_2^2), \quad (6)$$

де β_1^2 і β_2^2 визначаються із виразу:

$$\beta_{1,2}^2 = -\frac{1}{2} \left(\frac{c_1}{m_1} + \frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2m_2} + \frac{c_2}{m_2} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{c_1}{2m_1} - \frac{c_2}{2m_2} \right)^2 + \frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{4m_2} \left(\frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{4m_2} + \frac{1}{m_1} + \frac{c_1}{c_2 m_1} \right)} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} D(S) \cdot X_1(S) &= \begin{vmatrix} \frac{F}{m_1 S} + V & -\frac{c_1 \operatorname{tg} \alpha}{m_1} \\ 0 & S^2 + \frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2m_2} + \frac{c_2}{m_2} \end{vmatrix} = S^2 V + \frac{FS}{m_1} + \\ &+ \frac{F}{m_1 m_2 S} \left(\frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2} + c_2 \right) + \frac{V}{m_2} \left(\frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2} + c_2 \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Тоді

$$\begin{aligned} X_1(S) &= \frac{S^2 V}{(S^2 + \beta_1^2)(S^2 + \beta_2^2)} + \frac{FS}{m_1 (S^2 + \beta_1^2)(S^2 + \beta_2^2)} + \\ &+ \frac{F \left(\frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2} + c_2 \right)}{m_1 m_2 S (S^2 + \beta_1^2)(S^2 + \beta_2^2)} + \frac{V \frac{c_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2}}{m_2 (S^2 + \beta_1^2)(S^2 + \beta_2^2)} \end{aligned} \quad (9)$$

Переходячи від зображень до оригіналів, за допомогою таблиць обернених перетворень Лапласа [2] знаходимо:

$$\begin{aligned}
 X_1(t) = & \frac{V(\beta_1 \sin \beta_1 t - \beta_2 \sin \beta_2 t)}{\beta_1^2 - \beta_2^2} + \frac{F}{m_1} \cdot \frac{-\cos \beta_1 t + \cos \beta_2 t}{\beta_1^2 - \beta_2^2} + \\
 & + \frac{F \left(\frac{c_1 t g^2 \alpha}{2} + c_2 \right)}{m_1 m_2} \cdot \left[\frac{1}{\beta_1^2 \beta_2^2} + \frac{1}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left(\frac{\cos \beta_1 t}{\beta_1^2} - \frac{\cos \beta_2 t}{\beta_2^2} \right) \right] + \\
 & + \frac{V \left(\frac{c_1 t g^2 \alpha}{2} + c_2 \right)}{m_2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \cdot \left(-\frac{\sin \beta_1 t}{\beta_1} + \frac{\sin \beta_2 t}{\beta_2} \right)
 \end{aligned} \quad (10)$$

Диференціюючи (10) по t , знаходимо вираз для визначення швидкості рухомих мас приводу:

$$\begin{aligned}
 \dot{X}_1(t) = & \frac{V(\beta_1^2 \cos \beta_1 t - \beta_2^2 \cos \beta_2 t)}{\beta_1^2 - \beta_2^2} + \frac{F}{m_1} \cdot \frac{\beta_1 \sin \beta_1 t - \beta_2 \sin \beta_2 t}{\beta_1^2 - \beta_2^2} + \\
 & + \frac{F \left(\frac{c_1 t g^2 \alpha}{2} + c_2 \right)}{m_1 m_2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \cdot \left(-\frac{\sin \beta_1 t}{\beta_1} + \frac{\sin \beta_2 t}{\beta_2} \right) + \frac{V \left(\frac{c_1 t g^2 \alpha}{2} + c_2 \right)}{m_2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \cdot (-\cos \beta_1 t + \cos \beta_2 t)
 \end{aligned} \quad (11)$$

Порядок визначення m_2 і c_2 такий. Задаючись із конструктивних міркувань значенням ходу x_0 маси m_1 в гальмівному пристрої, часом гальмування t_0 , що визначається із технічних умов на швидкодію клапана, а також швидкість золотника V_0 в кінці ходу і підставляючи отримані значення x_0 , t_0 і V_0 в (10) і (11), одержимо систему двох рівнянь з двома невідомими m_2 і c_2 , яку можна розв'язати за допомогою ЕОМ.

Для пояснення фізичної суті запропонованого способу гальмування електромагнітного приводу розглянемо спрощену модель описаного приводу (рис.4), де m_1 - маса рухомих частин приводу; m_2 - приведена маса сухарів; c - наведена жорсткість пружин. Для спрощення можна допустити, що $m_1 \gg m_2$. Таким чином, маси m_1 і m_2 після удару рухатимуться разом із швидкістю V . Рух мас m_1 і m_2 описує рівняння:

$$X = \frac{V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}}} \cdot \sin \sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}} t, \quad (12)$$

а швидкість їх руху визначається з виразу:

$$V = V_{\Pi} \cos \sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}} t \quad (13)$$

З урахуванням запропонованого порядку визначення значень m_2 і c знаходимо:

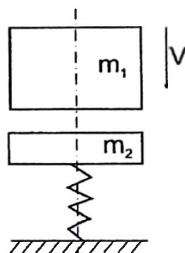


Рис.4

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= \frac{V_{\Pi}}{\sqrt{m_1 + m_2}} \cdot \sin \sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}} t_0 \\ V_0 &= V_{\Pi} \cos \sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}} t_0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Зокрема, якщо t_0 не цікавить, то, визначаючи його із першого рівняння і підставляючи у друге, знаходимо:

$$V_0 = V_{\Pi} \sqrt{1 - \frac{x_0^2 c}{V_{\Pi}^2 (m_1 + m_2)}} \quad (15)$$

This report about test raped valves. The test show good result in repaid and loyal. The constructions is easy to produce and don't needs in hard technology.

Література

1. Бельи М.И., Туль М.П. Динамика электромагнитных механизмов. - Саратов, 1977.
2. Макаров И.М., Менский Б.М. Таблицы обратных преобразований Лапласа и обратных Z-преобразований. - М.: Высшая школа, 1978.

Статтю подая до друку докт. техн. наук, проф. Рибак Т.І.