

# Специальные уплотнения: мембраны Спектр продукции

Мембраны: общие положения .....	15.1
Мембраны для тормозных систем с пневматическим приводом .....	15.2
Длинноходные закатывающиеся мембраны BFA/BFAO ...	15.5
Мембранное полотно .....	15.12

## **Следующие изделия см. теперь в гл. 17:**

Пластины и полотна .....	17.18
--------------------------	-------

## Мембраны: общие положения

Практически во всех промышленных отраслях конструкторы сталкиваются с необходимостью гибкого соединения элементов конструкции, разделением пространств между ними и одновременно созданием герметичной перегородки.

С этой задачей почти всегда помогают справиться мембраны из резиноэластичных материалов.

Разнообразные требования со стороны механических, термических и химических нагрузок учитываются в специальных заказах. Наши специалисты всегда готовы к новым разработкам благодаря научно-техническим знаниям и многолетнему опыту.

**15**

Наряду со специальными формами мембран, которые изготавливаются по дополнительному заказу, в следующей главе мы предлагаем вашему вниманию стандартные изделия.

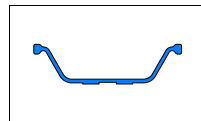
При этом речь идет о

- мембранах для тормозных систем с пневматическим приводом;
- длинноходных закатывающихся мембранах;
- мембранных полотнах (прорезиненная с обеих сторон ткань);
- пластинах.

Мембранные полотна и пластины используются преимущественно для экономически выгодного штампования плоских мембран и прокладок.

Подробную информацию о специальном изготовлении мембран см. в → Специальные уплотнения: мембраны – Технические основы со стр. 16.0.

## Мембраны для тормозных систем с пневматическим приводом



### 1. Особенности

Тормозные мембраны представляют собой формованные под давлением, армированные тканью мембраны со стандартной геометрией для цилиндров сжатого воздуха в пневматических тормозных устройствах.

### 2. Область применения

В пневматических тормозных цилиндрах мембрана (диафрагма) часто устанавливается между поршнем и корпусом, как уплотняющий элемент.

### 3. Характерные свойства

Благодаря своей конструкции и свойствам материала тормозные мембраны работают практически без технического обслуживания, с низким трением, без течи и без больших усилий сдвига.

В зависимости от передачи тормозного усилия, они применяются в трех различных типах цилиндров:

- мембранные цилиндры для пуска колесного тормозного привода;
- мембранные тормозные цилиндры с пружинным энергоаккумулятором для рабочего тормозного привода и пружинный энергоаккумулятор для стояночного тормоза;
- мембранные трехступенчатые цилиндры для кулачкового тормоза и клинового колесного тормоза.

Все конструкции мембран работают одинаково. Цилиндры различаются исключительно типом крепления.

### 4. Материал

Эластомер: специальная смесь на основе SBR  
Устойчивость к низким температурам:  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$   
твердость по Шору:  $65 \pm 5$  Шор А  
Прокладка тканью: полиамид 6.6

### 5. Условия применения

Рабочее давление: до 8,5 бар (в особых случаях до 10 бар)  
Температура:  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$   
Среда: маслосодержащий компрессорный воздух  
Частота хода: ок. 18 циклов/мин.  
Длина хода: соотв. конструкции  
Долговечность: ок. 2 миллионов циклов

### 6. Технические условия для испытаний тормозных мембран

#### 6.1 При комнатной температуре:

- 50.000 циклов при 90% хода/8,5 бар
- 250.000 циклов при 66% хода/6,0 бар
- 1,7 мил. циклов при 50% хода/4,0 бар

#### 6.2 Испытания при низкой температуре ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ):

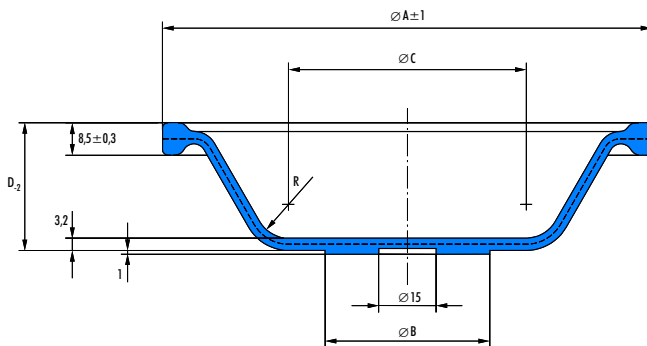
- 10.000 циклов при 66% хода/8,5 бар

#### 6.3 Испытания при высокой температуре ( $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ):

- 10.000 циклов при 66% хода/8,5 бар

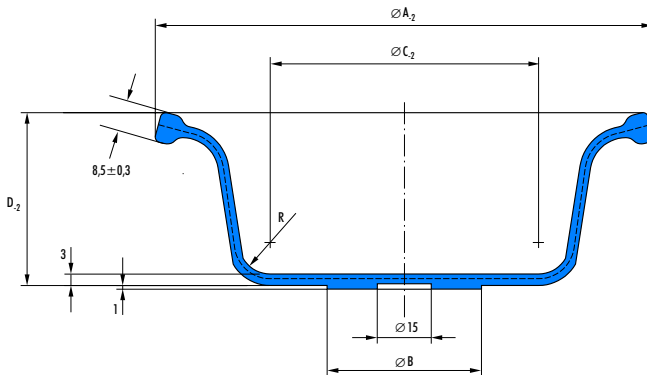
## 7. Программа поставки

**A** Тормозная мембрана, стандартный ход ок. 50 мм



Тормозная мембрана A						
Тип	A	B	C	D	R	Артикул №
09	127,8	43	62,1	34,3	8,7	471864
12	138,8	43	78,3	28	6,3	471865
16	156,4	43	93,3	35,7	6,3	471867
20	168,0	43	102,8	35,7	6,3	471868
24	179,0	43	113,9	35,7	6,3	471854
30	201,2	43	132,7	38,9	6,3	471856
36	224,2	43	140,5	45,2	11,1	471858

15

**B** Тормозная мембрана, длина хода ок. 75 мм

Тормозная мембрана B						
Тип	A	B	C	D	R	Артикул №
12 LS	138,8	43	73,8	48	5	471872
16 LS	156,4	43	86,6	48	8	471873
20 LS	168,0	43	98,2	49	8	471874
24 LS	179,0	42	109,4	49	8	471875
30 LS	201,0	42	131,4	49	8	471876

**8. Пример заказа****A**

Мембрана для 16-дюймового мембранного цилиндра  
(ход 50 мм)

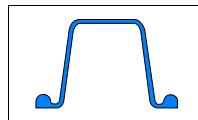
Тип 36 или артикул № 471858

**B**

Мембрана для 20-дюймового мембранного цилиндра  
(ход 75 мм)

Тип 30 LS или артикул № 471876

## Длинноходные закатывающиеся мембраны BFA/BFAO



### 1. Особенности

Длинноходные закатывающиеся мембраны – это специальные тонкостенные, тонкопленочные мембраны из резиноэластичных материалов, армированные тканью. Наряду со стандартным исполнением типа BFA длинноходные закатывающиеся мембраны могут поставляться и в бестканевом варианте типа BFAO.

### 2. Область применения

Длинноходные закатывающиеся мембраны применяются в гидравлических и пневматических приборах управления и контроля, в выключателях и преобразователях давления, а также в измерительных и индикаторных приборах. В бестканевом исполнении они находят применение при малых давлениях.

### 3. Характерные свойства

Малая толщина мембраны и большая высота, по отношению к диаметру, дают следующие преимущества:

- низкое, почти постоянное сопротивление на всем ходу;
- существенно большая длина хода, по сравнению с традиционными мембранами того же диаметра;
- эффективная площадь поверхности не меняется на протяжении всего хода;
- отсутствует дополнительное сопротивление при старте или изменении направления движения, нет мертвой точки в рабочем диапазоне;
- по сравнению с манжетными уплотнениями, меньшие требования к поршню и цилиндру.

### 4. Материал

Стандартный материал: 50 NBR 253 на основе акрилонитрил-бутадиен-каучука (NBR) с или без полиэфирной ткани.

→ Гл. 16, 5. Материалы для мембран, на стр. 16. 14.

Более подробно о строении длинноходных закатывающихся мембран и свойствах эластомеров см. → Общие технические данные и материалы со стр. 20.0.

Закатывающиеся мембраны из силиконового каучука, фторкаучука и EPDM с тканью производятся только до высоты  $H_{\max} = 0,6 D_g$  ( $D_g$  = диаметр цилиндра). Для фторкаучука требуется специальная оснастка. Для выбора подходящего материала должны быть известны точные условия работы.

### 5. Условия применения

Стандартная серия BFA из нитрилкаучука, армированного тканью, для применения в сжатом воздухе и минеральном масле допускает рабочее давление до 10 бар и испытательное давление до 15 бар. **!** Для применения в среде городских и природных газов, бензине и тормозной жидкости, а также при повышенных температурах, по запросу поставляются особые марки.

Конструкционная форма BFAO применяется, в основном, только тогда, когда рабочее давление не превышает 1,5 бар. Необходимо принимать во внимание малое удлинение при растяжении.

Для всех размеров, также с обратной направляющей поршня, должна соблюдаться разница давлений от 0,15 бар, иначе в закатывающейся части образуются складки или впадины. Это противодействие достигается за счет дроссельного клапана. Необходимо обеспечить вентиляционное отверстие, чтобы предотвратить давление на ненагруженной стороне.

### 6. Монтаж

У длинноходных закатывающихся мембран армирование тканью должно быть с ненагруженной давлением стороны. Перед монтажом мембрану переворачивают, если закатывающаяся складка образовала при этом купол, то необходимо применять монтажную оправку. Отвертку не использовать!

