

УДК 62-762.001

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УСИЛИЯ В УПЛОТНЯЮЩЕМ ЭЛЕМЕНТЕ ТОРЦЕВОГО МЕМБРАННОГО УПЛОТНЕНИЯ ОТ ОБЩЕЙ НАГРУЗКИ

© 2017 В.Б. Балыкин, А.В. Лаврин, В.Б.А. Оссиала

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 09.12.2017

В работе приводится обобщенный расчет относительной величины усилия, передаваемого мембранным узлом торцевого уплотнения на центральную втулку, образующую контактную уплотнительную поверхность. Представлена функциональная зависимость величины уплотняющего усилия от различных сочетаний диаметральных размеров кольцевой мембраны. Сделан вывод о пригодности значений полученной функции для использования в качестве коэффициента суммарной гидравлической нагрузки при расчетах контактных давлений, реализуемых в уплотнениях.

Ключевые слова: торцевое мембранные уплотнение, уплотнительный элемент, центральная втулка, периферийный диаметр, элементарный кольцевой сектор, распределенная нагрузка, координата центра тяжести, контактное давление.

ВВЕДЕНИЕ

Разработанные в настоящее время методики расчета торцевых уплотнений валов в большинстве случаев описывают контактную пару, одним из элементов которой является специальное профилированное кольцо. Его начальное поджатие к уплотняющей поверхности обеспечивается упругим элементом (пружиной или сильфоном), который может быть, как подвижным, так и неподвижным. В работе [1] приводятся основные типы таких уплотнений, представленные на рис. 1. Расчет осевого усилия, передаваемого такими уплотнениями на контактную поверхность, не представляет большой сложности. Его слагаемыми являются начальная величина силы сжатия упругого элемента и разница сил гидравлического давления, действующих на противоположные стороны профилированного кольца.

В торцевом мембранным уплотнении, типичное исполнение которого представлено на рис. 2, осевое усилие поджатия также состоит из двух составляющих, одно из которых реализуется посредством усилия сжатой пружины, действующей на центральную втулку.

Более существенным по величине является второй компонент суммарного усилия, возникающий вследствие действия избыточного гидравлического давления на кольцевую площадь упругой тонкостенной мембранны. Очевидно, что из-за перераспределения нагрузок только часть данного усилия приходит на центральную втул-

ку, создавая в итоге вместе с пружиной контактное давление торцевого уплотнения. Остальная составляющая гидравлического давления приходит на периферийный участок мембранны по месту ее окружной заделки и не участвуют в создании контактного давления. Нахождение теоретической зависимости, определяющей усилие в уплотнительном элементе в зависимости от геометрических пропорций мембранных узла, в дальнейшем позволит выполнять различные виды расчетов данных уплотнений, в том числе по моментным характеристикам трения.

Цель исследования. Для различных соотношений характерных диаметров d (посадочный диаметр центральной втулки) и D (периферийный диаметр мембранны) необходимо найти относительную величину нагрузки, передаваемую мембранный на центральную втулку.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА

Принимаем, что результирующее усилие F от равномерно распределенного по кольцу гидравлического давления p сосредотачивается в виде погонной кольцевой нагрузки, прикладываемой по диаметру $D_{\text{ц}}$, проходящему через центры масс каждого элементарного кольцевого сектора с углом при вершине α . Положение центра масс для сектора определяется по формуле:

$$R_{\text{ц}} = \frac{2R_D \sin \alpha}{3\alpha},$$

где R_D – радиус, соответствующий диаметру D , мм.
С учетом уравнения

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{\sin \alpha}{\alpha} = 1$$

Балыкин Валерий Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кафедрой основ конструирования машин. E-mail: 029-029@mail.ru
Лаврин Андрей Владимирович, аспирант кафедры основ конструирования машин
Оссиала Венесслас Бель Амур, инженер кафедры ОКМ, аспирант. E-mail: scofi_eld_ossiala@yahoo.com

