

4. Кинелев В.Г., Шкапов П.М. Динамика ограниченной газовой каверны в трубопроводе //Инженерно-физический журнал. 1991. Т. 61. № 4. С. 578-585.

5. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем. М.: Наука, 1986. 365 с.

УДК 621.822.5.032

А.Б.Макушин, Д.Е.Чегодаев

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ГИДРОАГРЕГАТОВ С ГАЗОСТАТИЧЕСКИМ ЦЕНТРИРОВАНИЕМ

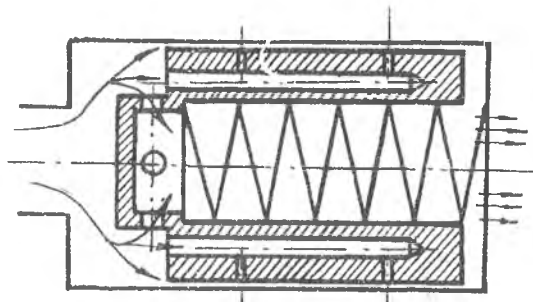
Исследуется устойчивость клапана с газостатическим центрированием методами Рауса-Гурвица. Оператор передаточной функции клапана записывается в виде характеристического уравнения, для которого составляется матрица коэффициентов. По определителям характеристического уравнения делается анализ устойчивости работы гидрозатвора.

Клапан с газостатическим центрированием [1], схема которого приведена на рис. 1, при некоторых соотношениях его параметров склонен к потере устойчивости. Поэтому для обеспечения его стабильной и надежной работы необходимо определить запас устойчивости с тем, чтобы переходные процессы и вибрационные режимы не вызывали самопроизвольных колебаний затвора клапана и его разрушения.

Решение задачи устойчивости проводилось методами Рауса-Гурвица.

Передаточная функция для клапана с газостатическим центрированием [1]

$$K(s) = \frac{x_2}{x_1} = \frac{C_{гун}}{mS^2 + C_{гун}} = \frac{c' \frac{T_{12}^2 S^2 + T_{11}S + 1}{T_{22}^2 S^2 + T_{21}S + 1}}{mS^2 + c' \frac{T_{12}^2 S + T_{11}S + 1}{T_{22}^2 S^2 + T_{21}S + 1}}$$



Р и с. 1. Схема гидрозатвора с газостатическим центрированием

После преобразования передаточная функция примет вид

$$K(s) = \frac{T_{12}^2 s^2 + T_{11} s + 1}{\frac{T_{22}^2}{\omega_0^2} s^4 + \frac{T_{21}}{\omega_0^2} s^3 + \left(\frac{1}{\omega_0^2} + T_{12}^2\right) s^2 + T_{11} s + 1} \quad (1)$$

Для исследования устойчивости клапана рассмотрим собственный оператор передаточной функции (1) в виде характеристического уравнения

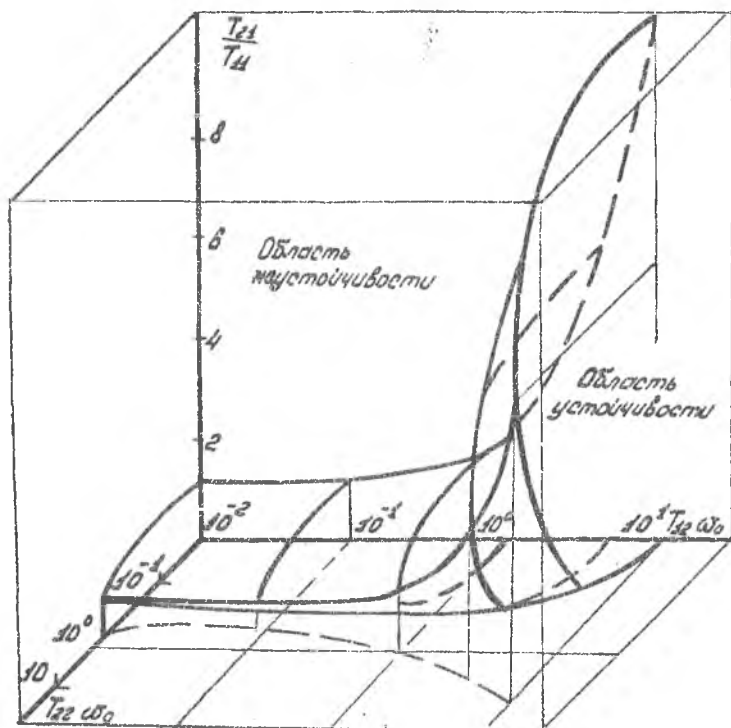
$$a_0 s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4 = 0. \quad (2)$$