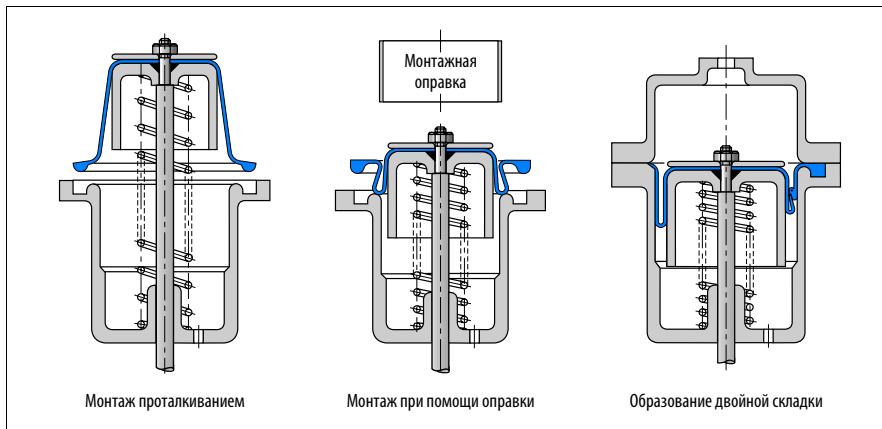
Другая возможность монтажа: соберите закатывающуюся мембрану на поршне, выступ заложите в канавку и протолкните поршень в цилиндр. При этом получится закатывающаяся складка.

Поршень после насадки нельзя поворачивать, чтобы не перекосить складку.

Для поддержки пружины достаточно шайбы.

Необходимо всегда обеспечивать ограничение хода.

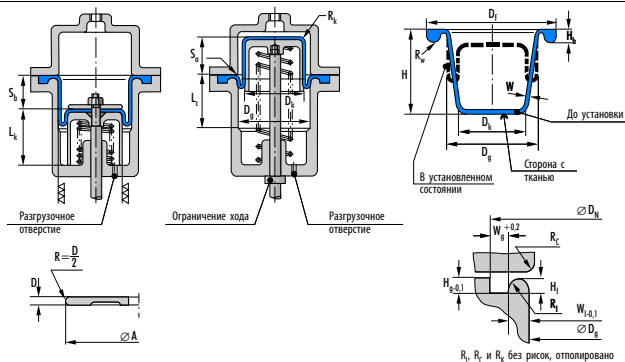
Закатывающаяся поверхность мембраны должна быть аккуратно обработана и отполирована. Переходные радиусы на зажимном фланце, основании поршня и крышке должны быть сглажены и не иметь задигов.



## 7. Монтажные размеры

∅ цилиндра	$D_g$	до 60 мм	до 100 мм	до 150 мм	> 150 мм
<b>Монтажные размеры</b>					
∅ поршня	$D_k$	$D_g - 5$	$D_g - 10$	$D_g - 10$	$D_g - 10$
∅ канавки	$D_n$	$D_g + 15$	$D_g + 21$	$D_g + 27,5$	$D_g + 27,5$
Радиус поршня	$R_k$	3,5	4,5	5,8	7,0
Радиус крышки	$R_c$	2,0	2,0	2,0	2,0
Глубина канавки	$H_g$	3,0	4,0	5,0	5,0
Ширина канавки	$W_g$	4,0	5,5	7,2	7,2
Ширина буртика	$W_i$	3,5	5,0	6,5	6,5
Высота буртика	$H_i$	2,3	3,1	3,5	3,5
Радиус буртика	$R_i$	1,75	2,5	3,25	3,25
<b>Размеры мембран</b>					
∅ фланца	$D_f$	$D_g + 14$	$D_g + 20$	$D_g + 26$	$D_g + 26$
Толщина стенки	$W$	0,45	0,55	0,8	1,0
Буртик фланца	$H_b$	3,6	5,0	6,3	6,3
Радиус	$R_w$	1,75	2,50	3,25	3,25

∅ цилиндра	D <sub>g</sub>	до 60 мм	до 100 мм	до 150 мм	> 150 мм
<b>Минимальная длина тщательно обработанной поверхности</b>					
на поршне	L <sub>k</sub>	0,5 (H+S <sub>a</sub> )	0,5 (H+S <sub>a</sub> )	0,5 (H+S <sub>a</sub> )	0,5 (H+S <sub>a</sub> )
на цилиндре	L <sub>c</sub>	0,5 (H+S <sub>b</sub> )	0,5 (H+S <sub>b</sub> )	0,5 (H+S <sub>b</sub> )	0,5 (H+S <sub>b</sub> )
<b>Ход мембраны</b>					
в прямом направлении макс.	S <sub>a</sub>	H-8	H-14	H-20	H-20
в обратном направлении макс.	S <sub>b</sub>	H-8	H-14	H-20	H-20
<b>Крепежная пластина</b>					
	A	D <sub>k</sub> +2,9	D <sub>k</sub> +4,1	D <sub>k</sub> +5,6	D <sub>k</sub> +6
	D	1,5	3,0	4,0	5,0





## 8. Программа поставки

Размеры, указанные в списках оснатов и имеющихся на складе изделий являются номинальными. Фактические размеры длинноходных закатывающихся мембран отличаются от них незначительно. Диаметры  $D_g$  и  $D_k$  изготавливаются немного меньше, а высота – немного больше. Благодаря этому мембрана немного растягивается при установке. Это необходимо для бесперебойной работы мембраны. Корректировка размеров обеспечивает большую безопасность закатывающейся складки при остановке в конечном положении.

В следующей таблице приводятся поставляемые со склада размеры деталей и их монтажные размеры для стандартных конструкций BFA. Первые две цифры определяют диаметр цилиндра и поршня, третья дает высоту мембраны для допустимого хода.

Номенклатурный перечень BFA						
$D_g$ мм	$D_k$ мм	H мм	s мм	$A_w^*$ мм <sup>2</sup>	Материал	Артикул №
16	12	13	0,45	154	50 NBR 253	2227
20	15	20	0,45	241	50 NBR 253	35842
25	20	10	0,45	398	50 NBR 253	23898
25	20	15	0,45	398	50 NBR 253	34050
25	20	20	0,45	398	50 NBR 253	457
25	20	25	0,45	398	50 NBR 253	33921
30	25	10	0,45	594	50 NBR 253	530043
30	25	18	0,45	594	50 NBR 253	110820
30	25	25	0,45	594	50 NBR 253	37944
30	25	30	0,45	594	50 NBR 253	35794
33	28	27	0,45	731	50 NBR 253	426243
35	30	10	0,45	830	50 NBR 253	37112
35	30	22	0,45	830	50 NBR 253	35960
35	30	28	0,45	830	50 NBR 253	35805
35	30	35	0,45	830	50 NBR 253	34445
35	30	40	0,45	830	50 NBR 253	368669
40	35	18	0,45	1104	50 NBR 253	2294
40	35	25	0,45	1104	50 NBR 253	96543
40	35	40	0,45	1104	50 NBR 253	35845
45	40	10	0,45	1419	50 NBR 253	35946
45	40	20	0,45	1419	50 NBR 253	2299
45	40	25	0,45	1419	50 NBR 253	37548
45	40	35	0,45	1419	50 NBR 253	34361
45	40	45	0,45	1419	50 NBR 253	2313
50	45	10	0,45	1772	50 NBR 253	37137
50	45	20	0,45	1772	50 NBR 253	110975
50	45	30	0,45	1772	50 NBR 253	1610
50	45	40	0,45	1772	50 NBR 253	2365
50	45	50	0,45	1772	50 NBR 253	2383
55	50	15	0,45	2165	50 NBR 253	2414
55	50	25	0,45	2165	50 NBR 253	36178
55	50	35	0,45	2165	50 NBR 253	36456
55	50	45	0,45	2165	50 NBR 253	110513
55	50	55	0,45	2165	50 NBR 253	36018
60	55	15	0,45	2597	50 NBR 253	2431
60	55	25	0,45	2597	50 NBR 253	2437

\* Для эффективной поверхности  $A_w$  (поверхность давления) действует:  $A_w = \pi/16 (D_g + D_k)^2$

Номенклатурный перечень ВГА						
D <sub>g</sub> мм	D <sub>k</sub> мм	H мм	s мм	A <sub>w</sub> * мм <sup>2</sup>	Материал	Артикул №
60	55	35	0,45	2597	50 NBR 253	1639
60	55	50	0,45	2597	50 NBR 253	377743
60	55	60	0,45	2597	50 NBR 253	2444
70	60	15	0,55	3318	50 NBR 253	33042
70	60	25	0,55	3318	50 NBR 253	2452
70	60	40	0,55	3318	50 NBR 253	2183
70	60	55	0,55	3318	50 NBR 253	110779
70	60	70	0,55	3318	50 NBR 253	2198
80	70	15	0,55	4418	50 NBR 253	2148
80	70	30	0,55	4418	50 NBR 253	94598
80	70	45	0,55	4418	50 NBR 253	1658
80	70	65	0,55	4418	50 NBR 253	1780
80	70	80	0,55	4418	50 NBR 253	1781
90	80	25	0,55	5675	50 NBR 253	1794
90	80	35	0,55	5675	50 NBR 253	33807
90	80	55	0,55	5675	50 NBR 253	36105
90	80	70	0,55	5675	50 NBR 253	38186
90	80	90	0,55	5675	50 NBR 253	1798
100	90	25	0,55	7088	50 NBR 253	1845
100	90	40	0,55	7088	50 NBR 253	1661
100	90	60	0,55	7088	50 NBR 253	1864
100	90	80	0,55	7088	50 NBR 253	36019
100	90	100	0,55	7088	50 NBR 253	1868
110	100	25	0,8	8659	50 NBR 253	110455
110	100	40	0,8	8659	50 NBR 253	14673
110	100	65	0,8	8659	50 NBR 253	1875
110	100	85	0,8	8659	50 NBR 253	35934
110	100	110	0,8	8659	50 NBR 253	37522
120	110	25	0,8	10387	50 NBR 253	36127
120	110	50	0,8	10387	50 NBR 253	1888
120	110	75	0,8	10387	50 NBR 253	1891
120	110	120	0,8	10387	50 NBR 253	37155
130	120	30	0,8	12272	50 NBR 253	1924
130	120	55	0,8	12272	50 NBR 253	36428
130	120	80	0,8	12272	50 NBR 253	110973
130	120	130	0,8	12272	50 NBR 253	37780
140	130	30	0,8	14314	50 NBR 253	13171
140	130	55	0,8	14314	50 NBR 253	20628
140	130	80	0,8	14314	50 NBR 253	1934
140	130	110	0,8	14314	50 NBR 253	469688
140	130	140	0,8	14314	50 NBR 253	372821
150	140	30	0,8	16513	50 NBR 253	1951
150	140	60	0,8	16513	50 NBR 253	36455
150	140	90	0,8	16513	50 NBR 253	160753
150	140	120	0,8	16513	50 NBR 253	37013