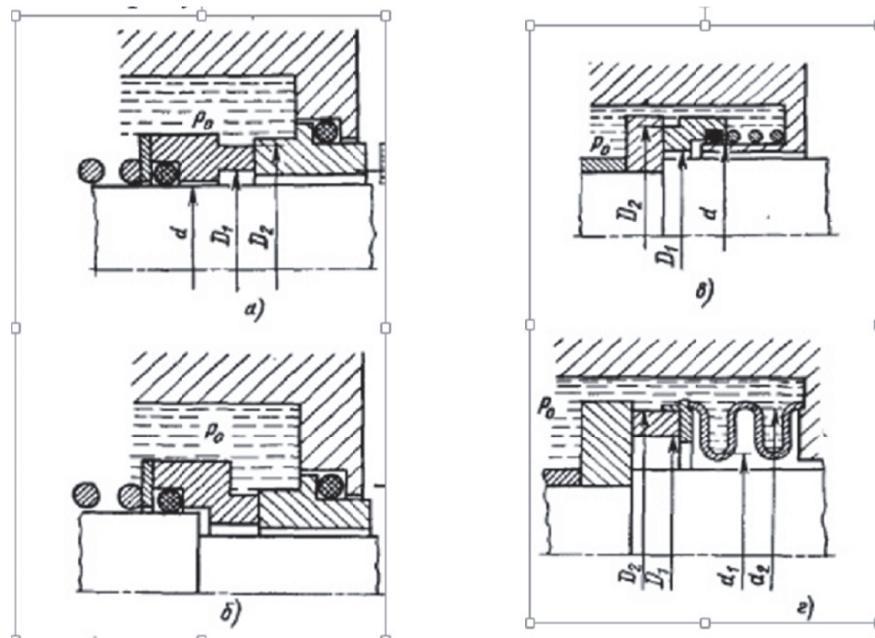


Рис. 1. Схема торцевых уплотнений с подвижными (а, б) и неподвижными (в, г) упругими элементами

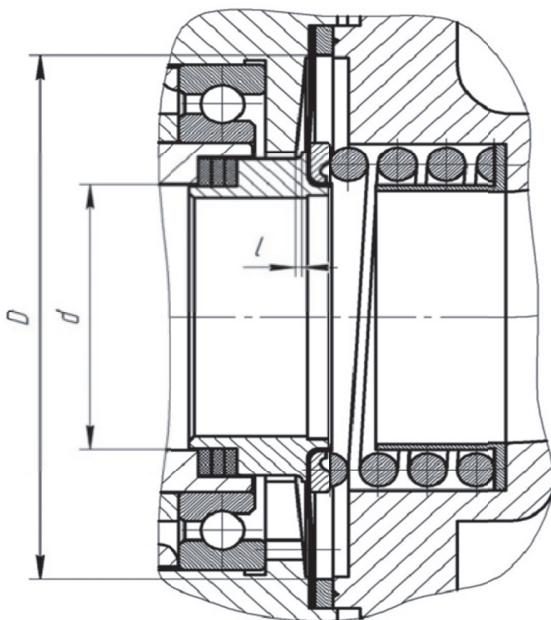


Рис. 2. Торцевое мембранное уплотнение

для малых углов $\delta\alpha$ положение центров масс элементарных секторов принимает окончательный вид:

$$R_{ц} = \frac{2}{3} R_D.$$

Вычислим положение центра масс участка кольца (кольцевого сектора), приведенного на рис. 3.

Площадь сектора, ограниченного углом $\delta\alpha$ и радиусом R_D , вычисляется по формуле:

$$S = \pi R_D^2 \frac{\delta\alpha}{2\pi} = \pi R_D^2 \cdot k.$$

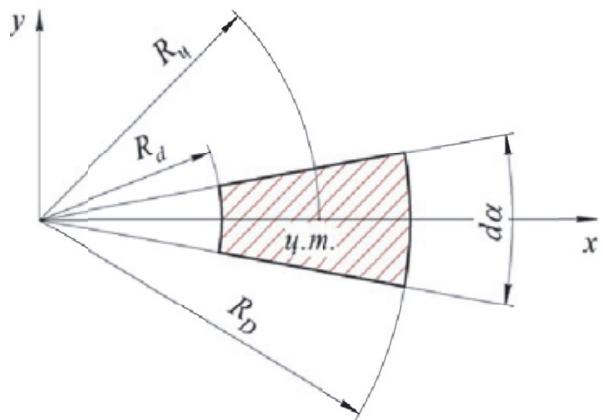


Рис. 3. Определение центра масс кольцевого участка

Площадь сектора, ограниченного углом $\delta\alpha$ и радиусом R_d :

