

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА УТЕЧКИ ЧЕРЕЗ РЕЗИНОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ШТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО УЗЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПЛОТНЕНИЙ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. С. Давыдов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. А. Андреевец

Гидравлические цилиндры используются в механических устройствах, где необходимы возвратно-поступательные движения. Уплотнительный элемент является одной из самых важных деталей цилиндра. Уплотнительные элементы устанавливаются в соответствующую канавку с предварительным натягом [1]–[3]. На рис. 1, *a* показан уплотнительный элемент в свободном состоянии, в корпусе после монтажа уплотнения должен быть предварительный натяг, благодаря которому уплотнительный элемент может работать при низком давлении, и свободное место.

На рис. 1, *б* видно, что уплотнительный элемент деформируется под давлением. Уплотнительные элементы производят из таких материалов, которые могут изменить свою форму при применении силы (рис. 1, *б*) и могут принять первоначальную форму, когда эта сила исчезает (рис. 1, *a*). В связи с этим уплотнительные элементы производят из эластомеров, термопластов или термопластичных эластомеров.

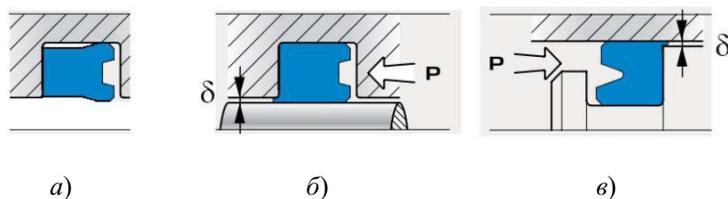


Рис. 1. Уплотнительный элемент:
a – в свободном состоянии; *б*, *в* – под давлением

Для правильного проектирования уплотнительных устройств важно знать влияние отдельных факторов на герметичность соединения. Однако явления, связанные с утечкой жидкости через контактные уплотнения, очень сложны и теоретически мало изучены.

В гидроцилиндрах подвижное соединение «букса–шток» уплотняется целым комплектом уплотнений, каждое из которых выполняет определенные функции. На рис. 2 приведена рекомендованная фирмой Kastas конструкция уплотнительного узла для среднего режима работы [4]. Данный режим работы соответствует условиям эксплуатации гидроцилиндров в сельскохозяйственных, дорожно-строительных и других машинах.

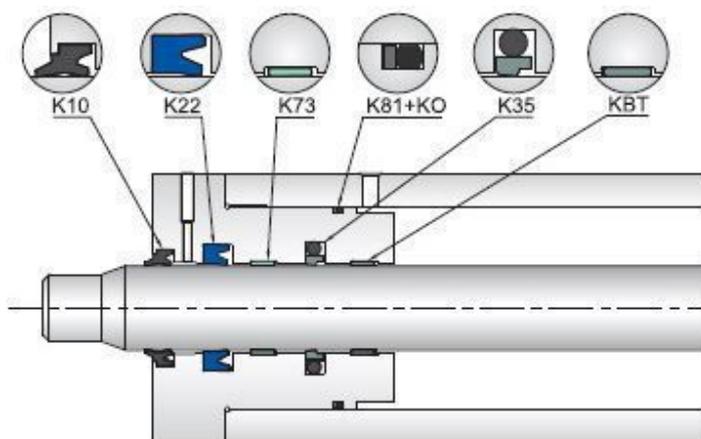


Рис. 2. Пример конструкции уплотнительного узла гидроцилиндра для среднего режима работы

Как видно из приведенного рисунка, непосредственно предотвращение утечки рабочей жидкости из внутренней полости цилиндра достигается двумя уплотнениями: составным уплотнением штока (рис. 3, а) и манжетой (рис. 3, б).

Составное уплотнение штока (рис. 3, а) состоит из двух частей: резинового кольца в качестве усилительного элемента и профильного кольца из политетрафторэтилена (PTFE), наполненного бронзой для улучшения физико-механических свойств. У материала PTFE самый низкий коэффициент трения из всех материалов, использующихся в производстве уплотнений. PTFE может быть использован при температуре от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$. У него очень хорошая устойчивость к химическим веществам, за исключением щелочных металлов, хлортрифтора и других фторпроизводных. Твердость и эластичность делают материал пригодным для широкого использования в гидравлических системах [5].

Манжета (рис. 3, б) изготавливается из полиуретана (PU), который широко используется в уплотнительных элементах благодаря улучшенному за последние 15 лет свойству – усадке при сжатии. Он имеет отличную стойкость к излому, разрыву и износу при температуре от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Он хорошо устойчив к воздействию минеральных масел, жиров и алифатических углеводородов. Полиуретан не устойчив к полярным растворителям, ароматическим соединениям, тормозным жидкостям, кислотам и щелочам. Главным образом он используется для очистки штока и в качестве уплотнительного элемента для высокой герметизации [5].



