

УДК 628.646

А. М. Долотов\*, Ю. И. Белоголов

### ОБЗОР СПОСОБОВ РАЗГРУЗКИ ЗОЛОТНИКА КЛАПАНА ОТ ДАВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЗИРУЕМОЙ СРЕДЫ

Показан обзор существующих в арматуростроении способов разгрузки золотника клапана от давления герметизируемой среды. Дана оценка и приведены конструктивные реализации поршневого, мембранного, сифонного, двухседельного и клеточного способов разгрузки.

**Ключевые слова:** разгрузка, клапан, поршень, мембрана, сифон, клетка, герметичность, затвор, золотник, седло.

В настоящее время, в арматуростроении под разгрузкой золотника понимается частичная или полная компенсация действия давления рабочей среды на шток золотника. Для обеспечения требуемой герметичности клапана к золотнику прикладывают соответствующую силу со стороны привода  $F_{пр}$ , которую условно можно разделить на две составляющие: уравнивающую давление от герметизируемой среды  $p_p$  и герметизирующую нагрузку в уплотнительном стыке  $q_{гер}$ .

Следовательно, формула усилия привода  $F_{пр}$  будет иметь вид:

$$F_{пр} = q_{гер} \cdot \pi \cdot DN + \frac{\pi \cdot DN^2}{4} \cdot p_p, \quad (1)$$

где  $F_{пр}$  – усилие привода;  $q_{гер}$  – герметизирующая нагрузка;  $p_p$  – рабочее давление герметизируемой среды;  $DN$  – диаметр условного прохода.

На рис. 1 изображено распределение нагрузки на золотник со стороны привода и герметизируемой среды.

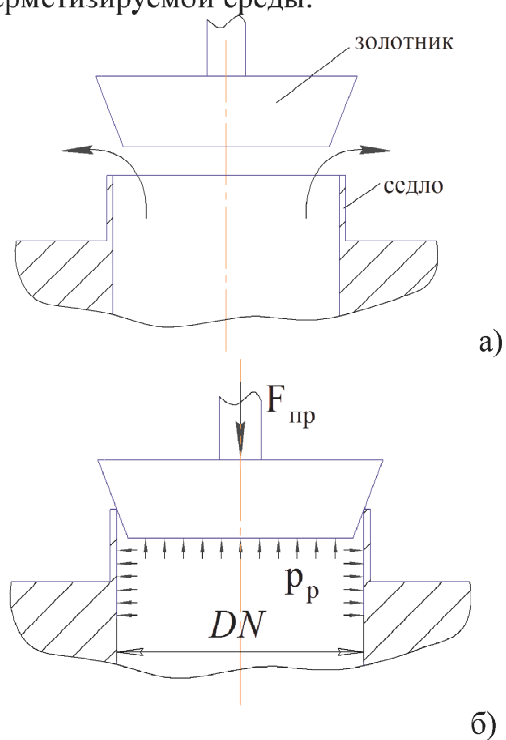


Рис. 1. Схема затвора клапана: а – золотник открыт; б – золотник закрыт.

\* - автор, с которым следует вести переписку.

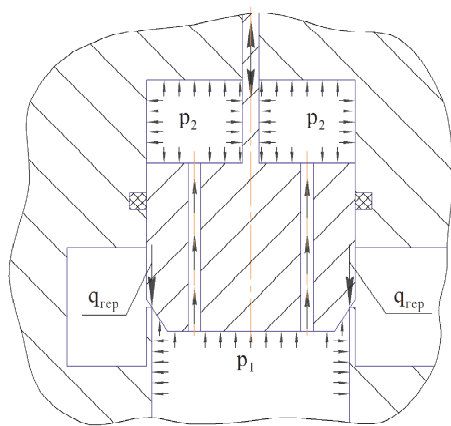
Однако клапаны могут эксплуатироваться в условиях, например, нестационарности давления герметизируемой среды  $p$ , что ведет к значительным изменениям герметизирующей нагрузки  $q_{гер}$  и как следствие – появлению избыточной герметизирующей нагрузки  $q_{гер}^{изб}$  (что может привести к разрушению элементов уплотнения, даже без учета динамики нагружения клапана).

$$q_{гер}^{изб} = \frac{(p - p_p) \cdot DN}{4}, \quad (2)$$

где  $q_{гер}^{изб}$  – избыточная герметизирующая нагрузка на золотник;  $p$  – расчетное давление герметизирующей среды (принимается равным рабочему давлению среды или выше).

В таких случаях рациональным является выполнить разгрузку золотника от давления герметизируемой среды. На рис. 2 изображена схема разгрузки золотника от давления рабочей среды, где  $p_1 = p_2 = p_p$ .