$$S_1 = pR_d^2 \frac{\delta\alpha}{2\pi} = \pi R_d^2 \cdot k.$$

Площадь участка кольца:

$$S_k = S - S_1.$$

Соотношение между отдельными площадями и координатами их центров масс устанавливается уравнением:

$$S \cdot x = S_k \cdot R_{ц} + S_1 x_1,$$

где x – координата центра тяжести сектора, ограниченного R_D , мм;

x_1 – координата центра тяжести сектора, ограниченного R_d , мм;

$R_{ц}$ – координата центра тяжести участка кольца, мм.

Тогда координата центра тяжести элемен-

тарного кольцевого сектора, ограниченного радиусами R_D , R_d и углом $d\alpha$ составит:

$$R_{\text{ц}} = \frac{S \cdot x - S_1 x_1}{S - S_1};$$

$$R_{\text{ц}} = \frac{\pi R_D^2 \cdot k \cdot \frac{2}{3} R_D - \pi R_d^2 \cdot k \cdot \frac{2}{3} R_d}{(\pi R_D^2 - \pi R_d^2) \cdot k};$$

$$R_{\text{ц}} = \frac{2}{3} \left(\frac{R_D^3 - R_d^3}{R_D^2 - R_d^2} \right).$$

Суммированием погонной кольцевой нагрузки по диаметру $D_{\text{ц}}$ данного элементарного кольцевого сектора получаем результирующее усилие δF , которое также приложено по диаметру $D_{\text{ц}}$ ($D_{\text{ц}} = 2R_{\text{ц}}$). Ввиду эластичности мембранны пренебрегаем изгибающим моментом по местам заделки.

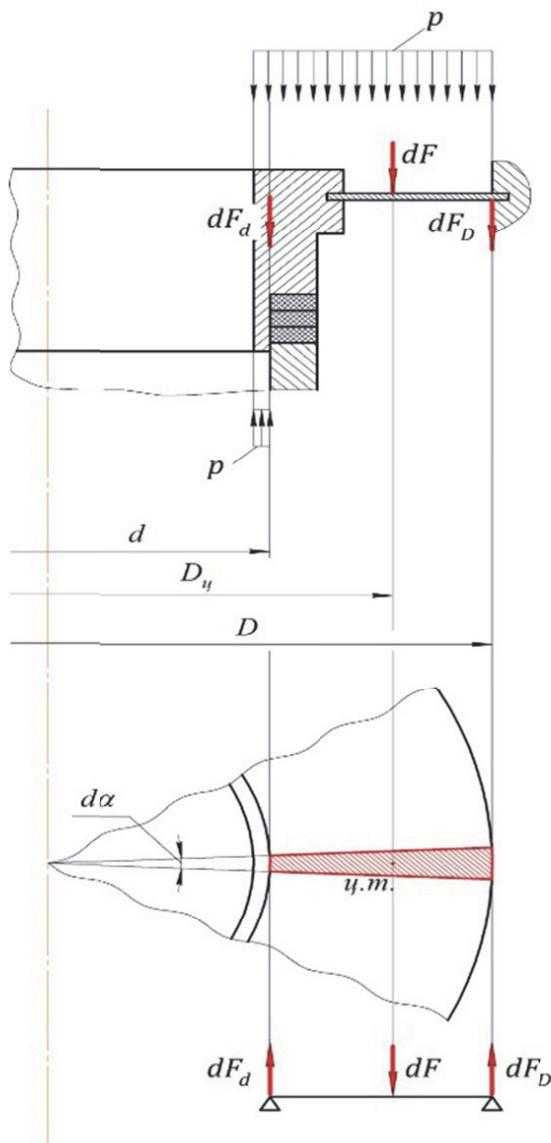


Рис. 4. Распределение нагрузок в мемbrane

Рассматривая каждый элементарный сектор как элементарную двухпорную балку, принимаем, что усилие δF распределяется на втулку и на периферийную заделку обратно пропорционально расстоянию от точки приложения усилия δF до наружного и внутреннего диаметра (до наружной и внутренней опоры) (см. рис. 4).

