

## БЛОК ИДЕНТИЧНЫХ МЕМБРАН ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*Л.В. Даниленко*

Братский государственный  
технический университет  
Россия, г. Братск, ул. Макаренко 40  
E-mail: [danilenkov@mail.ru](mailto:danilenkov@mail.ru)

*Рассмотрены возможности применения блока идентичных мембран в обратной связи гидромеханических преобразователей и особенности термодинамического расчёта их механической работы.*

При разработке класса гидромеханических преобразователей решаются проблемы минимизации трения в элементах обратной связи и получение максимального коэффициента усиления. Таким требованиям, в качестве элемента обратной связи, вполне удовлетворяют мембраны. Однако одиночная мембрана в обратной связи не разрешает противоречия между требованием минимизации камер переменного объёма и собственной жёсткостью. Использование жёсткого центра в качестве заслонки активного элемента, например, «сопло-заслонка» также препятствует как угодно малому уменьшению эффективной площади мембраны.

Конструктивное решение, позволившее использовать мембранную камеру в обратной связи с пренебрежимо малой ёмкостью и эффективной площадью, основывается на объединении общим жёстким центром двух идентичных зеркально расположенных мембран. Поясним некоторые специфические понятия, встречающиеся в изложении. Во-первых, это эффективная площадь мембраны – та, которая при замене мембраны цилиндрическим поршнем позволяет, при неизменном перепаде давления, получить на мембране силу идентичную силе на поршне. Эффективная площадь мембраны изменяется при осевом смещении жёсткого центра. На рисунке 1, показаны следы сечений гофрированной мембраны в трёх положениях: нейтральном (I) – плоскости защемления мембраны в корпусе и в жёстком центре совпадают; положительном (II) – плоскости защемления мембраны в жёстком центре «ниже» плоскостей защемления в корпусе; отрицательном (III) – плоскости защемления мембран в жёстком центре «выше» плоскостей защемления в корпусе. Эффективный диаметр  $D_0$  определяется по точкам касания вершин

гофры мембраны с плоскостью, нормальной к оси мембраны, ибо только в этих точках окружности усилия растяжения гофр под действием перепада давления, направлены перпендикулярно главной оси мембраны. Тогда в положении «I» (см. рис. 1) эффективная площадь не смещённой мембраны равна  $S_I = \pi \times (D_{30}/2)^2$ , где  $D_{30}$  эффективный диаметр; в положении «II» эффективная площадь  $S_{II}$  будет больше из-за увеличения эффективного диаметра на  $\Delta D$ , а в положении «III»  $S_{III}$  уменьшится из-за уменьшения эффективного диаметра на  $\Delta D^*$ .

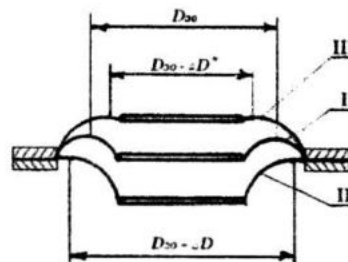


Рис.1- Следы гофрированной мембраны при различных смещениях жёсткого центра

Дифференциальная площадь  $S = f(X)$  двух идентичных зеркально расположенных мембран объединённых жёстким центром, смещённым из нейтрального положения вдоль главной оси на  $\Delta X$ , определяется формулой:

$$S = (\pi/4) \times [(D_0 + \Delta D)^2 - (D_0 - \Delta D^*)^2]. \quad (1)$$

Смещение жёсткого центра  $X_i$  из нейтрального положения увеличивает эффективную площадь мембранного блока от нуля до величины ограничиваемой лишь геометрическими и физическими параметрами мембран. Само же изменение площади, согласно экспериментальным данным, линейно смещению:

$$S_i = \alpha \times X_i, \quad (2)$$

где  $\alpha = \text{const.}$ . Аналогично и объём мембранной камеры, составляющий при не смещённом жёстком центре объём  $V_0$ , также [1] уменьшается практически линейно его смещению  $X_i$ :

$$V_i = V_0 - \beta \times X_i, \quad (3)$$

где  $\beta = \text{const.}$

Опишем работу мембранного блока в составе гидромеханического преобразователя (см. рис. 2). Преобразователь состоит из корпуса 1, крышек 2 и 3, между которыми расположены идентичные резинотканевые мембраны 4 и 5 защемленные по периметру, а по центру – жёстким центром, осевой винт 6 которого стягивает втулку 7 шайбами 8 и 9. Корпус 1 заполнен жидкостью через отверстие, в котором плотно укреплена мерная стеклянная пи-

петка 10, к другому концу которой подводится, например, сжатый газ давлением  $p_0 + \Delta p$ , что позволяет, с помощью мерной пипетки 10, измерять приращения объема мембранной камеры  $D$  при смещении жесткого центра силой тяжести  $P$  груза 11, закреплённого на нити 12, переброшенной через блок 13.