\* Для эффективной поверхности A<sub>w</sub> (поверхность давления) действует:  $A_w = \pi/16 (D_g + D_k)^2$

Номенклатурный перечень BFA						
D <sub>g</sub> мм	D <sub>k</sub> мм	H мм	s мм	A <sub>w</sub> * мм <sup>2</sup>	Материал	Артикул №
150	140	150	0,8	16513	50 NBR 253	1963
165	155	70	1	20106	50 NBR 253	1976
180	170	30	1	24053	50 NBR 253	378278
180	170	60	1	24053	50 NBR 253	2000
180	170	90	1	24053	50 NBR 253	2001
180	170	120	1	24053	50 NBR 253	384024
200	190	30	1	29865	50 NBR 253	29618
200	190	30	1	29865	50 NBR 253	406704
200	190	60	1	29865	50 NBR 253	35906
200	190	90	1	29865	50 NBR 253	35905
200	190	120	1	29865	50 NBR 253	35695
220	210	80	1	36305	50 NBR 253	160756
250	240	70	1	47144	50 NBR 253	34908
250	240	120	1	47144	50 NBR 253	2016
260	250	50	1	51071	50 NBR 253	34921
285	270	65	1	60481	50 NBR 253	95935
320	310	90	1	77931	50 NBR 253	32278
320	310	120	1	77931	50 NBR 253	39645
415	400	80	1	130420	50 NBR 253	37193

\* Для эффективной поверхности A<sub>w</sub> (поверхность давления) действует:  $A_w = \pi/16 (D_g + D_k)^2$


В следующей таблице приводятся размеры стандартной конструкции BFAO, поставляемые в короткий срок, (оснастки рассчитаны на материал, указанный в последней колонке), а также установочные размеры. Первые две цифры определяют диаметр цилиндра и диаметр поршня, третья указывает на высоту мембраны для допустимого хода. Эти детали отсутствуют на складе, но они могут быть поставлены в короткий срок после оформления заказа.

Номенклатурный перечень BFAO						
D <sub>g</sub> мм	D <sub>k</sub> мм	H мм	s мм	A <sub>w</sub> * мм <sup>2</sup>	Материал	Артикул №
20	15	20	0,45	241	60 EPDM 266	433704 <sup>o1)</sup>
25	20	15	0,45	398	50 NBR 253	429931 <sup>o1)</sup>
25	20	20	0,45	398	50 NBR 253	469053 <sup>o1)</sup>
30	25	25	0,45	594	50 NBR 253	407853 <sup>o1)</sup>
30	25	30	0,45	594	50 NBR 842	421427 <sup>o1)</sup>
35	30	35	0,45	830	50 NBR 253	425807 <sup>o1)</sup>
45	40	20	0,45	1419	70 EPDM 281	418045 <sup>o1)</sup>
45	40	25	0,45	1419	50 NBR 253	432902 <sup>o1)</sup>
50	45	20	0,45	1772	50 NBR 842	421425 <sup>o1)</sup>
55	50	55	0,45	2165	60 EPDM 280	411379 <sup>o1)</sup>
60	55	25	0,45	2597	50 NBR 253	416051 <sup>o1)</sup>
60	55	50	0,45	2597	70 FKM 576	452619 <sup>o1)</sup>
60	55	60	0,45	2597	50 NBR 253	407997 <sup>o1)</sup>
70	60	15	0,55	3318	50 NBR 253	478175 <sup>o1)</sup>
70	60	25	0,55	3318	60 VMQ 571	428224 <sup>o1)</sup>

<sup>o1)</sup> [1] по запросу

\* Для эффективной поверхности A<sub>w</sub> (поверхность давления) действует:  $A_w = \pi/16 (D_g + D_k)^2$

Номенклатурный перечень ВFAO						
D <sub>g</sub> мм	D <sub>k</sub> мм	H мм	s мм	A <sub>w</sub> * мм <sup>2</sup>	Материал	Артикул №
100	90	80	0,55	7088	60 FVMQ 565	405533 <sup>o)</sup>
130	120	130	0,8	12272	60 FVMQ 565	405530 <sup>o)</sup>
200	190	60	1	29865	83 FKM 575	459811 <sup>o)</sup>

<sup>o)</sup>  по запросу

\* Для эффективной поверхности A<sub>w</sub> (поверхность давления) действует:  $A_w = \pi/16 (D_g + D_k)^2$

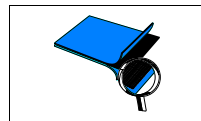
### 9. Пример заказа

Длинноходные закатывающиеся мембраны

Конструкционная форма ВFAO 200/190-60, 83 FKM 575 или

артикул № 459811

## Мембранное полотно



### 1. Особенности

Мембранное полотно – это высококачественная ткань, покрытая с обеих сторон соответствующим эластомером. Специальные технологии обеспечивают возможность нанесения даже тонких эластомерных слоев, с хорошей адгезией к специально обработанной ткани и без пор.

### 2. Область применения

Мембраны из мембранного полотна предназначены для образования плотной, но легко подвижной перегородки. Мембранное полотно разрабатывается с учетом механического, термического и химического воздействия в соответствующих случаях применения.

Основные области применения:

- измерительные, регулирующие и управляющие мембраны;
- насосные мембраны;
- разделительные мембраны;
- плоские мембраны.

### 3. Характерные свойства

Из мембранного полотна легко штампуются прокладки. Фасонные мембраны изготавливаются тиснением при повышенных температурах, при этом, в зависимости от качества ткани и толщины материала, должны соблюдаться определенные ограничения относительно высоты мембран.

### 4. Материал

Преимущественно применяемые эластомеры: акрилонитрил-бутадиен-каучук (NBR), хлор-бутадиен-каучук (CR), этилен-пропилен-терполимер-каучук (EPDM), эпихлоргидрин-каучук (ECO) и фтор-каучук (FKM).

В качестве армирующего материала используется полиэстер (PES), полиамид (PA) и штапельное полотно (ZW). Покрытие состоит, в зависимости от применения, из одного из указанных эластомеров.

### 5. Условия применения

Устойчивость к среде зависит от материала покрытия и ткани. Она берется из таблицы складской продукции. Устойчивость при нагрузке давлением определяется устойчивостью ткани к продавливанию → Мембранное полотно на складе (исходная ширина: 140 ± 10 см) на стр. 15.13.

### 6. Монтаж

Условием для надежного уплотнения в месте закрепления является достаточное сжатие (10% от толщины полотна), а также поверхность металлических или пластмассовых частей без задиrow.

**7. Мембранное полотно на складе (исходная ширина: 140 ±10 см)**

Обозначение	Артикул №	Эластомер	Ткань <sup>а)</sup>	Устойчивость к продавливанию (Н/мм)	Толщина (мм)	Допуски	Цвет	Рабочая температура мин./ макс. (°С) <sup>б)</sup>	Среды
MT 471	505412	NBR	PA	11	0,28	±0,03	голубой	-25/+90	Топливо, отопительные и горючие газы, минеральные масла, смазки, неорг. кислоты и щелочи, трудновоспламеняющиеся гидравлические жидкости (HFA, -B, -C), маслосодержащий сжатый воздух, вода до 80 °С
MT 479	505414	NBR	PA	11	0,17	±0,03	голубой	-25/+90	
MT 481	505415	NBR	PES	50	0,90	±0,07	голубой	-25/+90	
MT 486	505416	NBR	ZW	15	0,38	±0,05	красный	-20/+90	
MT 496	147030	NBR	PA	50	1,10	±0,15	красный	-20/+90	дизельное топливо, минеральные масла, сжатый воздух, содержащий масла, мазут, вода до 80 °С
MT 488	132386	NBR	PA	50	1,10	±0,15	красный/ зеленый <sup>в)</sup>	-20/+90	
MT 489	132439	NBR	PA	40	0,68	±0,07	красный/ зеленый <sup>в)</sup>	-20/+90	
MT 490	505417	NBR	PA	24	0,40	±0,05	зеленый	-20/+90	
MT 475	505413	CR	PES	25	0,45	±0,05	черный	-30/+90	маслосодержащий воздух, вода (устойч. к озону и УФ)
MT 510	381595	CR	PA	50	1,10	±0,15	черный	-30/+90	
MT 511 <sup>д)</sup>	505419	EPDM	PA	24	0,55	±0,06	черный	-45/+120	Горячая вода, водяной пар, тормозная жидкость на основе гликоля
MT 495	392750	ECO	PA	24	0,60	±0,07	черный	-25/+130	Топлива, масла, смазки, воздух (максимально 130 °С)
MT 504 <sup>д)</sup>	505186	ECO	PA	30	1,00	±0,10	черный	-35/+130	
MT 503	505418	FKM	PA	24	0,30	±0,03	черный	-10/+130	Топлива, отопительные и горючие газы, углеводороды, фенолы, растворители, кислоты и щелочи

- <sup>а)</sup> PA = полиамид; PES = полиэстер; ZW = штателное полотно  
<sup>б)</sup> ориентировочные значения при поставке – требуется проверка в каждом случае применения  
<sup>в)</sup> красный = топливная сторона; зеленый = масляная сторона  
<sup>д)</sup> исходная ширина: 140 см +15/-10  
<sup>е)</sup> исходная ширина: 75 см ±5

**8. Пример заказа**

MT 503 длиной 2,4 м

# Специальные уплотнения: мембраны

## Технические основы

1. **Свойства и применение мембран** ..... 16.1
2. **Технические основы** ..... 16.2
3. **Проектирование/определение размеров** ..... 16.7
4. **Используемые обозначения** ..... 16.12
5. **Материалы для мембран** ..... 16.14

## 1. Свойства и применение мембран

Задача мембран из резиноэластичных материалов – образовать плотную и в то же время гибкую стенку между элементами конструкции, области которых должны быть отделены друг от друга, и сделать возможным изменение объемов отдельных областей.