Исходя из имеющихся геометрических соотношений:

$$\delta F_d \cdot (D - d) = \delta F \left(D - \frac{2}{3} \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right) \right)$$

$$\frac{\delta F_d}{\delta F} = \frac{D - \frac{2}{3} \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right)}{(D - d)}.$$

После преобразований получаем:

$$\frac{\delta F_d}{\delta F} = \frac{D^3 - 3d^2D + 2d^3}{3(D^3 - Dd(D + d) + d^3)}.$$

Очевидно, что для всей кольцевой площади мембранны выполняется такое же соотношение между суммарной нагрузкой и ее частью, приходящейся на центральную втулку:

$$\frac{\delta F_d}{\delta F} = \frac{D^3 - 3d^2D + 2d^3}{3(D^3 - Dd(D + d) + d^3)}.$$

Особенностью конструкции торцевого мембранныго уплотнения является наличие конического бурта, расположенного за мемброй. Под воздействием давления мембрана прогибается и касается конического бурта по окружности D_1 (см. рис. 5).

В таком случае диаметр D_1 следует рассматривать вместо периферийного диаметра D , и

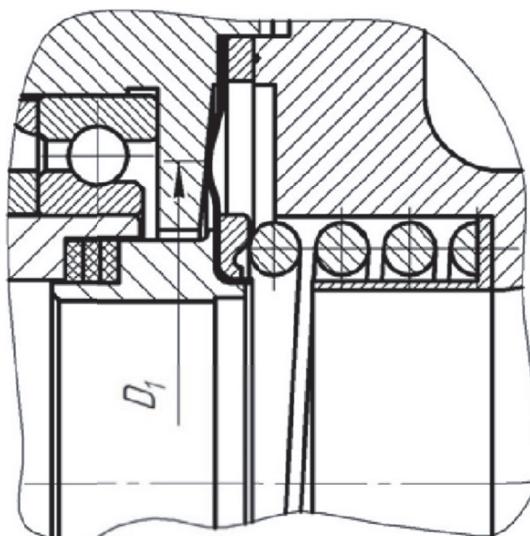
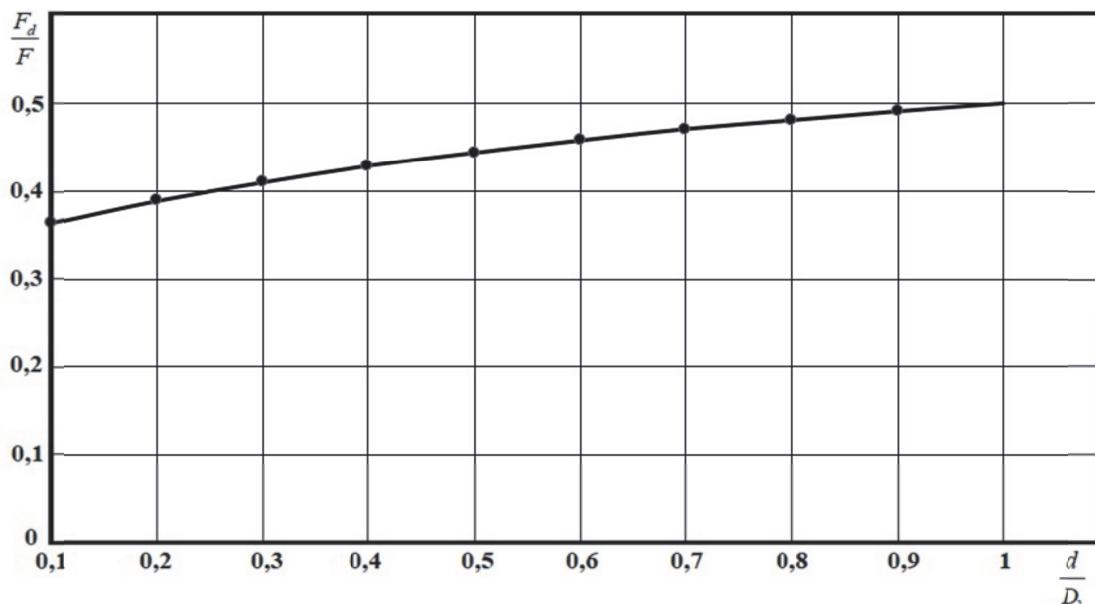


