УДК 539.3

ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ ПНЕВМОЦИЛИНДР-ПОРШЕНЬ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

М.Н. Кирсанов, В.М. Сафронов
Московский Энергетический Институт, Россия, E-mail: safronov@2005.yandex.ru

Рассмотрена задача заклинивания штока пневмоцилиндра с точки зрения нестабильности движения. Получена оценка для критической скорости для нестабильности порядка 2/3.

THE BEHAVIOUR OF THE SYSTEM "PNEUMOCYLINDER-ROD" IN EXTREMAL CONDITIONS

M.N. Kirsanov, V.M. Safronov

The problem of jamming of a rod of the pneumocylinder is considered from the point of view of instability of movement. The estimation for critical speed for instability of order 2/3 is received.

При проектировании и расчете объемных пневматических приводов возвратно-поступательного типа важной составляющей является оценка возможности заклинивания поршня в результате потери устойчивости одного из основных рабочих элементов – штока пневмоцилиндра [1]. Возможны два варианта конструкции пневмоцилиндра. В первом варианте шток соединяется с поршнем шарнирно, при этом изгиб штока, потерявшего устойчивость не вызывает поворот поршня. Во втором случае (наиболее часто практически реализуемом) шток и поршень соединяются жестко. Однако в первом варианте, не предрасположенном к эффекту заклинивания, критическая нагрузка заметно (в несколько раз) меньше, вероятно поэтому на практике чаще применяется второй вариант конструкции. Отметим, что для большинства систем (обычно некритичных к общему весу) шток имеет многократный запас устойчивости и анализ возможности заклинивания здесь не требуется. В данной работе исследованию подвергаются облегченные системы, предназначенные на легкие летательные аппараты, космические и медицинские приборы в экстремальных условиях. Материал, используемый в этих системах, как правило, имеет небольшой вес, и реология его значительно зависит от температуры. За основу теоретических расчетов возьмем теорию нестабильности движения [2].

Запишем дифференциальные уравнения плоского движения поршня массой mи моментом инерции Jпод действием сил, зависящих от координат и скорости. Ограничиваясь квадратичным приближением, имеем

$$\begin{array}{l} m\ddot{x} = -a_{11}x - a_{12}y - a_{13}\dot{x} - a_{14}\dot{y} - a_{15}x^2 - a_{16}y^2, \\ J\ddot{y} = -a_{21}x - a_{22}y - a_{23}\dot{x} - a_{24}\dot{y} - a_{25}x^2 - a_{26}y^2, \end{array} \qquad (1)$$

где x – продольная координата, y — угол поворота поршня, a_{ij} — упругие и реологические константы. Нелинейность внешних воздействий и их зависимость от скорости обусловлена, во-первых, реакцией сжатого газа (зависимость от координаты), во-вторых, влиянием угла поворота поршня на распорные реакции, приводящие к увеличению силы сопротивления, и, наконец, применением гиперупругих материалов прокладок и уплотнителей в поршне. Явление перекоса и последующего заклинивания в реологической среде более всего зависит от возмущений от угла поворота и угловой скорости. Запишем уравнения (1) и их первые производные по времени в возмущениях

$$\begin{array}{l} m\Delta\ddot{x} = -a_{11}\Delta x - a_{12}\Delta y - a_{13}\Delta\dot{x} - a_{14}\Delta\dot{y} - 2a_{15}x\Delta x - 2a_{16}y\Delta y, \\ J\Delta\ddot{y} = -a_{21}\Delta x - a_{22}\Delta y - a_{23}\Delta\dot{x} - a_{24}\Delta\dot{y} - 2a_{25}x\Delta x - 2a_{26}y\Delta y, \\ m\Delta x^{(3)} = -a_{11}\Delta\dot{x} - a_{12}\Delta\dot{y} - a_{13}\Delta\ddot{x} - a_{14}\Delta\ddot{y} - 2a_{15}(\dot{x}\Delta x + x\Delta\dot{x}) - 2a_{16}(\dot{y}\Delta y + y\Delta\dot{y}), \\ J\Delta y^{(3)} = -a_{21}\Delta\dot{x} - a_{22}\Delta\dot{y} - a_{23}\Delta\ddot{x} - a_{24}\Delta\ddot{y} - 2a_{25}(\dot{x}\Delta x + x\Delta\dot{x}) - 2a_{26}(\dot{y}\Delta y + y\Delta\dot{y}). \end{array} \qquad (2)$$

Будем считать возмущения ускорений и их скорости (третьи производные) как угодно малыми заданными величинами (нестабильность порядка 2/3). Вычисляя приращения x и y через эти величины, получим систему уравнений, которую запишем в матричной форме

$$A\bar{X} = \bar{U}, \qquad (3)$$

где $\bar{X}$— вектор из приращений $\Delta x, \Delta y, \Delta\dot{x}, \Delta\dot{y}$, а вектор $\bar{U}$ содержит внешние возмущения. Очевидно, что если определитель матрицы A обращается в нуль, то при любых как угодно малых возмущениях ускорений и третьих производных, координата x, угол y и их скорости получат неограниченно возрастающие значения. Рассмотрим наиболее реальный случай при $a_{14} = a_{23} = a_{21} = a_{25} = a_{26} = 0$. Приравняем нулю определитель матрицы A:

$$a_{11}^2 + 4a_{11}a_{15}x + 4a_{15}^2x^2 - 2a_{15}a_{13}\dot{x} = 0.$$

Предполагая скорость движения поршня заданной, найдем положение поршня в момент заклинивания

$x = (\sqrt{2a_{15}a_{13}\dot{x}} - a_{11})/(2a_{15})$. Из двух решений уравнения оставлено положительное Приравняем это значение критической длине штока l, при котором происходит выпучивание, приводящее к заклиниванию. Получим простую оценку на скорость движения поршня

$$\dot{x} > (2a_{15}l + a_{11})^2/(2a_{15}a_{13}).$$

Для более ясной картины поведения поршня необходимо численное решение нелинейных уравнений движения, позволяющее найти критическое время. Другим путем развития теории является возможность оценки возмущений более высокого порядка и степень опасности возникающих критических явлений. Константы задачи a_{ij}, l, m, J легко получить из справочных материалов [1].

Заключение

Получена теоретическая оценка для скорости движения поршня штока пневмоцилиндра, приводящая к заклиниванию системы.

Библиографический список

1. **Герц Е.В.***Пневматические приводы.* – М.: Машиностроение, 1968.

2. **Кирсанов М.Н.***Определение и анализ стабильности движения с использованием системы Maple//*Exponenta Pro. Математика в приложениях є3-4. 2004., с.134-137