В соответствии со своей функцией они могут быть обозначены как гибкий уплотняющий элемент.

При таких условиях с помощью мембраны выполняются

### 3 основных функции:

- **Контрольно-измерительная функция**  
Гидравлическое или пневматическое давление, действующее на эффективную поверхность мембраны, преобразуется в усилие штока и приводит в действие контрольно-измерительные или индикаторные приборы.
- **Насосная функция**  
Насосная функция заключается в том, что действующее усилие штока, гидравлическое или пневматическое давление через эффективную поверхность мембраны преобразуются в рабочее давление.
- **Разделительная функция**  
Эта функция заключается в отделении друг от друга подвижной гибкой стеной областей, лежащих на одной напорной поверхности. Примером этой функции является применение в области пневмоаккумуляторов.

По сравнению с контактными уплотнениями мембраны обладают некоторыми преимуществами:

- отсутствие течи;
- не требуют смазки, поэтому работают без технического обслуживания;
- без потерь трения;
- соответствующая форма конструкции обеспечивает минимальный гистерезис;
- отсутствие сил трогания ("движение рывками");
- минимальный износ благодаря характерному движению закручивания;

- низкие требования к допускам и качеству поверхности окружающих элементов конструкции позволяют сократить затраты при производстве детали

В качестве конструктивных элементов мембраны применяются практически во всех отраслях промышленности. Станкостроение и производство инструментов, авиа- и космические технологии, приборостроение и пищевая промышленность, лабораторное оборудование и регулирующие устройства – вот только несколько сфер, где мембраны являются неотъемлемыми элементами конструкций.

Основное применение они находят в различных контрольно-измерительных приборах и приборах управления, насосах и компрессорах, клапанах, а также в гидро- и пневмоаккумуляторах.



## 2. Технические основы

Основные принципы объясняются далее на примере насосных и регулирующих мембран на → Рис. 16.1.

### 2.1 Принцип работы и основные размеры

Рабочий диапазон мембраны ограничен снаружи диаметром корпуса и диаметром поршня изнутри. Мембрана неподвижно и герметично закреплена на корпусе и на поршне.

Между корпусом и поршнем находится зазор для закатывания, над которым изгибающаяся поверхность мембраны более или менее плотно "натянута". Если между верхней и нижней стороной мембраны существует разница давлений, то ее изгибающаяся при рабочем давлении поверхность вдавливается в зазор и принимает форму дуги. Как и в случае тонкостенной трубки, испытывающей внутреннее давление, на стенку мембраны, находящуюся в состоянии равновесия, действуют давление и касательные усилия по отношению к дуге.

Радиус кривизны в зоне изгиба зависит от свободной длины, образующейся между зажимами на корпусе и поршне, а также расстояния от мест зажима и положения поршня по отношению к уровню зажимов. При проектировании на это следует обратить внимание, чтобы получить оболочку достаточной длины.

При удлинении хода изогнутая площадь "закатывается" в зазор. При этом участки стенки мембраны гуляют от поршня к корпусу и наоборот, происходит увеличение и уменьшение диаметра.

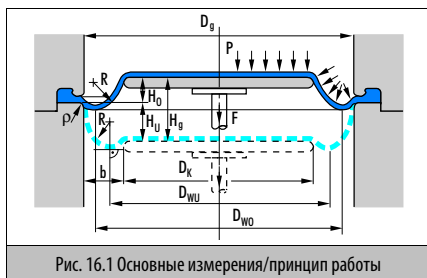


Рис. 16.1 Основные измерения/принцип работы

### 2.2 Основные формы мембран

Число имеющихся конструкций может быть сведено к основным типам:

- плоские мембраны.
- тарельчатые мембраны
- гофрированные мембраны
- Длинноходные закатывающиеся мембраны

Отличительной чертой является достигаемый ход  $H_{\text{макс}}$  при данном диаметре корпуса  $D_g$  и, кроме того, тип допустимой нагрузки давлением (односторонний, двусторонний), а также степень зависимости эффективного диаметра  $D_w$  от хода.

#### 2.2.1 плоские мембраны.

Плоские мембраны (→ Рис. 16.3) могут применяться только при относительно малой длине хода, хотя они могут подвергаться давлению с обеих сторон. Как правило, эффективный диаметр существенно изменяется с ходом. Малая длина хода часто позволяет, так называемую, "напряженную установку" для сокращения нагрузки деталей конструкции при рабочем давлении (→ Рис. 16.2). Напряжение должно быть выбрано таким, чтобы оно могло сбалансировать требуемое удлинение свободной поверхности мембраны в крайнем положении поршня. Таким образом, предотвращается растяжение поверхности мембраны. При использовании в качестве полуфабрикатов пластин или рулонов изготовление дорогостоящей оснастки для вулканизации изделий не требуется.

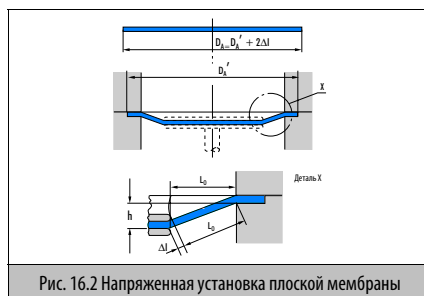


Рис. 16.2 Напряженная установка плоской мембраны

### 2.2.2 Тарельчатые мембраны

Тарельчатая мембрана, (→ Рис. 16.4) как и плоская мембрана, нагружена давлением с обеих сторон, что обеспечивает более длинный ход. В этой конструкции эффективный диаметр также зависит от хода.

### 2.2.3 гофрированные мембраны

У этой конструкции (→ Рис. 16.5) закатывающаяся складка с круговым сечением находится в свободном состоянии. Если необходимые ограничения длины приняты во внимание, возможен почти не зависящий от длины хода эффективный диаметр.

Для гофрированной мембраны почти всегда требуется меньшее давление со стороны закатывающейся складки, чтобы предотвратить сжатие складки.

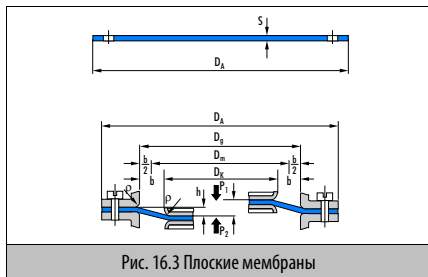


Рис. 16.3 Плоские мембраны

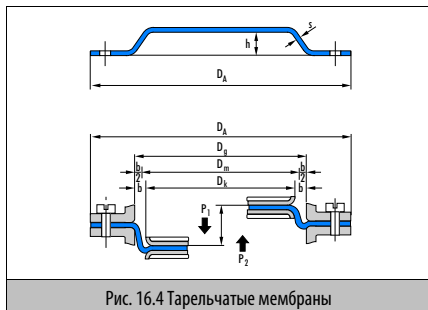


Рис. 16.4 Тарельчатые мембраны

### 2.2.4 Длинноходные закатывающиеся мембраны

Длинноходные закатывающиеся мембраны могут рассматриваться как особый случай тарельчатых мембран (→ Рис. 16.6), которые установлены наоборот. Длина хода для конструкций, армированных тканью, ограничивается способностью ткани к глубокой вытяжке.

Закатывающиеся мембраны должны поддерживаться с внешней стороны корпусом, а изнутри поршнем. Это влияет на виртуально независимый от хода, постоянный эффективный диаметр. Закатывающиеся мембраны, как и гофрированные мембраны, всегда требуют более низкого давления со стороны складки, иначе давление вызовет их расклатку.



Рис. 16.5 Гофрированные мембраны

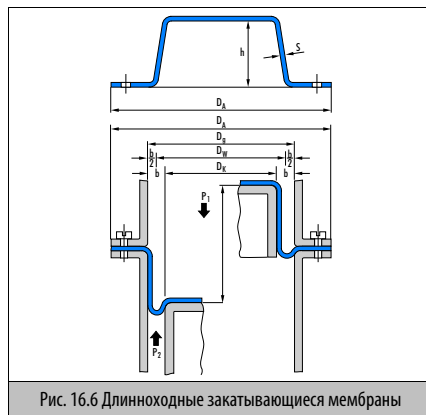


Рис. 16.6 Длинноходные закатывающиеся мембраны

### 2.2.5 Мембраны с армированием тканью

Все типы мембран могут изготавливаться как чисто эластомерные мембраны или с армированием тканью. Усилительная ткань прокладывается на середине сечения мембраны (вкладыш) или как "накладной слой" (накладка). При этом ткань всегда находится с неподверженной давлению стороны (напр., внешняя сторона закатывающейся складки), иначе эластомерное покрытие под давлением отстанет от слоя ткани и мембрана будет испорчена.

Форма мембраны	Макс. ход $H_{\text{макс}}$	Нагрузка давлением	Изменение эффективного диаметра $D_w$ при ходе $H$
гофрированные мембраны	$\leq 0,1 D_g$	двусторонняя $P_1 \approx P_2$	очень большое
плоские мембраны.	$\leq 0,3 D_g$		большое
тарельчатые мембраны	$\leq 0,3 D_g$	двусторонняя $P_1 > P_2$	незначительное
Закатывающиеся мембраны	$\leq 1,7 D_g$		отсутствуют

Табл. 16.1 Параметры мембран

При применении в изделиях необходимо принимать во внимание ограниченную, с технической точки зрения, способность материала к изменению формы  
 → 2.2.4 Длинноходные закатывающиеся мембраны, на стр. 16.3.  
 Различные виды применяемых тканей подробно рассматриваются в → 5.14 Мембранные ткани, на стр. 16.16.