Рис. 5. Рабочее положение мембранны

Таблица 1. Значения параметра F_d/F при различных отношениях D_1 и d

$\frac{d}{D_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\frac{F_d}{F}$	0,363	0,389	0,410	0,429	0,444	0,458	0,471	0,481	0,491

**Рис. 6.** Относительная величина нагрузки на центральную втулку при различных соотношениях D_1 и d

соотношение (4) принимает окончательный вид:

$$\frac{F_d}{F} = \frac{D_1^3 - 3d^2D_1 + 2d^3}{3(D_1^3 - D_1d(D_1 + d) + d^3)}.$$

В табл. 1 представлены данные по соотношению F_d/F при различных сочетаниях диаметров D_1 и d . Соответствующий график зависимости относительной величины нагрузки, приходящейся на центральную втулку, от геометрических характеристик мембранных представлен на рис. 6.

Указанный график носит теоретический характер. Значения функции лежат в диапазоне 0,33...0,50. Очевидно, что при крайних значениях аргумента функции реальное исполнение мембранных невозможно. Так, при $d/D_1 = 0$ в мемbrane отсутствует центральное отверстие (втулка) для протока рабочей среды. При $d/D_1 = 1,0$ рабочий участок мембранных вырождается в окружность, что исключает восприятие ею какого-либо гидравлического нагружения. Однако, внутри приведенного диапазона аргумента (0...1,0) реальное конструктивное исполнение мембранных узла вполне осуществимо, что делает полученный график пригодным для прове-

дения теоретических расчетов усилий, возникающих в торцевых уплотнениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получена теоретическая зависимость, показывающая перераспределение нагрузок в мембранным узле между центральной втулкой и периферийным кольцевым местом заделки (или промежуточной опорой). Найденная зависимость описывает любое реальное исполнение мембранных узла в виде тонкостенного кольца с центральной втулкой, в котором имеется геометрическое разнесение диаметров втулки и кольцевой линии соприкосновения мембранны с опорой. Полученные значения функции необходимо использовать при расчетах в качестве коэффициента, показывающего долю от общего гидравлического усилия, которая непосредственно формирует контактное давление в торцевом мембранных уплотнении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уплотнение и уплотнительная техника: Справочник / А.И. Голубев [и др.]. М., Машиностроение, 1986, 464с.

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF FORCES IN THE CONDENSING ELEMENT OF THE END MEMBRANE SEAL FROM THE TOTAL LOAD

© 2017 V.B. Balyakin, A.V. Lavrin, V.B.A. Ossiala

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper provides a generalized calculation of the relative magnitude of the force transmitted by the membrane seal assembly to the central bush that forms the contact sealing surface. The functional dependence of the value of the sealing force on various combinations of diametral dimensions of the annular membrane is presented. A conclusion is made about the suitability of the values of the obtained function for use as the coefficient of the total hydraulic load in calculating the contact pressures realized in the seals.

Keywords: membrane end seal, sealing element, central bushing, peripheral diameter, elementary ring sector, distributed load, coordinate of the center of gravity, contact pressure.

Valery Baljakin, Doctor of Technics, Professor, Head at the Machine Building Design Department.

E-mail: 029-029@mail.ru

Andrey Lavrin, Graduate Student at the Machine Building Design Department.

Ossiala Venceslas Bel Amour, Engineer at the Machine Design Department, Graduate Student.

E-mail: scofi_eld_ossiala@yahoo.com