Разгрузка золотника от давления рабочей среды может быть осуществлена пятью основными способами:



**Рис. 2. Схема разгрузки золотника клапана:**  $p_1, p_2$  – давление герметизируемой среды;  $q_{гер}$  – герметизирующая нагрузка на золотник.

1. Поршневой способ разгрузки – уравнивающий элемент выполнен в виде поршня, способного воспринимать воздействие давления со стороны рабочей среды на золотник и компенсировать его посредством того же давления.

2. Мембранный способ разгрузки – в качестве уравнивающего элемента используется мембрана. Мембрана может также являться запирающим элементом клапана.

3. Сильфонный способ разгрузки – уравнивание создается усилием, возникающим от давления рабочей среды на площадь уравнивающего элемента, выполненного в виде сильфона.

4. Двухседельный способ разгрузки – конструкция выполнена в виде двух параллельно работающих затворов, расположенных на одной оси. В данном способе разгрузки уравнивает непосредственно сам золотник.

5. Клеточный способ разгрузки – затвор клапана выполнен в виде детали с профилированными отверстиями для пропуска рабочей среды и плунжера, который перемещается внутри клетки и изменяет суммарную площадь открытых сечений этих отверстий [3]. Часто клетку конструктивно принимают за корпус клапана. Известны также такие способы разгрузки, как трубчатый и шланговый, которые исключены из рассмотрения, поскольку являются разновидностями поршневого и клеточного способов разгрузки. На рис. 3-7 схематично изображены все пять способов разгрузки клапанов от давления рабочей среды. Клапаны с разгрузкой от давления рабочей среды на золотник при помощи поршня, мембраны, сильфона и клетки (рис. 3-5 и 7) по принципу действия сходны, так как разгрузка клапана наступает в результате рабочего давления, создаваемого средой на площадь уравнивающего элемента. В двухседельных (рис. 6) клапанах уравнивает непосредственно золотник.

Основными преимуществами использования разгрузки клапанов является снижение требуемого перестановочного усилия в клапане, вследствие чего применяются приводы с меньшим тяговым усилием и меньшей мощностью, уменьшается масса и габаритные размеры клапана.

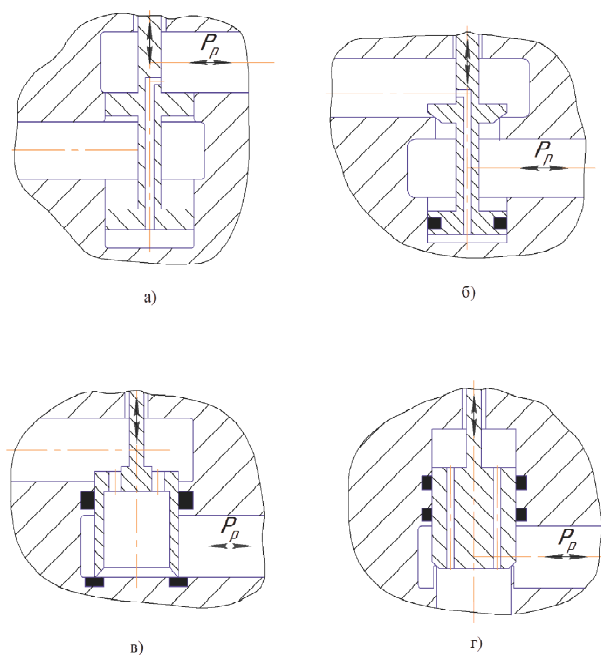


Рис. 3. Конструктивные реализации поршневого способа разгрузки: а, б – золотникового типа; в, г – трубчатого типа.

Поршневой способ разгрузки (рис. 3), по сравнению с другими, получил более широкое применение. Основным преимуществом данного способа разгрузки является его применение на высокотемпературных, низкотемпературных и чистых средах, а также для работы на вакуумных трубопроводах. Недостатками поршневого метода разгрузки являются: возможное заклинивание поршня в направляющей втулке при попадании в зазор абразивных частиц вместе с герметизируемой средой, значительный вес затвора, а также силы трения между взаимодействующими поверхностями поршня и направляющей втулки.

Существующие способы и материалы для уплотнения подвижных элементов клапана не обеспечивают требуемую герметичность при температурных перепадах и перепадах давления герметизируемой среды, что и ограничивает применение поршневого способа разгрузки.

