

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ДРОССЕЛЬНЫЕ
И КЛАПАННЫЕ
УСТРОЙСТВА
ЭЛЕМЕНТОВ
ПНЕВМОГИДРОАВТОМАТИКИ

Методические указания

САМАРА 1994

Составитель Ш е с т а к о в Георгий Валентинович

УДК 629.78.064

**Дроссельные и клапанные устройства элементов пнев-
могидроавтоматики: Метод. указания/ Самар. гос. аэрокосм.
ун-т; Сост. Г. В. Ш е с т а к о в. Самара, 1994. 16 с.**

Приведены схемы, описание принципа действия, области применения дроссельных и клапанных устройств элементов пневмогидроавтоматики.

Предназначены для студентов дневного обучения специальности 1304А.

Выполнены на кафедре АСЭУ.

Печатаются по решению редакционно – издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева.

Рецензенты: Б. В. М и р о н о в
В. Н. В я к и н

Процесс регулирования в пневмогидравлических системах обычно осуществляется путем управления потоком жидкости, т.е. изменением ее давления, расхода или направления движения. Все известные устройства управления (регуляторы расхода, регуляторы давления, распределители) содержат местные гидравлические сопротивления, специально установленные на пути движения жидкости для осуществления дросселирования. Под дросселированием понимают процесс снижения давления (напора) жидкости при ее движении через местное сопротивление. Гидравлические сопротивления в устройствах автоматики можно разделить на дроссели и клапаны.

Геометрические характеристики дросселя, т.е. размеры его рабочих окон (отверстий), в которых происходит дросселирование, не изменяются от воздействия проходящего через него потока жидкости. А геометрические характеристики клапана меняются под действием потока.

И дроссели, и клапаны могут быть либо регулируемы, либо нерегулируемы. Это значит, что в первом случае их геометрические характеристики могут быть изменены воздействием извне в процессе их работы, а во втором случае это изменение при воздействии извне невозможно.

Рассмотрим гидравлические свойства и конструктивные особенности дроссельных и клапанных устройств.

1. ДРОССЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Гидравлические свойства дросселя определяются зависимостью местной потери напора от расхода (или скорости V):

$$h_m = \frac{A}{Re} \frac{V^2}{2g} + B \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

где A, B — безразмерные константы, зависящие от формы местного сопротивления; Re — число Рейнольдса; V — скорость течения жидкости; g — ускорение свободного падения. Соотношение между первым и вторым членом в формуле (1) зависит от формы местного сопротивления и числа Рейнольдса. В таких местных сопротивлениях, где имеется узкий канал, длина которого значительно превышает его поперечный размер, с плавными очертаниями входа и выхода, как, например, показано на рис. 1.1а, а числа Re малы, потеря напора определяется в основном трением и закон сопротивления близок к линейному. Дроссель в этом случае называют **линейным**. При этом следует иметь в виду, что потеря напора в нем изменяется прямо пропорционально вязкости жидкости и, следовательно, гидравлическая характеристика такого дросселя зависит от температуры жидкости, т.е. не является стабильной. Второй член в формуле (1) для такого дросселя равен нулю или очень мал по сравнению с первым.

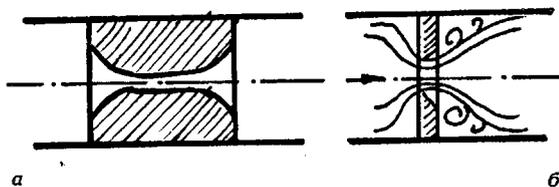


Рис. 1.1. Два типа местных сопротивлений

Когда длина узкого канала сведена до минимума, а числа Рейнольдса достаточно велики, потеря напора в дросселе в основном определяется вихреобразованиями при внезапном расширении, а зависимость h от расхода Q получается практически квадратичной. Такой дроссель называют **квадратичным**; его гидравлическая характеристика является более стабильной, т.е. практически не зависящей от вязкости жидкости, что важно для гидросистем, предназначенных для работы в широком температурном диапазоне.