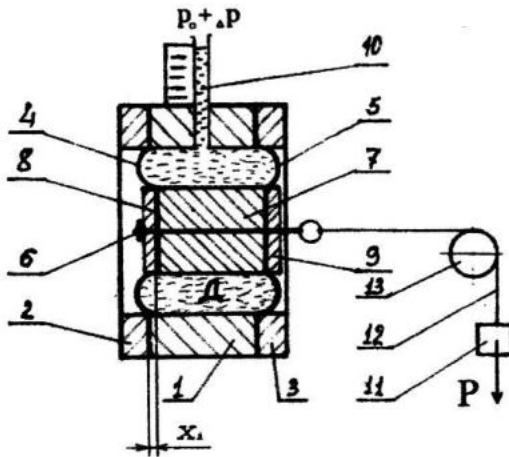


Рис. 2 – Конструктивная схема гидромеханического преобразователя

В исходном состоянии жесткий центр смещен из нейтрального положения на расстояние  $X_0$  силой  $P$ , уравновешенной действием избыточного давления  $p_0$  (в камере  $D$ ) на эффективную площадь  $S_0$  мембранного блока:

$$P = p_0 \times S_0. \quad (4)$$

Увеличение давления в камере  $D$  на  $\Delta p$  смещает жесткий центр к новому равносному положению, приподнимая груз  $P$  на расстояние  $\Delta X$ . При этом равновесие сил наступит при меньшей эффективной площади мембранного блока:

$$P = (p_0 + \Delta p) \times (S_0 - \Delta S), \quad (5)$$

В результате, выражая приращение площадей блока через перемещение жесткого центра, получим из (5), (4), (2) соотношение давлений:

$$p_0 = \Delta p \times (S_0 / \Delta S - 1) = \Delta p \times (X_0 / \Delta X - 1). \quad (6)$$

При  $X_0 \gg \Delta X$ , что соответствует пренебрежимо малому рабочему ходу заслонки по сравнению с начальным смещением жесткого центра, (6) вырождается в зависимость:

$$\Delta X = X_0 \times \Delta p / p_0. \quad (7)$$

Описанный мембранный блок преобразователя позволяет непосредственно согласовывать диапазоны входа-выхода – избыточного давления с перемещением, путем начального смещения жесткого центра на величину  $X_0$ , при которой диапазон давлений совпадает с

диапазоном перемещений, или усилий, а также получать микроскопически малые эффективные площади и объемы рабочей камеры, позволяющих подводить к ней гидравлический сигнал даже по капиллярам. Проведенные исследования подтвердили, что для эластичной мембраны с диаметром защемления 45 мм и радиусом гофра 5 мм, смещение жесткого центра на 1 мм изменяет эффективную площадь блока мембран на  $\Delta S \approx 70 \text{ мм}^2$ , а объем межмембранной камеры изменяется на  $\Delta V \approx 70 \text{ мм}^3$ , что в 20 раз меньше аналогичных параметров единичной мембраны.

Гидромеханический преобразователь, как замкнутая термодинамическая система, преобразующая изменение давления камеры  $D$  в работу подъема груза  $P$  на расстояние  $\Delta X$ , оказался полезен и в теоретическом плане. Выполненная работа  $\Delta A$  по подъему груза  $P$  может быть приравнена к разности энергий термодинамической системы:

$$\begin{aligned} \Delta A &= P \times \Delta X = (p_0 + \Delta p) \times (V_n + \Delta V) - p_0 \times V_n = \\ &= (p_0 + \Delta p) \times \Delta V + V_n \times \Delta p, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\Delta p$  – приращения давления;  $V_n = V_0 - \alpha \times X_0$  и  $\Delta V = V_0 - \alpha \times (X_0 - \Delta X)$  – объемы камеры  $D$  при смещении жесткого центра на  $X_0$  и  $X_0 - \Delta X$ , соответственно. Расписав и преобразовав (7), получим выражение для работы через термодинамические параметры:

$$\Delta A = P \times \Delta X = V_0 \times \Delta p. \quad (9)$$

Особенность этого результата в том, что работа механическая определяется через переменное давление и постоянный объем, хотя обычно механическая работа замкнутой системы определяется как произведение усредненного давления  $(p_0 + \Delta p)$  на переменный объем  $\Delta V$ . В данном преобразователе при  $S_i \rightarrow 0$   $\Delta p \rightarrow \infty$ , что принципиально не позволяет провести усреднение давления, в то время как объем камеры до бесконечно малых величин второго порядка остается неизменным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексапольский Д.Я., Запорожец В.П., Даниленко Л.В., Магнер Э.Д. Методика определения эффективной площади эластичных гофрированных мембран // Гидропривод и гидропневмоавтоматика, выпуск 11, Техніка, Киев, 1975.- С. 146-150.
2. Даниленко Л. В. Исследование и разработка механогидравлических преобразователей с дифференциально- мембранной обратной связью: Автореф. дисс... кандидата техн. наук: 05.02.03/ МАДИ.- М., 1980.-26 с.