### 2.2.6 Мембрана с накладкой из PTFE

Химическая устойчивость эластомера может быть недостаточной для агрессивных рабочих сред и транспортных потоков как, например, при применении в насосах. В этом случае существует возможность защиты основного материала мембраны наложением на поверхность пленки PTFE, обращенной к среде, это продлевает срок службы.

### 2.3 Параметры

Поведение мембраны приближенно характеризуется параметрами хода, эффективным диаметром, соотв. эффективной поверхностью, усредненным диаметром и модулем упругости.

#### 2.3.1 Ход

Общий ход  $H_g$  складывается из части  $H_o$  над и части  $H_u$  под поверхностью зажима:

$$H_g = H_o + H_u \quad (1)$$

При проектировании наибольшее значение рассматривается как критическое.

С точки зрения оптимальной работы и долговечности ход всегда определяется только из изменений формы мембраны, а не из удлинения оболочки мембраны.

#### 2.3.2 Эффективный диаметр, эффективная поверхность

Мембрана удерживается на поршне рабочим давлением и, таким образом, привносит вклад в усилие поршня. Эффективный диаметр для усилия поршня, эффективный

диаметр  $D_w$ , зависит от положения хода и находится между диаметром  $D_k$  и диаметром корпуса  $D_g$ . Обычно применяется:

$$D_k \leq D_w \leq D_g \quad (2)$$

Эффективный диаметр определяется как точка пересечения вертикальной оси мембраны с радиусами вогнутой полукруглости. Только рабочая поверхность, лежащая внутри этого диаметра, обеспечивает вклад в усилие штока. Давление на кольцевую поверхность, лежащую за пределами эффективного диаметра, работает преимущественно как дополнительная нагрузка на закрепление в корпусе.

#### 2.3.3 Усредненный диаметр

Под усредненным диаметром понимается среднеарифметическое значение диаметра поршня и корпуса. В нулевом положении он, как правило, совпадает с эффективным диаметром:

$$D_m = (D_g + D_k) / 2 = D_{w(H=0)} \approx D_{w(H)} \quad (3)$$

#### 2.3.4 Зазор

Шириной зазора закатывания обозначается "перенапряженный" мембраной зазор между корпусом и поршнем.

$$b = (D_g - D_k) / 2 \quad (4)$$

В первом приближении действует:

$$b \approx 0,15 D_g \quad (5)$$

#### 2.3.5 Диаметр корпуса

При предварительном проектировании работают предпочтительно с диаметром корпуса, потому что он рассчитывается на основе имеющегося монтажного пространства, и, соответственно, позволяет оценить

требуемое монтажное пространство. С учетом зазора для закатывания → действует уравнение 5:

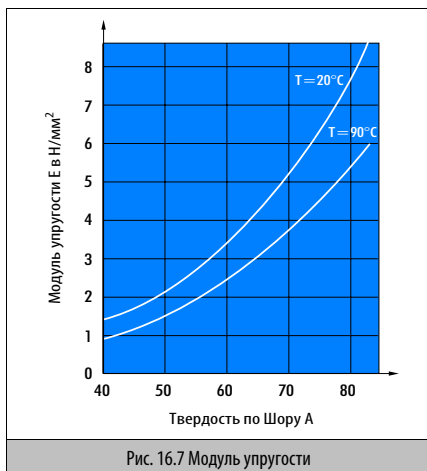
$$D_g = D_m / 0,85 \approx D_w / 0,85 \quad (6)$$

### 2.3.6 Модуль упругости

Модуль упругости (модуль E) эластомеров отличается от стали тем, что он непостоянен; он в достаточной степени зависит от твердости эластомера, температуры, растяжения и скорости деформации.

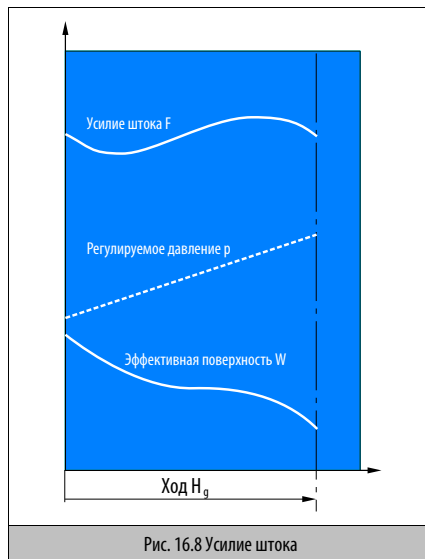
- E-модуль растет при увеличении скорости деформации (динамическое затвердевание). Для простоты на схеме приводится только квазистатический случай. Он также может рассматриваться как "критический случай" относительно напряжения частей конструкции.
- При увеличении напряжения до 20%-ного растяжения на диаграмме напряжений-растяжений значение E-модуля сохраняется приблизительно постоянным в рассматриваемой области.

Зависимость модуля упругости  $E_{20\%}$  от твердости эластомера и температуры показана в качестве примера на → Рис. 16.7. Т.к. модуль зависит от марки смеси, при необходимости рекомендуется запрашивать эту характеристику у производителя смеси.



### 2.3.7 Графические характеристики

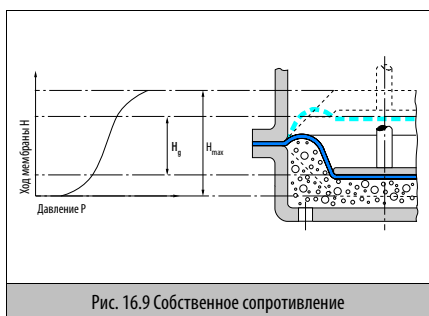
Если в осях координат построить зависимость усилия штока F от хода, то получится графическая характеристика. Так как усилие штока зависит от регулируемого давления и рабочей поверхности или эффективного диаметра, графическая характеристика существенно определяется зависимостью эффективного диаметра от хода. Здесь выбор основной формы мембраны играет решающую роль. Основная зависимость отражена на → Рис. 16.8. Т.к. наклон кривой увеличивается в конце хода, графическая характеристика может быть оптимизирована путем выбора рабочего диапазона. При увеличении высоты мембраны ( $H_g < H_{g,max}$ ) эти внешние области срезаются, и получается более удобная полная характеристика, с минимальным влиянием хода.



### 2.3.8 Собственное сопротивление

Под собственным сопротивлением понимается сопротивление, создаваемое самой мембраной при противодействии всем внешним факторам при перемещении из одного конечного положения в другое. Это сопротивление, как правило, определяется как давление, которое необходимо для преодоления сопротивления.

Оно возникает за счет растягивающих усилий поверхности мембраны при растяжении во время хода закатывания и усилий изгиба при расправлении мембраны из рабочего положения. На → Рис. 16.9 схематически показана зависимость собственного сопротивления как функция хода мембраны.



Сопротивление особенно увеличивается вблизи конечных положений мембраны. Как видно из графической характеристики, влияние хода сокращается при увеличении высоты мембраны ( $H_g < H_{max}$ ).

### 3. Проектирование/определение размеров

#### 3.1 Эксплуатационные характеристики и граничные условия

Конструкция мембраны, в основном, определяется следующими рабочими параметрами:

- типом оборудования (т.е. цилиндр с тяжелыми условиями работы или измерительная аппаратура с требованием низкого собственного сопротивления и гистерезиса);
- максимальным ходом относительно плоскости зажима;
- давлением (рабочее давление и/или испытательное давление);
- эффективным диаметром (если необходимо, как функция хода);
- окружающей средой;
- диапазоном рабочих температур;
- управляющей частотой;
- долговечностью.

При определении размеров мембраны значения диаметра  $D_g$  и необходимого хода  $H_g$  вычисляются из рабочих параметров.

В качестве приближения для объема, перекачиваемого насосной мембраной, применяется следующая формула:

$$V = \pi / 4 D_w^2 H_g \quad (7)$$

Для зависимости между всасывающей или управляющей силой  $F$ , эффективным диаметром  $D_w$  и давлением  $p$  используется следующая формула:

$$D_w = \sqrt{4 / \pi \cdot F / p} \quad (8)$$

Оптимальный ход мембраны достигается при:

$$H_g = H_{\max} \quad (9)$$

При помощи  $\rightarrow$  уравнения 6 можно определить необходимый диаметр корпуса.

Т.к. приведенные уравнения дают только приблизительные величины для управляющей силы и перекачиваемого объема, рекомендуется предусмотреть коэффициент безопасности порядка 10%.

На следующей стадии может быть выбрана подходящая конструкция по значениям эффективного диаметра  $D_g$  и полного хода  $H_{\max}$ .

#### 3.2 Рекомендации по определению размеров

Рекомендованные пограничные значения макс. хода для основных форм мембран, описанных в  $\rightarrow$  2.2 Основные формы мембран, на стр. 16.2, указаны в  $\rightarrow$  Табл. 16.1 и в приложении. Это касается основных принципов предварительной компоновки. В соответствии с применением и граничными условиями отклонения от них возможны или необходимы. В любом случае рекомендуется проверка или оптимизация всех размеров производителем мембран.

Значения  $H_{\max}$  во всех случаях действуют при симметричном разделении суммарного хода выше и ниже плоскости зажима, согласно соотношению:

$$H_{u\max} = H_{o\max} = H_{\max} / 2 \quad (10)$$

При несимметричном разделении суммарный ход  $H_g$  всегда меньше максимально возможного хода  $H_{\max}$ .

Для определения толщины стенки бестканевых мембран при рабочем давлении ( $\rightarrow$  3.3.3 Растяжение/напряжение при перепаде давления, на стр. 16.8) применяется следующее соотношение:

$$s \geq p R / (\epsilon_p E) \quad (11)$$

Радиус кривизны  $R$  в изогнутой области обычно достигает своего максимального значения в конце хода и определяется, в соответствии с формой мембраны, подходящими конструкторскими или расчетными методами.

Ориентировочные значения модуля упругости приведены в  $\rightarrow$  2.3.6 Модуль упругости, на стр. 16.5, а допустимого удлинения

$\epsilon_p - v$   
 $\rightarrow$  3.4 Допустимое напряжение, на стр. 16.9.