Наилучшей формой дросселирующего отверстия в этом случае является круглое отверстие в тонкой стенке (см. рис. 1.1б). Однако по технологическим соображениям чаще применяют сверления с отношением $1/d = 1 \dots 3$, т.е. внешний цилиндрический насадок.

Очень часто от дросселя требуется большой перепад давления, для чего необходим очень малый размер дросселирующего сече-

ния. Однако это нежелательно ввиду возможности засорения или облитерации. Поэтому в этих случаях либо применяют линейный дроссель с увеличенной длиной канала, либо несколько последовательно установленных квадратичных дросселей. Линейный дроссель представлен на рис. 1. 2а. Дроссель состоит из дроссельного винта 1, плотно помещенного с минимальным радиальным зазором во втулку 2, и вспомогательного винта 3, служащего для осевого перемещения первого винта. Жидкость подводится к отверстию а и, пройдя винтовую канавку, поступает к отверстию б, связанному с потребителем. При осевом перемещении дроссельного винта 1 изменяется длина прохода жидкости и соответственно изменяется сопротивление дросселя.

Квадратичный многоступенчатый (многошайбовый) дроссель изображен на рис. 1. 2б. Жидкость в нем проходит через несколько простых дросселей, установленных последовательно. Диаметр дросселирующих отверстий d рекомендуется брать не менее $0,5 \dots 1,5$ мм, толщину стенки — $(1 \dots 2) d$ и расстояние между стенками — $(3 \dots 5) d$. Отверстия следует располагать не на оси дросселя одно против другого, а в диаметрально противоположных точках так, чтобы путь жидкости был лабиринтообразным.

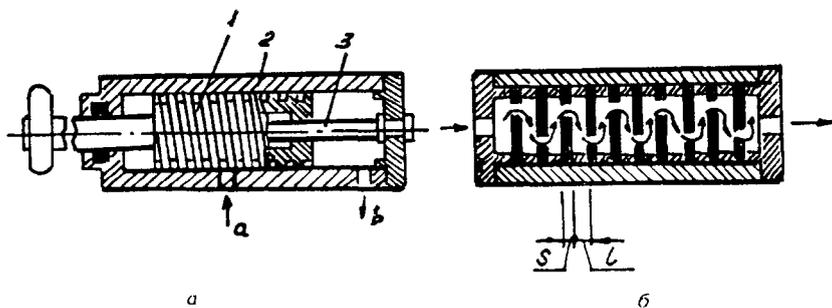


Рис. 1.2. Конструктивное исполнение дросселей для больших перепадов

Для практических расчетов многоступенчатых дросселей можно пользоваться следующим выражением коэффициента расхода μ_n :

$$\mu_n = k \frac{\mu}{\sqrt{n}},$$

где k — коэффициент взаимного влияния ступеней, который может быть принят равным 1,25; n — число ступеней; μ — коэффициент расхода единичной шайбы.

Широкое применение в системах пневмогидроавтоматики нашли золотниковые регулируемые дроссели. Схема наиболее распространенного золотникового регулируемого дросселя с проточкой в гильзе и прямоугольным буртом золотника показана на рис.1.3а.

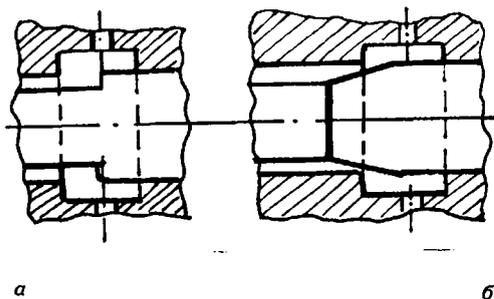


Рис. 1.3. Золотниковые регулируемые дроссели

Для уменьшения коэффициента усиления дросселя без изменения диаметра золотника бурт последнего снабжают конусом (рис.1.3б), лысками или продольными канавками треугольного сечения.