Рис. 3. Уплотнение штока (а); манжета (б)

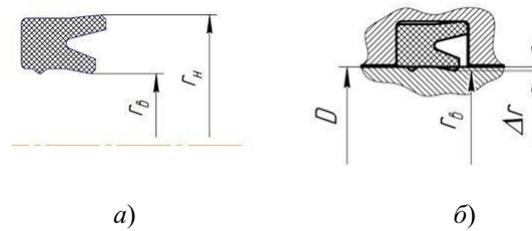


Рис. 4. Расчетные схемы манжеты: а – наружный и внутренний радиусы; б – определение величины предварительного поджатия

Данные уплотнения дополняют друг друга. Манжета из полиуретана обеспечивает практически полную герметичность соединения, предотвращает утечку от возможного повреждения составного уплотнения при монтаже, защищает составное уплотнение от возможных загрязнений со стороны грязесъемника благодаря наличию дополнительной уплотняющей кромки. Составное уплотнение штока из политетрафторэтилена, в свою очередь, частично герметизирует соединение, уменьшает или предотвращает воздействие на манжету нежелательных примесей в рабочей жидкости, таких, как продукты окисления масла, щелочи или топливо, а также уменьшает воздействие высоких температур рабочей жидкости. Этим оправдывается совместное использование данных уплотнений.

Величина утечки жидкости через уплотняемое соединение при работе механизма является одной из важнейших характеристик уплотнения.

При отсутствии движения, в состоянии покоя штоков, при положительных и отрицательных температурах все мягкие контактные уплотнения, как правило, обеспечивают надежное запираение жидкости.

Во время движения все уплотнительные устройства допускают ту или иную утечку, которая напрямую зависит от материала уплотнения.

Так как предотвращение внешней утечки рабочей жидкости обеспечивается главным образом за счет использования манжеты, то именно для нее рассчитаем количество масла, которое все же выносится при возвратно-поступательном движении штока.

На основании опытных данных величина утечки жидкости при движении штока определяется по формуле ([2], с. 44):

$$Q_y = \pi D v q,$$

где D – уплотняемый диаметр (диаметр штока); v – скорость движения штока; q – функция, выражающая величину утечки жидкости через соединение, приходящуюся на единицу поверхности штока, проходящей мимо уплотнения в единицу времени.

Величина q определяется по формуле ([2], с. 46):

$$q = \frac{1,1 \cdot 10^{-11} (1,5 - 2^{-0,01 \cdot p})}{\mu \cdot l \left(\frac{p_r}{p_c} \right)^3 (1 - 2^{-(20 \cdot p_0 + 1)})} C_3 = 1,3031 \cdot 10^{-9},$$

где p – давление запираемой жидкости; μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, $\mu \approx 40,94$ Па · с; l – длина уплотнительного элемента; p_r/p_c – отношение давлений на запираемой поверхности; p_0 – предварительное удельное давление в уп-

лотнения; C_3 – коэффициент, учитывающий изменения вязкости жидкости и других параметров в условиях низких температур, $C_3 = 20$ ([2], с. 46).

Отношение давлений на запираемой поверхности определяется по формуле ([2], с. 41):

$$\frac{p_r}{p_c} = \frac{3,44 \cdot r_n^2 + r_b^2}{3,22 \cdot r_n^2 + 1,22 \cdot r_b^2} = \frac{3,44 \cdot 0,024^2 + 0,01725^2}{3,22 \cdot 0,024^2 + 1,22 \cdot 0,01725^2} = 1,0276,$$

где r_n – наружный радиус манжеты (рис. 6); $r_n = 24$ мм [4]; r_b – внутренний радиус манжеты, $r_b = 17,25$ мм [4] (рис. 6, а).

Предварительное удельное давление в уплотнении найдем по формуле ([2], с. 41):

$$p_0 = \frac{1,5 \cdot E \cdot \varepsilon_t (r_n^2 - r_b^2)}{r_n^2 + 2 \cdot r_b^2} = 5,6854 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

где E – модуль упругости полиуретана, $E = 10$ МПа [5]; $\varepsilon_t = \Delta r_b / r_b = 0,1594$ – коэффициент величины предварительного поджатия манжеты (рис. 6, б); $\Delta r_b = D/2 - r_b = 2,75$ мм – изменение внутреннего радиуса манжеты вследствие натяга; $D = 40$ мм – диаметр поршня проектируемого цилиндра.

Расчетная величина утечки при заданной скорости движения штока 0,2 м/с составляет $Q_y = 3,2752 \cdot 10^{-11}$ м³/с, или $Q_{y, \text{ТЕОР}} = 1,303 \cdot 10^{-3}$ см³/м².

Данное значение полностью удовлетворяет требованиям, указанным в методике проведения приемо-сдаточных испытаний (0,3 см³/м²).

Экспериментально определенная утечка, приходящаяся на 1 м² поверхности штока, проходящая через уплотнение, составляет $Q_{y, \text{ЭКСП}} = 1,461 \cdot 10^{-3}$ см³/м².

Таким образом определенное экспериментальным путем значение утечки сопоставимо со значением утечки, рассчитанным теоретически, и соответствует требованиям, следовательно, имеющуюся методику расчета целесообразно применять при использовании уплотнений из современных материалов.

Литература

1. Уплотнения и уплотнительная техника : справочник / Л. А. Кондаков [и др.] ; под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.
2. Макаров, Г. В. Уплотнительные устройства / Г. В. Макаров. – Л. : Машиностроение, 1973. – 232 с.
3. Буренин, В. В. Уплотнения из резины и других материалов для соединений с возвратно-поступательным движением машин и механизмов / В. В. Буренин. – ЦНИИТЭНефтехим, 1993. – 80 с.
4. Гидравлические и пневматические уплотнения Kastас. Технический каталог. – Режим доступа: http://www.kastas.com.tr/images2/img/1980/File/Kastas_TechnicalCatalogue_RU.pdf.
5. Обзор материалов Kastас. – Режим доступа: http://www.kastas.com.tr/images2/img/1980/File/TPU%20Overview_2015_07.pdf.