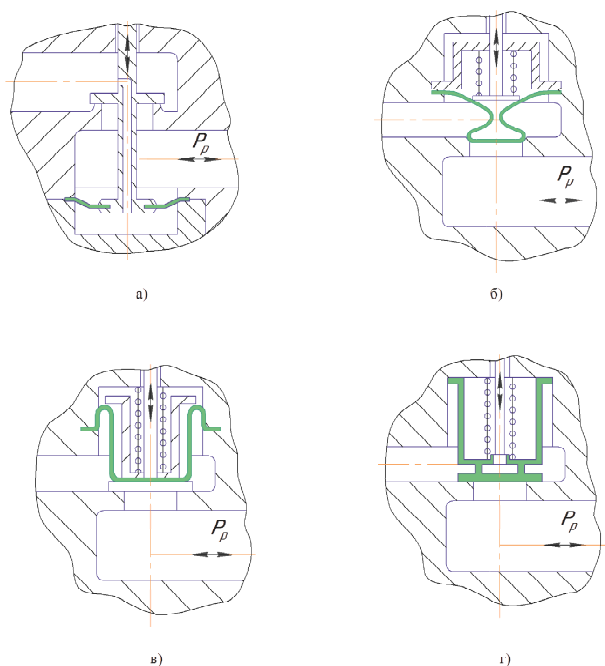


Рис. 4. Конструктивные реализации мембранного способа разгрузки: а – плоского типа с жестким центром; б – гофрированного типа; в, г – конического типа с жестким центром.

Разгрузка золотника с помощью мембраны (рис. 4) не получила широкого применения в арматуростроении вследствие низкой стойкости мембран к агрессивным средам, высоким температурам и давлению.

Согласно [2], основными недостатками мембранного способа разгрузки являются:

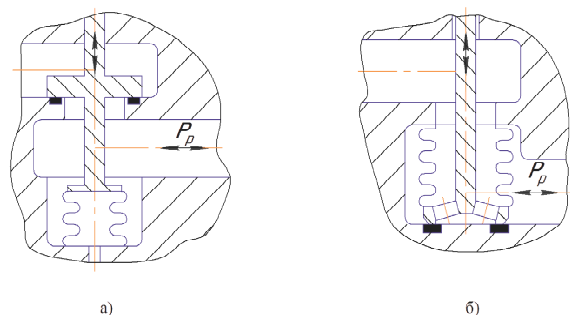
1. Ограниченность механической прочности, устойчивости к воздействию высоких и низких температур материалов, пригодных для изготовления мембран, что существенно сужает диапазон рабочих температур и давлений клапанов с мембранным усилителем.

2. Избирательная стойкость резин, которые являются наиболее распространенным материалом для изготовления мембран, к различным по химическому составу рабочим средам, что приводит к необходимости предусматривать большое количество исполнений клапанов в зависимости от рабочей среды.

3. Невозможность применения большинства материалов, пригодных для изготовления мембран, для клапанов, работающих в средах, к которым предъявляются требования повышенной химической чистоты.

4. Низкая коррозионная стойкость большинства материалов, пригодных для изготовления мембран, ограничивающая применение мембранных конструкций в ряде агрессивных сред.

При всех своих недостатках мембранные способы разгрузки используются на средах с приемлемыми параметрами герметизируемой среды.