Дроссели широко используются в устройствах демпфирования колебаний давления. В различных конструкциях гасителей колебаний давления применяются как линейные дроссели (капиллярные каналы, элементы из пористых материалов), так и дроссели с нелинейными свойствами (острокромочные диафрагмы, жиклеры), представленные на рис.1.4.

При высокой потребной эффективности демпфирования проходные сечения капилляров оказываются настолько малыми, что повышается вероятность их засорения. Менее подвержены засорению дросселирующие элементы из пористых материалов, из которых более стойкими физико-химическими свойствами обладает материал МР. Дроссель, выполненный из МР, имеет высокую надежность в неблагоприятных условиях работы: при высокой температуре рабочей среды и при высоких уровнях вибраций.

МР-дроссели представляют собой изделия из однородной пористой структуры, полученной холодным прессованием до-

зированной по массе, растянутой и уложенной в матик спирали из металлической проволоки диаметром 0,05 . . . 0,2 мм. Наружный диаметр навиваемой спирали зависит от диаметра проволоки и колеблется от 0,6 до 2 мм.

Форма и размеры МР-дросселей могут быть различными. Наиболее часто используются дроссели, выполненные в виде кольца (рис.1.4в) или цилиндра (рис.1.4б). При проектировании МР-дросселя необходимо обеспечить путь дросселирования жидкости (расстояние между входными и выходными поверхностями МР-дросселя) не менее 3 . . . 4 мм.

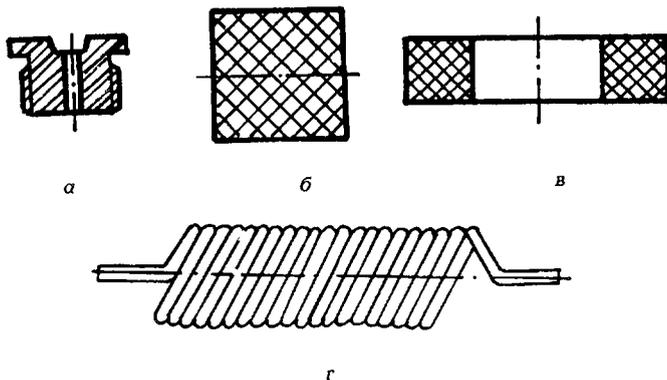


Рис. 1.4. Разновидности дросселей: а — жиклер; б — МР-дроссель в виде цилиндра; в — МР-дроссель в виде кольца; г — капиллярный канал

Величину сопротивления МР-дросселя можно регулировать изменением пористости образца — добавлением или уменьшением количества спирали в заданном геометрическом объеме. Необходимое количество спирали в образце рекомендуется определять опытным путем — по результатам проливок серии дросселей при рабочем статическом давлении и средней рабочей температуре жидкости.

По результатам проливок величина активного сопротивления дросселя подсчитывается по формуле

$$R_{dp} = \frac{\Delta P_{dp}}{Q},$$

где ΔP_{dp} — перепад давления; Q — расход через дроссель.

2. КЛАПАННЫЕ УСТРОЙСТВА

Клапаны применяются в виде следующих основных разновидностей, изображенных схематически на рис.2.1: шарикового, конусного и плоского (тарельчатого). Шариковый клапан (рис.2.1а) является простейшим по своей конструкции и изготовлению, но применяется обычно лишь для малых давлений и в случаях эпизодического действия.