Здесь  $a_0 = \frac{T_{22}^2}{\omega_0^2}$ ,  $a_1 = \frac{T_{21}}{\omega_0^2}$ ,  $a_2 = \left(\frac{1}{\omega_0^2} + T_{12}^2\right)$ ,  $a_3 = T_{11}$ ,  $a_4 = 1$ .

Для уравнения (2) составляется матрица коэффициентов. Критерий устойчивости определяется условием, что при  $a_0 > 0$  все главные диагональные миноры, составляющие матрицу коэффициентов, должны быть больше нуля [2]. Поэтому условие устойчивости затвора клапана запишется в виде

$$\Delta_1 = a_1 = \frac{T_{21}}{\omega_0^2} > 0$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{T_{21}}{\omega_0^2} & T_{11} \\ \frac{T_{22}^2}{\omega_0^2} & \left(\frac{1}{\omega_0^2} + T_{12}^2\right) \end{vmatrix} > 0 \quad (3)$$



Р и с. 2. Диаграмма устойчивости клапана с гидростатическим центрированием

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{T_{21}}{\omega_0^2} & T_{11} & 0 \\ \frac{T_{22}}{\omega_0^2} \left( \frac{1}{\omega_0^2} + T_{12}^2 \right) & 1 & \\ 0 & \frac{T_{21}}{\omega_0^2} & T_{11} \end{vmatrix} > 0$$

Решая совместно определители  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  с учетом, что все коэффициенты характеристического уравнения положительны, получим следующие условия устойчивости клапана с газостатическим центрированием:

$$\frac{T_{22}^2}{\omega_0^2} > 0, \quad \frac{T_{21}}{\omega_0^2} > 0, \quad \frac{1}{\omega_0^2} + T_{12}^2 > 0, \quad T_{11} > 0;$$

$$\frac{T_{21}}{\omega_0^2} \left( \frac{1}{\omega_0^2} + T_{12}^2 \right) - \frac{T_{22}^2}{\omega_0^2} T_{11} > 0; \quad (4)$$

$$\frac{T_{21}}{\omega_0^2} \left( \frac{1}{\omega_0^2} + T_{12}^2 \right) T_{11} - \frac{T_{21}^2}{\omega_0^4} - T_{11}^2 \frac{T_{22}^2}{\omega_0^2} > 0.$$

Для нахождения областей устойчивости конкретной системы достаточно найти постоянные времени, подставив в них характеристики клапана [1], и решить неравенство (4) для определения  $T_{12}$ ,  $T_{11}$ ,  $T_{22}$ ,  $T_{21}$ .

Границы области устойчивости клапана с газостатическим центрированием приведены на диаграмме устойчивости (рис. 2), построенной при помощи неравенства (4) в пространстве параметров  $T_{21}/T_{11}$ ,  $T_{22}/\omega_0$ ,  $T_{12}/\omega_0$ . Здесь  $\omega_0$  — собственная частота системы. Выбрав параметры клапана из выделенной на рис. 2 области устойчивости, можно обеспечить его стабильную работу в гидравлических магистралях с относительно малыми модулями входных импедансов по отношению к исследуемому агрегату.

#### Библиографический список

1. Макушин А.Б., Четодаев Д.Е. Динамические характеристики клапана с газостатическим центрированием. Гидродинамика летательных аппаратов и их систем. Куйбышев: Куйбыш. авиац. ин-т. 1984.
2. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1966.