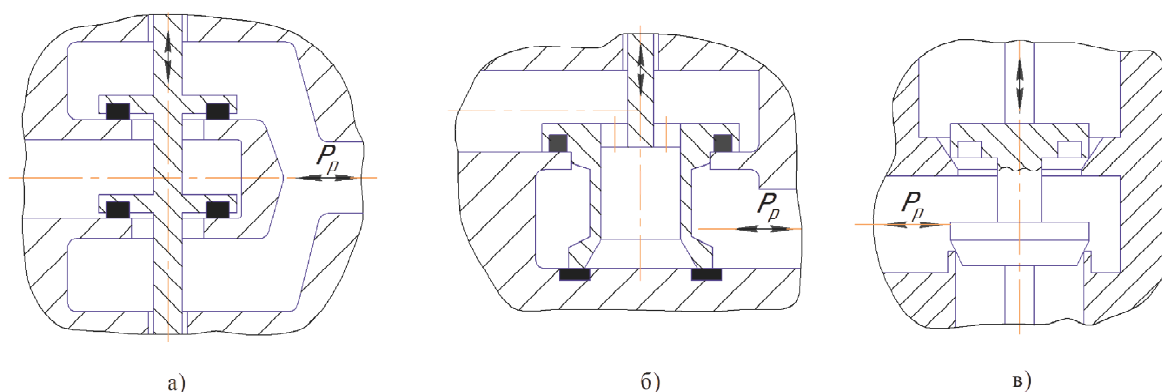


**Рис. 5.** Конструктивные реализации сильфонного способа разгрузки: а, б – золотникового типа.

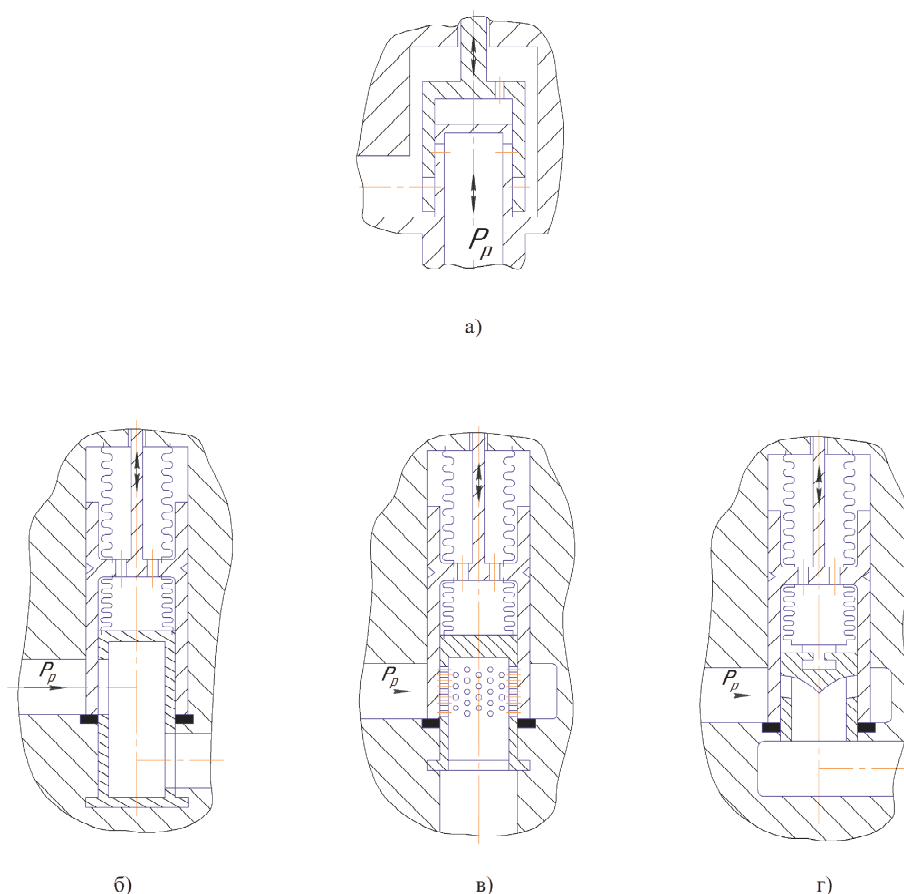
Согласно [7], основным преимуществом сильфонного способа разгрузки (рис. 5) является возможность применения при высоких температурах рабочей среды. Вследствие наличия технологических допусков на геометрические размеры сильфонов имеет место разброс величины их эффективной площади. По этой причине сильфонный способ разгрузки не обеспечивает полного уравновешивания золотника от давления рабочей среды. Ресурс работы таких клапанов ограничен вследствие повышенного износа разгружающего элемента.

В настоящее время двухседельные конструкции разгрузки (рис. 6) все больше вытесняются односедельными, которые более компактны, надежны и менее требовательны к параметрам герметизируемой среды. Согласно [7], двухседельные конструкции нашли свое применение в клапанах с электромагнитным приводом, предназначенных для работы на средах, содержащих твердые включения. Затвор такой конструкции, как правило, не обеспечивает высокий класс герметичности и сложен при изготовлении и ремонте.

Основным преимуществом данного способа разгрузки является использование клапана при любом направлении потока герметизируемой среды.



**Рис. 6.** Конструктивные реализации двухседельного способа разгрузки: а, г – золотникового типа; б – трубчатого типа.



**Рис. 7. Конструктивные реализации клеточного способа разгрузки: а – трубчатого типа; б, в, г – сифонного типа.**

Основным преимуществом клеточного способа разгрузки (рис. 7) являются его использование при повышенных температуре и давлении герметизируемой среды. Клеточный способ разгрузки менее других подвержен вибрации, поперечным и продольным колебаниям. Однако он чувствителен к другим параметрам герметизируемой среды – наличию абразивных частиц, возможно также заклинивание плунжера в корпусе клапана.

На рис.7б, в, г изображены различные варианты исполнения клапана с клеточным затвором (патент № 2298127). Согласно [6], изобретение направлено на обеспечение высокой герметичности относительно среды при работе клапана в интервале рабочих температур от  $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Общим для всех способов разгрузки недостатком, является само по себе уплотнение, материал и способ расположе-

ния которого во многом зависят от параметров герметизируемой среды.