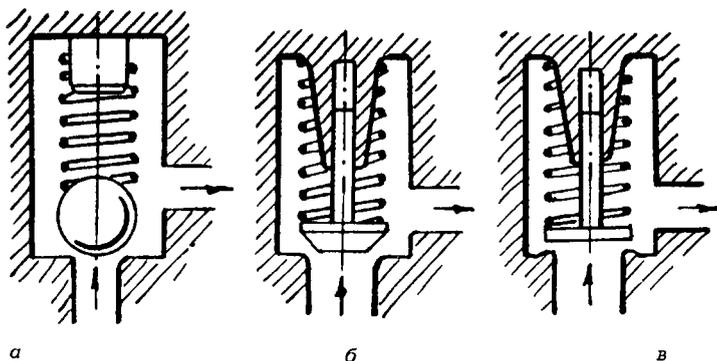


Рис. 2.1. Разновидности клапанов

Более надежными и применимыми на большие давления и расходы являются клапаны конусные (рис.2.1б) и плоские (рис.2.1в). Диаметр клапана обычно составляет $d_k = (1,5...1,25)d$, где d — диаметр отверстия седла канала, причем для плоских клапанов отношение d / d_k больше, чем для конусных.

2.1. ЗАПОРНЫЕ ПАРЫ КЛАПАННЫХ УСТРОЙСТВ

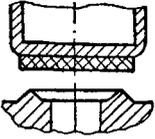
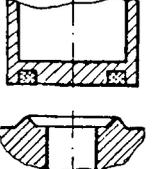
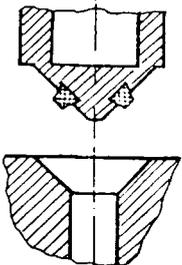
Запорная пара клапана является основным узлом, от качества которого зависят характеристики устройства. Практически создание новой запорной пары происходит каждый раз заново в процессе конструирования и экспериментальной доводки агрегата. Рассмотрим достоинства и недостатки основных типов запорных пар.

2.1.1. Запорные пары из неметаллических (деформируемых) материалов

Для таких рабочих сред, как воздух, керосин и т.п., с высокой проникающей способностью, наиболее эффективны запорные

пары типа седло — клапан с резиновыми уплотнителями и уплотнителями из смол. Различные конструктивные исполнения, достоинства и недостатки запорных пар приведены в таб. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Конструкция	Достоинства	Недостатки
	Простота изготовления, малый разброс по величине давления	Малый ресурс из-за разрушения уплотнителя вследствие большого объема резины
	Малый разброс по величине давления от открытия. Повышенный ресурс вследствие уменьшенного объема резины, участвующего в работе	Необходимость механической обработки торца клапана для удаления облоя резины в зоне центрального стержня
	Простота изготовления	Большой разброс по величине давления от открытия. Необходимость механической обработки клапана после вулканизации. Малый ресурс из-за нарушения поверхностного слоя резины при механической обработке

Конструкция седла выполняется в зависимости от направления подаваемого давления, как это показано на рис.2.2.

Запорные пары с уплотнителем из капроновых и других смол конструктивно выполняются аналогично парам с резиновыми уплотнителями. Причем они обладают примерно такими же достоинствами и недостатками, как и запорные пары с резиновыми уплотнителями.

Запорные пары с фторопластовым уплотнителем имеют ряд тех же недостатков, что уплотнения из резины и смол. Однако они работоспособны во всех рабочих средах, применяемых в настоящее время, и при более высоких температурах — примерно до

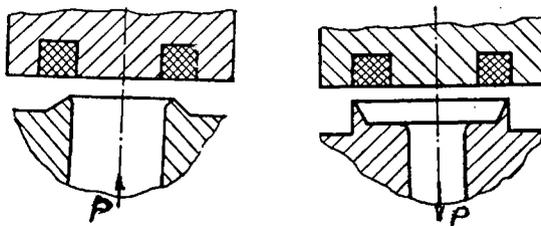


Рис. 2.2. Конструкции седла клапана

+ 210° С. Обычно фторопластовое уплотнение выполняется сборного типа и устанавливается как в седле, так и в клапане (рис. 2.3), однако возможна заделка фторопласта в цельной конструкции, как это показано на рис. 2.4.

