

ИЗУЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КАПЕЛЬНЫХ УТЕЧЕК В МАЛЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАЗОРАХ

М. И. Петоченко, Д. В. Лаевский

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

Научный руководитель Ю. А. Андреевец

Современные гидроустройства комплектуются большим количеством различных уплотнений, одним из которых является щелевое (лабиринтное) уплотнение. Основное преимущество щелевых уплотнений – это резко изменяющиеся проходные сечения канала или направление потока, при помощи выступов или канавок, а трение в них намного меньше, чем в других видах уплотнений.

Целью работы является изучения различных видов щелевых (лабиринтных) уплотнений и выявление оптимальной формы.

У цилиндрически сопрягаемых деталей щелевое лабиринтное уплотнение, как правило, имеет одностороннее расположение кольцевых канавок, изготовленных на плунжере (рис. 1).

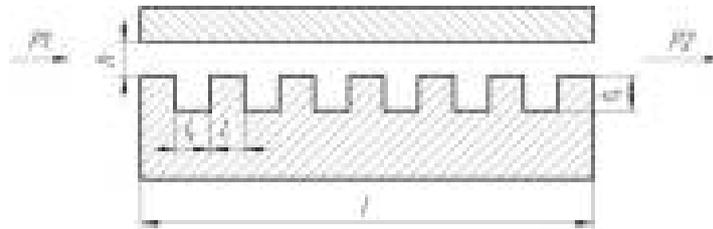


Рис. 1. Схема лабиринтного уплотнения

Сопротивление потоку жидкости в таком уплотнении создается на участках с малыми зазорами, как и в обычном щелевом уплотнении, а также в самих канавках, где происходят потери напора вследствие деформации потока и трения.

Рекомендации по выбору размеров канавок следующие: ширина канавки может быть $l_k = 0,2 \div 1,5$ мм, глубина $h_k = 0,2 \div 1,0$ мм, расстояние между канавками $l_1 = 0,5 \div 5$ мм. Более того, указанные размеры ни в какой степени не связаны ни с величиной зазора h , ни с режимом течения.

На рис. 2 представлены различные формы сечения канавок.

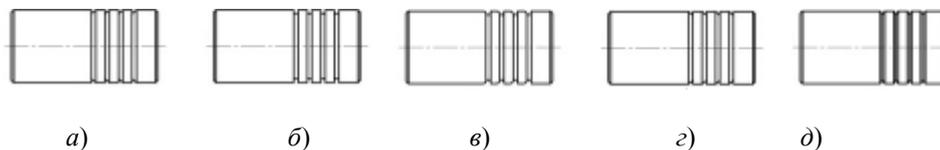


Рис. 2. Формы сечения лабиринтной канавки:

а – прямоугольный треугольник с острым углом против потока; б – прямоугольник; в – прямоугольник с закругленным углом; г – прямоугольный треугольник с острым углом по движению потока; д – равносторонний треугольник

Утечку через лабиринтное уплотнение рекомендуется рассчитывать, принимая во внимание только эффективную длину щели:

$$Q = \frac{\pi d h^3 \cdot \Delta p}{12 \nu \rho l_{\text{эф}}},$$

$$l_{\text{эф}} = l - \sum l_k,$$

где d – диаметр плунжера; h – величина зазора; Δp – потери давления в лабиринтном уплотнении; ν – кинематическая вязкость жидкости; ρ – плотность жидкости; $l_{\text{эф}}$ – эффективная длина щели; l – длина щели; $\sum l_k = z l_k$ – суммарная ширина канавок; z – число канавок; l_k – ширина канавки.

Потери давления в лабиринтном уплотнении определяли по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta p = \lambda \frac{l_{\text{эф}}}{D_r} \cdot \frac{\rho \vartheta^2}{2} + z \xi \frac{\rho \vartheta^2}{2},$$

где λ – коэффициенты гидравлического трения; $D_r \approx 2h$ – гидравлический диаметр; ϑ – средняя скорость течения потока; ξ – коэффициенты гидравлического сопротивления.

Для ламинарного режима течения коэффициент гидравлического трения определяется по формуле

$$\lambda_{\text{л}} = \frac{100}{\text{Re}}.$$

Для турбулентного режима течения

$$\lambda_{\text{т}} = \frac{19,63}{\text{Re}^{0,77}},$$

где Re – число Рейнольдса, определяемое по формуле

$$\text{Re} = \frac{d\vartheta}{\nu}.$$

Коэффициент гидравлического сопротивления зависит от формы сечения и числа Рейнольдса.

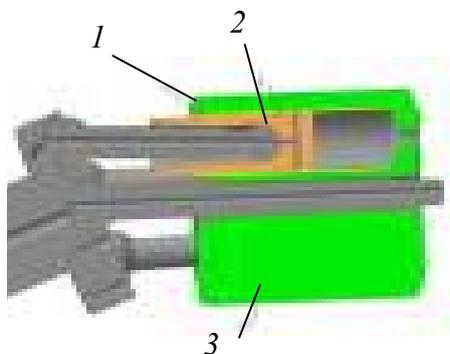


Рис. 3. Пара трения поршень–блок цилиндров:
1 – поршень; 2 – втулка; 3 – блок цилиндров

Рассчитаем утечки через лабиринтное уплотнение поршня насоса типа 210. Зададимся следующими геометрическими размерами и параметрами. Диаметр поршня $d = 0,032$ м, длина поршня $l = 0,065$ м, ширина канавки $l_k = 1$ мм, глубина $h_k = 0,5$ мм, расстояние между канавками $l_1 = 2$ мм, число канавок $z = 4$, величина зазора $h = 50$ мкм. Значение коэффициента гидравлического сопротивления для заданных размеров и различных форм канавок представлено в виде графика в зависимости от числа Рейнольдса.