Для сравнения и оценки приведенных выше способов разгрузки были выбраны следующие основные параметры:

1) Параметры герметизируемой среды – перепад давления и температуры, агрессивность среды и наличие абразивных частиц ведут к засорению, разрушению и потере герметичности в затворе клапана. Параметры герметизируемой среды являются одним из основных критериев при выборе клапана и способа его разгрузки.

2) Надежность способа разгрузки – показатели надежности рассматриваются в совокупности с герметичностью затвора во времени, конструктивное обеспечение которого достигается при минимальных производственных и эксплуатационных затратах. Сохранение механической прочности в условиях коррозионно-механического изнашивания деталей за-

твора и уравнивающего элемента зависит от материала и выступает критерием оптимизации, конструкторское обеспечение которого достигается выбором оптимальных материалов для герметизации.

3) Экономичность способа разгрузки – габаритно-массовые и энергетические показатели клапана, наряду с остальными параметрами оценки способов разгрузки, зависят от диаметра условного прохода, строительной длины, типа управления затвором. Конструктивное исполнение способа разгрузки должно подчиняться эксплуатационной ситуации и непосредственно зависит от требований, предъявляемых к работе затвора.

4) Разгруженность клапана – разгруженность клапана от давления рабочей среды характеризуется степенью разгрузки золотника, которая может быть как полной, так и частичной, и зависит от конструкции уравнивающего эле-

мента затвора. В зависимости от способа разгрузки, степень разгрузки золотника может различаться.

Обзор способов разгрузки золотника клапана от давления рабочей среды по выбранным параметрам приведен в табл. 1.

Выбор способа разгрузки золотника клапана зависит от многих параметров (срок службы клапана, условия эксплуатации, требования по надежности, герметичности, составу герметизируемой среды и т. д.) и определяется конструктором исходя из эксплуатационных требований. Основным недостатком разгрузки золотника клапана является наличие вторичных уплотнений и упругих элементов, у которых ограничена величина перемещения, низкая усталостная прочность и т. д. Поэтому в настоящее время основное внимание обращено на устранение указанных недостатков.

Таблица 1

*Обзор способов разгрузки золотника клапана по выбранным параметрам*

Параметр	Способ разгрузки золотника клапана				
	Поршневой	Мембранный	Сильфонный	Двухседельный	Клесточный
Параметры герметизируемой среды	Ограничен $t$ °С для вторичных уплотнений и абразивными включениями	Ограничен в использовании высоким $P$ , $t$ °С, наличием абразивных включений и агрессивностью среды	Ограничен свойствами используемых материалов сильфона и уплотнений	Ограничен $t$ °С для вторичных уплотнений и абразивными включениями	Используется при высоких $P$ , $t$ °С, агрессивности среды; ограничен наличием абразивных включений
Надежность способа разгрузки	Ограничен надежностью вторичных уплотнений	Ограничен надежностью мембраны	Ограничен ресурсом сильфона	Ограничен сложностью технологии изготовления	Ограничен сложностью технологии изготовления
Экономичность способа разгрузки	Ограничен габаритными размерами	Ограничен стоимостью изготовления	Ограничен стоимостью изготовления	Ограничен габаритными размерами	Ограничен стоимостью и габаритными размерами
Разгруженность клапана	$K = 10 \div 100$	$K = 30 \div 40$	$K = 10 \div 50$	$K = 10 \div 100$	$K = 10 \div 100$

*Литература*

1. Долотов А. М., Огар П. М., Чегодаев Д. Е. Основы теории и проектирования уплотнений пневмогидроарматуры летательных аппаратов : учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ, 2000. 296 с.
2. Трубопроводная арматура с автоматическим управлением : справочник / Д. Ф. Гуревич [и др.]. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. 320 с.
3. ГОСТ 52720-2007. Арматура трубопроводная. Термины и определения . М.: Изд-во стандартов, 2007. 19 с.
4. Гошко А. И. Арматура трубопроводная целевого назначения. В 3 кн. Кн. 1: Выбор. Эксплуатация. Ремонт. М.: Машиностроение, 2003. 423 с.
5. Кондаков Л. А., Голубев А. И., Овандер В. Б. Уплотнения и уплотнительная техника : справочник. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
6. Клапан : пат. 2298127 Рос. Федерация. № 2005128192/06 ; заявл. 12. 09. 2005; опубл. 27.04. 2007, Бюл. № 23. 6 с.
7. Щучинский С. Х. Клапаны с электромагнитным приводом : справ. пособие. М.: Энергоатомиздат, 1988. 152 с.