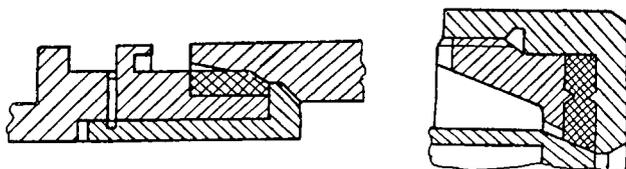


Рис. 2.3. Конструктивное исполнение запорных пар с фторопластовым уплотнением

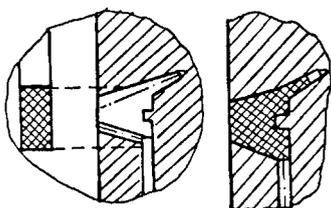


Рис. 2.4. Схема заделки фторопластового уплотнителя

Установка фторопластового кольца производится либо с предварительным разогревом до температуры 140 . . . 150° С, либо с предварительным охлаждением до температуры - 60 . . . 70° С. При запрессовке требуется удельное давление около 80 МН/м².

Серьезным недостатком фторопластовых уплотнений является то, что они со временем, и осо-

бенно при повышенных температурах, деформируются и начинают вытекать в зазоры. Поэтому фторопластовые уплотнители следует размещать в замкнутые объемы, а зазоры между сопрягаемыми поверхностями выполнять равным 15 . . . 30 мкм.

Геометрические размеры канавок для запрессовки фторопласта — 4 выполняются одинаковыми для уплотнения по седлу с

торцевым уплотнительным элементом и для уплотнения по седлу с коническим уплотнительным элементом. Высота второпласта — вого кольца должна быть больше глубины канавки на $1/3$ или $2/3$.

Фторопластовое кольцо, которое вставляется в канавку для запрессовки, изготавливается из заготовки методом механической обработки на токарном станке. Размеры и конфигурация кольца согласовываются с геометрией и профилем канавки.

Запрессовка уплотнителей из фторопласта — 4 производится методом горячего прессования на гидравлическом прессе, снабженном специальными плитами для охлаждения проточной водой пресс — формы с деталью по окончании прессования.

После запрессовки токарным способом снимается избыточный фторопласт с обеспечением конфигурации уплотняемых поверхностей и их чистоты не менее 5 класса.

Правильное и строгое соблюдение технологического процесса гарантирует качественное изготовление деталей — отсутствие расслоений, трещин и неоднородной структуры фторопласта, полное заполнение канавки и дренажных отверстий.

В целях предупреждения вытекания фторопласта, а также стабилизации геометрических размеров уплотнителя в процессе работы агрегата производят так называемое термостатирование.

При процессе термостатирования фторопластового уплотнителя (уплотнитель располагается в седле или клапане) седло или клапан следует изготавливать с припуском (рис.2.5).

Затем производится частичная предварительная сборка и агрегат помещается в термобокс при температуре, соответствующей рабочему тепловому режиму агрегата. В агрегат подается давление, равное рабочему, которым клапан прижимается к седлу. В таком состоянии агрегат выдерживается в термобоксе от 4 до 10 часов, после чего агрегат охлаждается до нормальной температуры и разбирается, а клапан дополнительно обрабатывается резцом на станке до чертежных размеров со снятием припуска на металлических деталях и фторопласте. После термостатирования агрегат можно собирать окончательно.

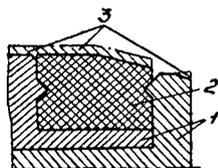


Рис. 2.5. Схема заделки фторопластового уплотнителя при термостатировании: 1 — детали клапана (седла); 2 — фторопластовое уплотнение; 3 — припуски

Термостатирование дает положительные результаты, если тепловой режим работы агрегата не превышает $+200 \dots 210^\circ \text{C}$.

2.1.2. Запорные пары из металлических материалов

Конструкции с запорными парами типа «металл по металлу» можно разделить на золотниковые, поршневые, мембранные и «конус — острая кромка». Наиболее широкое применение нашли пары «конус — острая кромка». Рассмотрим их более подробно.

Запорная пара «конус — острая кромка» может применяться при использовании практически любых рабочих сред, температур и давлений, при повышенных требованиях к сроку службы и узлу уплотнений.