Для минимизации сгибающего напряжения и собственного сопротивления толщина мембраны  $S$ , как правило,

проектируется как можно меньше. При этом в каждом случае должны учитываться предельные характеристики материала и технологические процессы.

Растущий перепад давления  $\Delta p$  требует для мембран, не армированных тканью, увеличения толщины стенок  $s$  или выбора более твердого эластомерного материала. Обе эти меры ограничены, особенно вследствие увеличения собственного сопротивления. В основном рекомендуется применение мембран без ткани только при давлениях ниже 2 бар. При повышенных давлениях рекомендуется переходить на тонкостенные мембраны, армированные тканью.

### 3.3 Нагрузка на элемент конструкции

Типичным условием работы мембраны является нагрузка давлением с одной стороны и осевое смещение между поршнем и корпусом. Исходя из этого, в стенке мембраны различают три напряженных области:

- Изгибающее напряжение в радиальном и осевом направлении при закатывании, а также в зонах зажима (→ 3.3.1 Изгибающее напряжение, на стр. 16.8).
- Удлинение при растяжении и напряжение растяжения по окружности вследствие изменения диаметра при закатывании (→ 3.3.2 Растяжение/напряжение по окружности, на стр. 16.8).
- Напряжение растяжения в радиальном и осевом направлении вследствие перепада давления  $p$  (→ 3.3.3 Растяжение/напряжение при перепаде давления, на стр. 16.8).

Таким образом, получается многоосевое напряжение. На практике, тем не менее, равнодействующую этих напряжений не вычисляют, каждое рассматривается отдельно.

#### 3.3.1 Изгибающее напряжение

Напряжение изгиба (→ Рис. 16.10) не определяется, т.к. ограничено допустимыми значениями. Оно закладывается в проектные данные по минимальным радиусам в зоне зажимов и минимальной ширине зазора для закатывания мембраны.

$$\text{Радиус зажима} \quad r \geq 2 \times s \quad (12)$$

$$\text{Ширина зазора закатывания} \quad b \geq 6 \times s \quad (13)$$

#### 3.3.2 Растяжение/напряжение по окружности

Удлинение при растяжении по окружности вследствие изменения диаметра при закатывании (→ Рис. 16.11) сильно зависит от формы мембраны, монтажного пространства и хода.

Для закатывающихся мембран макс. относительное удлинение по окружности:

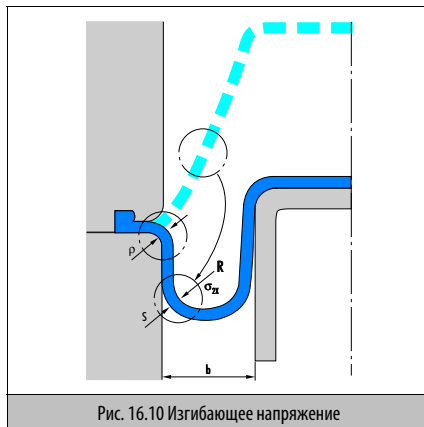


Рис. 16.10 Изгибающее напряжение

$$\epsilon_{\text{umax}} = D_g / D_k - 1 \quad (14)$$

Максимальное удлинение при растяжении плоских, гофрированных и тарельчатых мембран определяется соответствующими методами.



Рис. 16.11 Растяжение вследствие закатывания.

#### 3.3.3 Растяжение/напряжение при перепаде давления

Т.к. мембраны обладают низкой собственной жесткостью, вследствие их геометрии, под давлением образуется дугообразное сечение мембраны (→ Рис. 16.12).

Рассмотрим мембрану в первом приближении как прямую трубку под внутренним давлением; из формулы "котла" для тонкостенных трубок получим напряжение при растяжении:

$$\sigma_p = p R / s \quad (15)$$

По закону Гука для одноосевого напряженного состояния:

$$\sigma = E \varepsilon \quad (16)$$

получим растяжение:

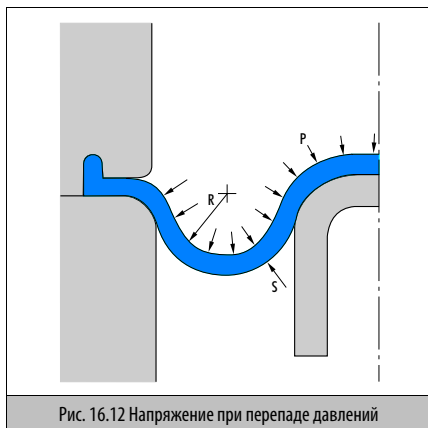
$$\varepsilon_p = p R / (s E) \quad (17)$$

→ Уравнение 17 решается относительно E. Используя допустимое растяжение  $\varepsilon_{p \text{ доп}}$  получим минимальный E-модуль:

$$E_{\text{min}} = p R / (s \varepsilon_{p \text{ zul}}) \quad (18)$$

Для мембран, армированных тканью, необходимо рассчитать значение силы  $F_p$  на длину окружности l. Из → уравнения 15 следует:

$$F_p / l = \sigma' = p R \quad (19)$$



### 3.4 Допустимое напряжение

При оценке напряжений согласно → 3.3 Нагрузка на элемент конструкции, на стр. 16.8 различают усредненные напряжения между мембраной с и без армирования тканью.

Для **бестканевых мембран** на практике при рабочих давлениях имеет смысл указывать максимальное растяжение. Это растяжение связано со строением эластомера, который состоит из поперечно связанных молекулярных цепей.

У **армированных тканью мембран** небольшая несущая часть эластомера игнорируется и принимается, что напряжение при растяжении несет только ткань. Сопrotивление тканей разрыву  $\sigma_B$  определяется испытанием на растяжение как максимальная тяговая сила в отношении испытательной ширины и запрашивается у производителя. Введем коэффициента надежности учитывается частичное отклонение направления волокон от направления растяжения (радиально).

Более того, для ткани должна приниматься во внимание зависимость удлинения при разрыве от рабочей температуры.

Характеристики	Гл.	Доп. напряжение		
		б/ткани	с тканью	
Касательное растяжение (усредненная величина)	$\varepsilon_U$	3.3.2	$\leq 30\%$	$\leq 15\%$
Растяжение от внутреннего давления	$\varepsilon_p$	3.3.3	$\leq 20\%$	
Сила на ширину	$F_p/l$	3.3.3		$\leq 0,2 \sigma'_B$

Табл. 16.2 Характеристики мембран

### 3.4.1 Пример конструкции

#### Закатывающаяся мембрана с накладкой из ткани

В регулировочном клапане должна применяться закатывающаяся мембрана при следующих условиях:

- $\varnothing$   $D_g$  корпуса = 100 мм
- $\varnothing$   $D_k$  поршня = 90 мм
- Перепад давлений  $p = 10 \text{ бар} \approx 1 \text{ l/mm}^2$

Касательное растяжение при закатывании должно быть проверено и определена минимальная прочность ткани:

- Из геометрии следует:  
 $b = (D_g - D_k) / 2 = 5 \text{ мм}$   
 $R = b / 2 = 2,5 \text{ мм}$
- Из → уравнения 14:  
 $\varepsilon_{U \text{ max}} = 0,11 = 11\% \leq 15\% \rightarrow \text{нормально}$



- Из → уравнения 19:  
 $F_p/l = 2,5 \text{ Н/мм}$
- из → Табл. 16.2:  
 $\sigma_{Fp} \geq F_p/l/0,2 = 12,5 \text{ Н/мм}$

Максимальное тангенциальное растяжение лежит в допустимых пределах, минимальная прочность на разрыв для ткани составляет 12,5 Н/мм.

### 3.4.2 Гофрированная мембрана без ткани

Для бесканавочной гофрированной мембраны с толщиной стенки 2 мм радиус складки закатывания 15 мм при перепаде давлений 1 бар ( $\approx 0,1 \text{ Н/мм}^2$ ) получен графически. Нужно найти минимальное значение твердости эластомерного материала по Шору.

→ Ур. 17 в → Табл. 16.2:  
 $E_{\text{мин}} = p R / (s \epsilon_p \text{zul}) = 3,75 \text{ л/мм}^2$

Из → Рис. 16.7 в → 2.3.6 Модуль упругости, на стр. 16.5:  
Твердость  $\geq 61$  Шор А при рабочей температуре RT  
Твердость  $\geq 69$  Шор А при рабочей температуре 90 °C

### 3.5 Форма крепления и соприкасающихся частей корпуса

Острые края в контактной области мембраны принципиально недопустимы, т.к. они неизбежно приводят, при закатывании, к большим изгибающим напряжениям и, как следствие, механическому повреждению и поломке.

Переходы от плоскости зажима и поверхности поршня, к стенке цилиндра, во избежание пиков напряжения, закругляются (→ 2.2 Основные формы мембран, на стр. 16.2 e → 3.2 Рекомендации по определению размеров, на стр. 16.7).

Для качества поверхности следующее уравнение применяется для всех элементов корпуса, которые контактируют с мембраной и которые могут двигаться одновременно с ней:  
 $Rz \leq 10 \text{ мкм}$

Корпуса и поршни должны быть сконструированы таким образом, чтобы обеспечивалась надежная поддержка образующейся закатывающейся складки (напр., при закатывающейся мембране или тарельчатой с повышенной высотой). Если начинается подрезание, то надо иметь в виду сжатые складки и преждевременный износ (→ Рис. 16.13). Мембрана должна быть закреплена в зажиме корпуса и, если необходимо, укреплена на поршне против действия рабочего давления. Зачастую здесь применяется уплотнение разделительной плоскости. Эти задачи могут быть выполнены при различной геометрии зажимного фиксатора. Наиболее часто используются:

- Плоская конструкция уплотнения: для улучшения уплотняющего действия на обоих фланцах могут быть предусмотрены расположенные со смещением плоские буртики или канавки.
- Круговой уплотняющий буртик (кольцо круглого сечения): в обоих фланцах изготовлена посадочная канавка для буртиков.
- Полукруглый уплотняющий буртик (половина кольца круглого сечения): канавка изготовлена только на одном фланце, другой фланец гладкий. Образцы конструкций → 2.2.2 Тарельчатые мембраны, на стр. 16.3 (длинноходные закатывающиеся мембраны).
- Трапецевидный уплотняющий буртик: образцы конструкций → Гл. 15, Мембраны для тормозных систем с пневматическим приводом, на стр. 15.2.