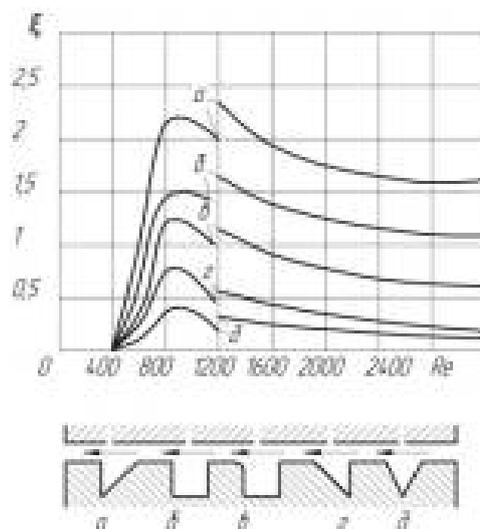


Рис. 4. Влияние формы сечения лабиринтной канавки на величину коэффициента гидравлического сопротивления

Наибольшее гидравлическое сопротивление потоку создает канавка с сечением прямоугольного треугольника, катет которого перпендикулярен направлению потока, а острый угол находится со стороны избыточного давления. Увеличение гидравлического сопротивления такой канавки по сравнению с сопротивлением канавки прямоугольного сечения достигает 40 %. Минимальное сопротивление потоку создает канавка треугольной формы с сечением равнобедренного треугольника. Гидравлическое сопротивление канавки, имеющей скругленные кромки, примерно на 30 % меньше сопротивления канавки с острыми кромками.

Насос работает на масле ИГП38, которое при температуре 50 °С имеет следующие характеристики: плотность $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$, кинематическая вязкость $\nu = 40 \text{ сСт}$, динамическая вязкость $\mu = 35600 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Расчет утечек сводим в таблицу.

Расчетные параметры

Форма уплотнения	$\vartheta, \text{ м/с}$	Re	λ	ξ	$\Delta p \cdot 10^{-3}, \text{ МПа}$	$Q \cdot 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q, \text{ л/сут.}$
а	0,750	800	0,125	2,15	21,2	1,363	1,178
б				1,40	20,5	1,318	1,139
в				1,20	20,3	1,305	1,128
г				0,70	19,8	1,273	1,100
д				0,40	19,5	1,254	1,083
а	1,125	1200	0,084	2,25	33,8	2,171	1,876
б				1,65	32,4	2,085	1,801
в				1,10	31,2	2,005	1,732
г				0,50	29,8	1,918	1,657
д				0,35	29,5	1,896	1,638

Окончание

Форма уплотнения	q , м/с	Re	λ	ξ	$\Delta p \cdot 10^{-3}$, МПа	$Q \cdot 10^{-8}$, м ³ /с	Q , л/сут.
а	1,500	1600	0,067	1,95	48,7	3,132	2,706
б				1,40	46,5	2,990	2,584
в				0,90	44,5	2,862	2,473
г				0,40	42,5	2,733	2,361
д				0,20	41,9	2,694	2,328
а	1,875	2000	0,056	1,75	64,8	4,165	3,599
б				1,30	62,0	3,984	3,442
в				0,80	58,8	3,783	3,268
г				0,35	56,0	3,601	3,112
д				0,20	55,1	3,541	3,059
а	2,250	2400	0,049	1,70	82,7	5,314	4,591
б				1,20	78,1	5,024	4,341
в				0,75	74,1	4,764	4,116
г				0,30	70,0	4,503	3,890
д				0,15	68,7	4,416	3,815

Для наглядности представим расчеты в виде графика зависимости утечки от числа Рейнольдса.

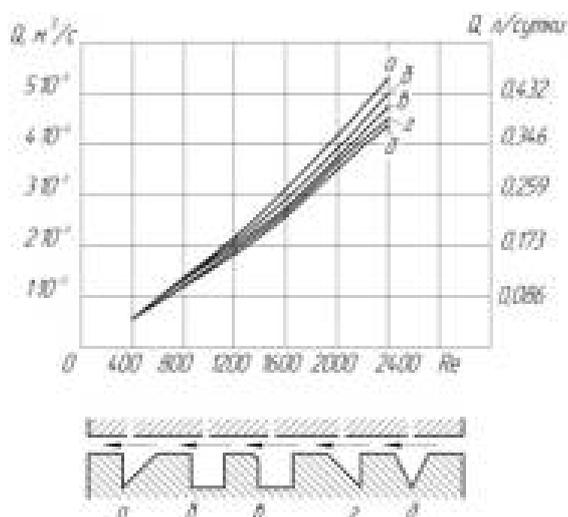


Рис. 5. Влияние формы сечения лабиринтной канавки на величину утечек

Из графика видно, что наибольшая величина утечек будет у канавки с сечением прямоугольного треугольника, острый угол которого находится со стороны избыточного давления, а наименьшая у канавки с сечением равнобедренного треугольника. Разница между этими значениями составляет около 15 %.

Заключение

Выявлено, что применение лабиринтных уплотнений с целью снижения утечек при ламинарном режиме не оправдано. Однако нарезку канавок можно выполнять для заклинивания плунжерной пары при работе на загрязненной жидкости, так как при этом обеспечивается наилучшее удаление твердых частиц из зазора, что в свою очередь приводит к уменьшению сил адгезии.

Литература

1. Никитин, Г. А. Щелевые и лабиринтные уплотнения гидроагрегатов / Г. А. Никитин. – М. : Машиностроение, 1982. – 135 с.