Конструктивно седло запорной пары выполняется в двух вариантах: корпус и седло с острой кромкой цельной конструкции, как показано на рис. 2.6, и корпус, и седло с острой кромкой сборной конструкции (рис. 2.7).

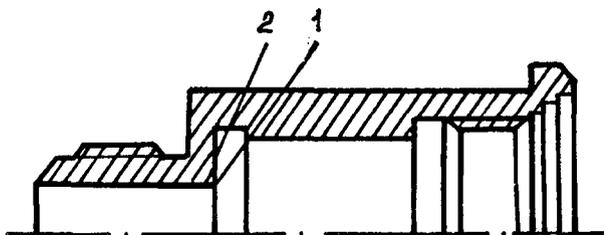


Рис. 2.6. Запорная пара «конус — острая кромка» цельной конструкции:
1 — острая кромка; 2 — торец

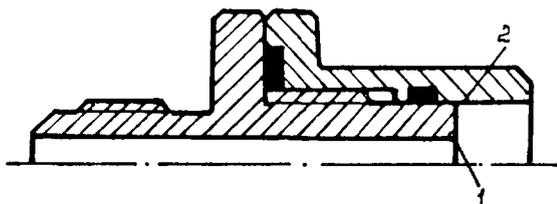


Рис. 2.7. Запорная пара «конус — острая кромка» сборной конструкции:
1 — острая кромка; 2 — торец

При выполнении корпуса цельной конструкции достигается большая соосность цилиндрических поверхностей и практически

одинаковая их овальность. Единственный недостаток — технологическая трудность изготовления острой кромки, находящейся в глубине корпуса на расстоянии 3—4 диаметров от открытого торца, в результате чего острая кромка получается дробленой, с огранкой, большой эллипсностью и овальностью, для устранения которых необходимо станочное оборудование высокой точности.

При выполнении корпуса сборной конструкции достигается высокое качество острой кромки по чистоте обработки, величине овальности и эллипсности цилиндрических поверхностей.

Недостатком является большая несоосность цилиндрических поверхностей. Не исключены также случаи деформации обеих деталей корпуса при их свинчивании, что ведет к искажению поверхностей, а иногда и к закаливанию клапана в процессе работы. Учитывая эти особенности, предпочтителен вариант цельной конструкции.

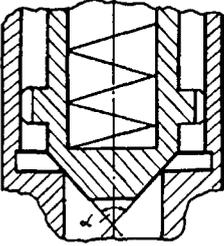
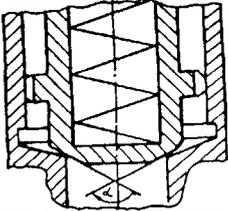
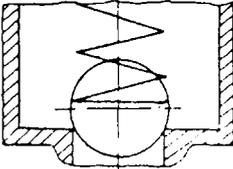
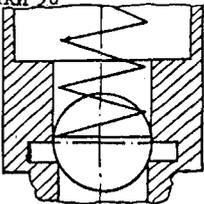
При выборе материала необходимо иметь в виду, что для обеспечения работоспособности запорной пары должно соблюдаться условие: твердая поверхность конуса клапана и более мягкая — острой кромки. В процессе работы острая кромка превращается в коническую поверхность, полностью соответствующую конусу клапана, т. е. происходит самопритирка поверхностей.

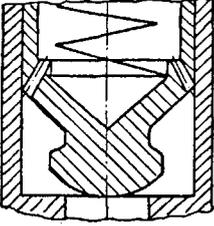
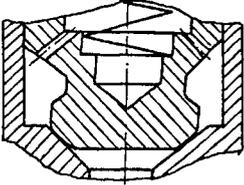
Обратное сочетание пары по твердости недопустимо, так как в самом начале работы в конусе клапана вырабатывается «дорожка» по месту контакта и нарушается герметичность.