Геометрия буртика и канавки должна быть таковой, чтобы обеспечивалось сжатие от 20% до 30%. При этом надо принимать во внимание, что эластомеры почти не сжимаются. Зажим должен иметь достаточно большую канавку, чтобы вместить деформированный объем, даже при значительном возможном тепловом расширении или набухании под воздействием среды.

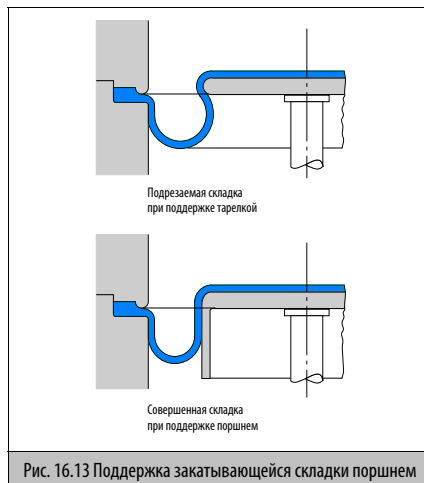


Рис. 16.13 Поддержка закатывающейся складки поршнем

### 3.6 Допуски размеров мембран

Для определения допусков диаметра литых мембран и мембран, отлитых из покрытых эластомером тканей, обычно используется часть 1, "Допуски готовых резиновых изделий – Размерные допуски", стандарта DIN ISO 3302, причем для

мембран без ткани приемлем класс допусков М 2, а для мембран с тканью – класс допусков М 3.

диаметр [мм]	Допуски	
	для бестканевых мембран (мм)	армированные тканью и/или металлом (мм)
до 6,3	± 0,15	± 0,25
от 6,3 до 10	± 0,2	± 0,30
от 10 до 16	± 0,2	± 0,40
от 16 до 25	± 0,25	± 0,50
от 25 до 40	± 0,35	± 0,60
от 40 до 63	± 0,40	± 0,80
от 63 до 100	± 0,50	± 1
от 100 до 160	± 0,70	± 1,3
от 160	± 0,5%	± 0,8%

Табл. 16.3 Допуски диаметра для фасонных прессованных мембран

Для толщины стенки и буртика фасонных прессованных мембран действуют допуски DIN ISO 3302-1.

Толщина стенки и буртика S [мм]	Допуск (мм)
до 0,5	± 0,05
от 0,5 до 3	± 0,10
от 3 до 6	± 0,15
от 6 до 10	± 0,20

Табл. 16.4 Допуски толщины при формовке под давлением

Для мембран, штампованных из мембранного полотна, могут применяться более узкие допуски. Так, для допусков диаметра плоских штампованных мембран применяется DIN ISO 2768 m. При этом необходимо отметить, что при увеличении толщины стенки из-за деформации материала во время резки может образоваться вогнутая поверхность резания.

⚠ В зависимости от формы и материала требуемых мембран – можно договориться о меньших допусках, чем вышеуказанные, при условии соответствия технологическому

Диаметр D [мм]	Поле допусков по DIN 2768 m [мм]
от 3 до 6	± 0,1
от 6 до 30	± 0,2
от 30 до 120	± 0,3
от 120 до 400	± 0,5
от 400 до 1000	± 0,8

Табл. 16.5 Допуски диаметра для мембран из мембранного полотна

процессу –. Такие договоренности, как правило, вызывающие увеличение стоимости изготовления, должны ограничиваться особыми случаями (также указания в DIN ISO 3302).

## 4. Используемые обозначения

Наименование	Обозначение	Единица	См. раздел
Ширина зазора закатывания	b	мм	2.3.4/2.2
Диаметр корпуса	$D_g$	мм	2.3.5/2.2
Диаметр поршня	$D_k$	мм	2.2
Усредненный диаметр	$D_m$	мм	2.3.3
Эффективный диаметр	$D_w$	мм	2.3.2
Модуль упругости	E	Н/мм <sup>2</sup>	2.3.6
Растяжение	$\epsilon$	–	3.3
Растяжение при перепаде давления	$\epsilon_p$	–	3.3.3
Касательное растяжение при закручивании	$\epsilon_u$	–	3.3.2
Усилие штока, регулировочное усилие	F	Н	2.3.7
Усилие в стенке мембраны вследствие действия давления	$F_p$	Н	3.3.3
Глубина выпуклости, высота выброса	h	мм	2.2
Полный ход	$H_g$	мм	2.2/2.3.1
Ход выше зажима	$H_o$	мм	2.3.1
Ход ниже зажима	$H_u$	мм	2.3.1
Макс. ход	$H_{max}$	мм	3.1/3.2
Макс. ход выше зажима	$H_{o max}$	мм	3.2
Макс. ход ниже зажима	$H_{u max}$	мм	3.2
Перепад давлений	P	Н/мм <sup>2</sup>	3.2/2.2
Радиус кривизны закатывающейся складки	R	мм	2.1/3.2
Переходный радиус в зоне зажима	$\rho$	мм	2.1/3.1
Толщина стенки в изогнутой зоне	s	мм	2.2
Твердость эластомера	SH	Шор А	2.3.6

Наименование	Обозначение	Единица	См. раздел
Напряжение	$\sigma$	Н/мм <sup>2</sup>	3.3
Напряжение растяжения при перепаде давления	$\sigma_p$	Н/мм <sup>2</sup>	3.3.3
Усилие в стенке мембраны на длину	$\sigma'$	Н/мм	3.3.3
Прочность ткани на разрыв	$\sigma'_B$	Н/мм	3.4
температура	T	°C	2.3.6
Перекачиваемый объем	V	мм <sup>3</sup>	3.1
Эффективная поверхность	$A_w$	мм <sup>2</sup>	→ Гл. 15, Мембраны для тормозных систем с пневматическим приводом, на стр. 15.2
Табл. 16.6 Обзорная таблица символов			

## 5. Материалы для мембран

В зависимости от типа применения используется широкий спектр материалов. Выбор материала эластомера должен производиться с учетом, например, механических, термических и химических нагрузок. Дополнительно, при высоких нагрузках, применяется армирование текстилем. В зависимости от напора давления – на одну сторону или обе –, а также конфигурации, изготавливаемая мембрана проектируется с вкладкой ткани или слоем ткани.

### 5.1 Эластомеры

Выбор эластомера подходящего качества определяется, прежде всего, следующими свойствами:

- Для надежного уплотнения напряженной области материал при продолжительных испытаниях под давлением должен показать низкое значение релаксации.
- Материал должен быть достаточно прочным, упругим, гибким, прочным на ударный изгиб, газонепроницаемым и устойчивым к истиранию.
- При динамических нагрузках не должна наступать усталость материала.
- В технологическом отношении от материала требуется хорошая текучесть и свойства, необходимые для вулканизации, а также способность связываться с возможными металлическими или ткаными вставками.
- Материал должен переносить химические нагрузки без разрушения или недопустимого набухания.
- При максимальных рабочих температурах материал не должен размягчаться или твердеть (термическое старение), не должен трескаться под воздействием климатических условий (озоновое старение) и при этом должен быть достаточно гибким при низких температурах.
- Низкая газопроницаемость, в сочетании с хорошей гибкостью на холоде, являются необходимыми качествами для материалов аккумуляторных мембран.

(Для общей информации о материалах → Общие технические данные и материалы со стр. 20.0.)

Определение верхнего предела рабочих температур эластомерных материалов:

Решающим фактором применения эластомерного материала является характер его релаксации под давлением (→ Рис. 16.14). В этом поведении отражается уменьшение напряжения в деформированном состоянии как функция времени и температуры.

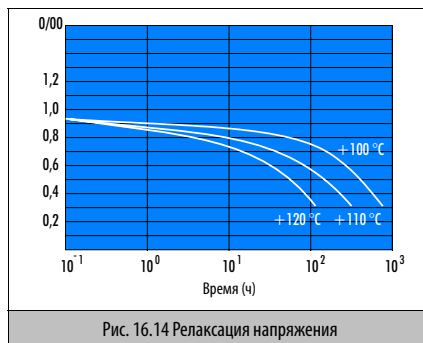


Рис. 16.14 Релаксация напряжения

В низкотемпературной области кристаллизационные процессы приводят к затвердеванию материалов. Это приводит к увеличению модуля (см. кривую G, → Рис. 16.15). При этом материал переходит из упругого состояния в жесткое, неэластичное. Значение  $T_u$  является точкой перехода в стеклообразное состояние.

### 5.2 Акрилонитрил-бутадиен-каучук (NBR)

Это стандартный материал для всех мембран, устойчивый к сжатою воздуху и минеральным маслам. Материалы с высоким содержанием акрилонитрила используются для уплотнения природного газа, пропана, а также незтилированного бензина. При этом ради повышенной устойчивости к набуханию и газонепроницаемости, допускается ухудшение свойств при низких температурах.

### 5.3 Гидрированный акрилонитрил-бутадиен-каучук (HNBR)

Обладает повышенной термостойкостью и механической прочностью при меньшем истирании, по сравнению с NBR. Химическая устойчивость во многих случаях сопоставима с NBR. Он лучше подходит для минеральных масел (напр. пентосина CHF 11S, декрона III).

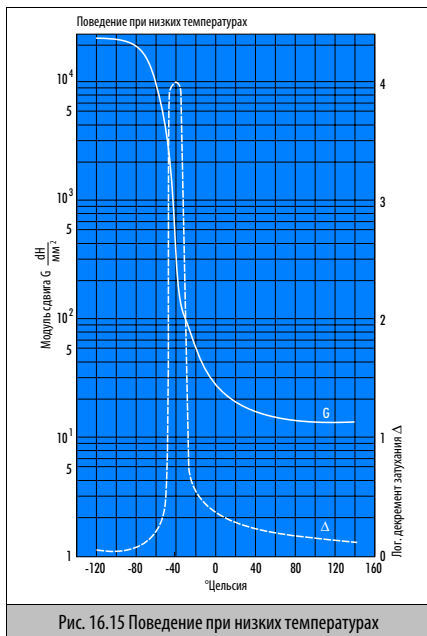


Рис. 16.15 Поведение при низких температурах

Примером применения могут быть, например, аккумуляторные мембраны для гидравлических масел. HNBR обладает даже большим динамическим сопротивлением, чем NBR, это используется при его применении в насосных мембранах.