Аналогичное явление может проявляться и при малых разностях твердостей. Для запорной пары «седло — клапан» рекомендуется сталь, при этом твердость конуса клапана должна быть HRC 48...56 единиц, а твердость седла клапана — HRC 25...35. В тех случаях, когда из-за массы конструкции невозможно применить стальной корпус, рекомендуется применение дюралюмина. В этом случае клапан выполняется из стали той же твердости, а корпус — дюралюминовый, термообработанный до максимальной твердости.

Антикоррозионная защита ухудшает работоспособность запорной пары. Наиболее распространенные виды применяемых покрытий — кадмирование стальных и анодирование дюралюминовых деталей. При анодировании корпуса острая кромка, во-первых, растравливается, образуя так называемую «рваную» поверхность, во-вторых, анодная пленка в силу своей пористости не обеспечивает герметичности.

Таблица 2.2

Вид клапана и кромки	Достоинства	Недостатки
<p>Угол конуса 60, 75, 90° Угол острой кромки 90°</p> 	<p>Простота изготовления</p>	<p>Малый ресурс из-за образования заусенцев на острой кромке. Требуется большая соосность диаметров и малые погрешности в эллипсности, огранке, неперпендикулярности торца угла. Возможно самозаклинивание клапана</p>
<p>Угол конуса 90, 105, 120° Угол острой кромки 90, 105, 120°</p> 	<p>Большой ресурс</p>	<p>Трудность в обеспечении полного прилегания конусов. Требуется большая соосность цилиндрических и конических поверхностей. Возможны случаи залипания клапана</p>
<p>Клапан-шарик, не имеющих направляющих. Угол острой кромки 90°</p> 	<p>Простота изготовления</p>	<p>Малый ресурс при расходном режиме агрегата из-за "игры" шарика, которая приводит к разрушению кромки и к вибрации агрегата</p>
<p>Шарик в направляющем отверстии. Угол острой кромки 90°</p> 	<p>Простота изготовления. Исчезает "игра" шарика.</p>	<p>Малый ресурс из-за образования заусенцев на острой кромке. Требуется большая соосность диаметров и малые погрешности в эллипсности, огранке, неперпендикулярности торца седла</p>

Вид клапана и кромки	Достоинства	Недостатки
Сфера на клапане. Угол острой кромки 90° 	Большой ресурс, простота изготовления. Понижается погрешность по соосности поверхностей за счет сферической поверхности клапана	Трудность получения сферы и ее соосности с цилиндрической поверхностью
Сфера на клапане. Угол острой кромки $105, 120, 150^\circ$ 	"-----"	"-----"

Большую роль в обеспечении герметичности запорной пары при малых давлениях играет правильно выбранная величина удельного давления конуса на острую кромку, которая зависит от осевого усилия поджимающей пружины. Исходя из практического опыта, рекомендуются удельные давления, равные $0,002 \text{ Н/мм}^2$ — для пары сталь по стали и $0,001 \text{ Н/мм}^2$ — для пары сталь по дюралюмину.

Ввиду трудности обеспечения жестких требований по геометрии острой кромки (эллипсность, огранка, соосность, перпендикулярность и т. д.) нередко практикуется обжатие острой кромки. В табл. 2.2 приведены характеристики вариантов запорных пар.

Наиболее распространенной является конструкция первого типа, а рекомендуются как наилучшие — две последние.

Обжатие острой кромки производится легким постукиванием молотка (массой 100...200 г), резкой подачей давления (примерно $1,5...2 P_{\text{рав}}$) или статическим нагружением с помощью прессы до получения нужной величины обжатия.

ДРОССЕЛЬНЫЕ И КЛАПАННЫЕ УСТРОЙСТВА
ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМОГИДРОАВТОМАТИКИ

Составитель Шестаков Георгий Валентинович

Редактор Л. Я. Чегодаева
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Т. И. Щелокова

Подписано в печать 26.12.94. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 0,93.
Усл.кр.—отт. 1,05. Уч.—изд.л. 1,0. Тираж 150 экз.
Заказ 540. . Арт. С—15 мр/94.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного университета.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.