Рабочий диапазон -30 до +150 °C.

### 5.4 Этилен-пропилен-диен-каучук (EPDM)

Широко используется как мембранный материал против холодной и теплой воды, горячей воды и пара до 130/140 °C. Одобрен KTW (санитарной службой), имеет сертификаты WRc и FDA (центров по изучению воды и по автопрокеитированию). Для применения в пищевой промышленности имеются специальные сорта. EPDM неустойчив против масла.

### 5.5 Фтор-каучук (FKM)

Отличается высокой термической и химической стойкостью, а также низким газовыделением и газопроницаемостью при комнатной температуре. FKM предпочтительный материал для мембран в вакуумной технике, а также для работы с газами и жидкостями с повышенным содержанием ароматики ("супербензин"). Для применения в водяных насосах необходимы специальные фторкаучуки (i по запросу).

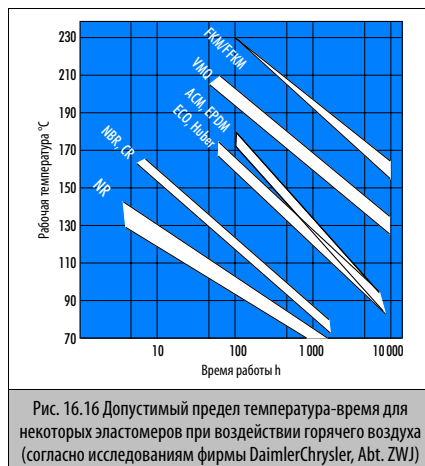
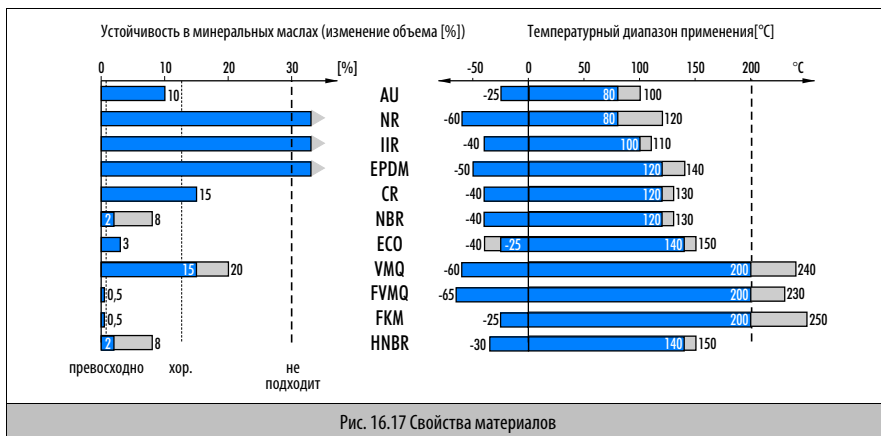


Рис. 16.16 Допустимый предел температура-время для некоторых эластомеров при воздействии горячего воздуха (согласно исследованиям фирмы DaimlerChrysler, Abt. ZWJ)

### 5.6 Перфтор-каучук (FFKM) Simriz

При использовании специальных перфторированных (имеется в виду полное замещение водорода) мономеров, соответствующих связующих и специальной технологии, получают материалы с высокими эластичными свойствами, которые очень близки к PTFE по своей химической и термической устойчивости. Это очень дорогой материал применяется, когда должны соблюдаться стандарты повышенной надежности; а также там, где высокие эксплуатационные и ремонтные затраты оправдывают себя. Чаще всего применяется в химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, приборостроении и тяжелом машиностроении, а также в авиационной и космической технике. Температурный диапазон применения от -15 до +230 °C.

## 5.7 Силикон-каучук (VMQ)



Используется при больших термических нагрузках от  $-40$  до  $+200$  °C. Определенные сорта физиологически инертны и могут быть стерилизованы горячим воздухом, поэтому VMQ применяется в пищевой промышленности и медицинских технологиях.

### 5.8 Фторсиликон-каучук (FVMQ)

Применяется при особых требованиях относительно устойчивости к бензину на холоде. Диапазон температур от  $-60$  до  $+175$  °C.

### 5.9 Хлорбутадиен-каучук (CR)

Отличается хорошей гибкостью на холоде, устойчивый против старения материал для бестканевых мембран, нагруженных сжатым воздухом.

### 5.10 Эпихлоргидрин-каучук (ECO)

применяется в аккумуляторных мембранах при особых требованиях к газогерметичности и гибкости на холоде.

### 5.11 Бутил-каучук (IR)

Применяется для особых газовакуумных аккумуляторных мембран высокого давления. Преимущественно в гидравлических средах и тормозных жидкостях (DOT 4).

### 5.12 Натуральный каучук (NR)

Отличается высокой прочностью, эластичностью и гибкостью на холоде. NR неустойчив на холоде и должен быть защищен от воздействия озона специальными добавками.

### 5.13 Полиуретан (AU)

Сочетает в себе хорошие механические свойства с высокой эластичностью. AU устойчив к маслам и смазкам, а также к кислородной атаке, но у него ограниченная сопротивляемость гидролизу. Температурная область  $-25$  до  $+80$  °C.

### 5.14 Мембранные ткани

Чтобы предотвратить разрыв мембраны из чистой резины под давлением, производят армирование ( $\rightarrow$  2.2.5 Мембраны с армированием тканью, на стр. 16.3). При этом используются 2 вида армирования: тканью и трикотажем, что, в зависимости от структуры, само по себе приводит к изменению свойств конечного продукта.

Более того, можно выбирать между вставкой ткани и слоем ткани. Выбор типа ткани и ее использования зависит от применения и конструкции мембраны. Наш специалист охотно поможет Вам выбрать правильное решение.

Для применения в мембранах имеется три различных группы материалов:

- полиэфир
- полиамид
- ароматизированный полиамид

### 5.15 Полиэфирные полотна

Полиэфирное полотно отличается высокой прочностью, даже при малой толщине ткани, поэтому она может изготавливаться со сравнительно крупными петлями. Это свойство используется, если нужна способность к глубокой

вытяжке. На воздухе и в минеральных маслах устойчивость при повышении температуры уменьшается незначительно. В горячей воде, выше 100 °С, напротив, происходит полное разрушение материала из-за омыления.

### 5.16 Полиамидные полотна

Полиамидное полотно – особенно после правильной обработки – является лучшим связующим средством между резиной и тканью, чем полиэфирная ткань. Это важно, прежде всего, для высоко напряженных мембран со специальными требованиями долговечности. При повышении рабочих температур надо учитывать постоянное снижение прочности. Определенным недостатком, с технической точки зрения, является относительно большая толщина, а также ограниченная способность к глубокой вытяжке.

### 5.17 Арамидные полотна

Арамидные полотна, – известные под торговым названием "номекс-нейлон", – медленно теряют устойчивость, даже в горячей воде при повышении температуры. Поэтому номекс-нейлон – в сочетании с EPDM-каучуком – является подходящим материалом для тканевых мембран, работающих в горячей воде.

Обозначение	Максимальная тяговая сила при 20 °С (Н/м)	Толщина ткани (мм)	Способн. к глубокой вытяжке
Полиэфирное полотно			
85	≥25	0,27	хорошая
86	≥20	0,27	хорошая
87	≥11	0,17	хорошая
88	≥ 7	0,12	средн.
Полиамидное полотно			
22	≥ 22	0,36	ограничен.
29	≥ 29	0,70	ограничен.
31	≥110	0,60	ограничен.
32	≥ 60	0,38	средн.
57	≥ 33	0,32	хорошая
143	≥ 56	0,40	ограничен.
Арамидное полотно (номекс)			
34	≥ 27	0,40	ограничен.

Обозначение	Максимальная тяговая сила при 20 °С (Н/м)	Толщина ткани (мм)	Способн. к глубокой вытяжке
61	≥ 14	0,30	средн.
72	≥ 9	0,30	хорошая
Пряжа/трикотаж из полиэстера			
2	≥ 12 <sup>1)</sup>	0,50	хорошая
4	≥ 3,2 <sup>1)</sup>	0,40	хорошая
Арамидная пряжа/трикотаж			
1	≥ 2,8	0,40	хорошая
11	≥ 4,9	0,60	хорошая

Табл. 16.7 Материалы для мембран

<sup>1)</sup> Значения действуют в направлении петельных столбиков; в направлении хода машины не измеряются из-за образования сплывшихся петель.

### 5.18 Покрытие из PTFE

Чисто резиновая мембрана – за исключением мембраны Simrit – имеет недостаток, описанный в → 2.2.6 Мембрана с накладкой из PTFE, на стр. 16.4, теряет с течением времени сопротивление к агрессивным средам. В данном случае может помочь защитное покрытие, состоящее преимущественно из PTFE-пленки.

В этой связи мы снова обращаемся к разнообразнейшим достоинствам PTFE, чтобы придать многослойным мембранам требуемые специфические свойства.

Подчеркиваем некоторые из них:

- электропроводящая пленка
- особенно прочная пленка при переменном изгибе

**i** Мы также готовы принять заказы на другие типы покрытий для других целей, при условии, что они выдержат напряжение во время процесса вулканизации.

### 5.19 Вставки

Под вставками понимается любой материал, который связывается с мембраной в процессе вулканизации. Палитра простирается от простых металлов до современных материалов. Эти "вставки" принимают на себя разнообразнейшие функции. Например, они передают усилие штока мембране или, они укрепляют определенную площадь. Для того чтобы эти детали хорошо связывались с изделием, используются связующие средства. В настоящее время химические технологии готовы обеспечить соответствующее решение практически для всех традиционных резино-металлических соединений.