

А. П. Куршин, д.т.н., ФГУП ЦАГИ

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О НОРМИРОВАНИИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЗАТВОРОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

В настоящее время действует ГОСТ 9544-93 «Арматура трубопроводная запорная. Нормы герметичности затворов». Стандарт устанавливает нормы герметичности затворов на все виды запорной трубопроводной арматуры при номинальном давлении PN от 0,1 МПа и требования к проведению испытаний на герметичность. Стандарт может быть использован для сертификации трубопроводной арматуры (ТПА). Он устанавливает 4 класса герметичности (А, В, С, Д) и максимально допустимые значения протечек при приемно-сдаточных испытаниях в следующих условиях: пробная среда – вода или воздух при давлении соответственно 1,1 PN и 0,6 МПа, минимальная продолжительность испытания затвора от 15 до 120 с в зависимости от величины DN и вида уплотнения (металл по металлу или неметаллическое уплотнение). Допустимые утечки для каждого класса рассчитываются по формулам с учетом DN и вида пробной среды. При этом в стандарте отсутствуют ограничения на его применение в зависимости от номинального диаметра затвора DN, величины большого значения PN (высокие и сверхвысокие давления), конструктивных особенностей затвора и элементов его уплотнения, вида рабочей среды и ее температуры.

Предполагается, что исполнение требований стандарта обеспечивает нужное качество изделий по показателям герметичности затвора и соответствие полученных в ходе испытания арматуры данным запросам потребителя ТПА. Однако, на практике довольно часто возникает вопрос об обоснованности вышесказанного предположения и о соответствии стандарта своему назначению.

Анализируя ситуацию, будем исходить из того, что потребителю ТПА в первую очередь необходимо знать величины возможных утечек через затвор в условиях, близких к эксплуатационным, и сосредоточим внимание на трех основных вопросах:

- можно ли прогнозировать поведение затвора (герметичен, негерметичен, величины возможных протечек) при $P = PN$ по результатам испытаний в соответствии с ГОСТ 9544-93;
- насколько обоснованы рекомендации ГОСТа по минимальной продолжительности испытания;
- насколько целесообразна методика установления класса герметичности, рекомендованная ГОСТом.

В настоящей статье автор опирается на результаты (получены в ЦАГИ) систематических экспериментальных исследований характеристик металли-



Анатолий Петрович Куршин

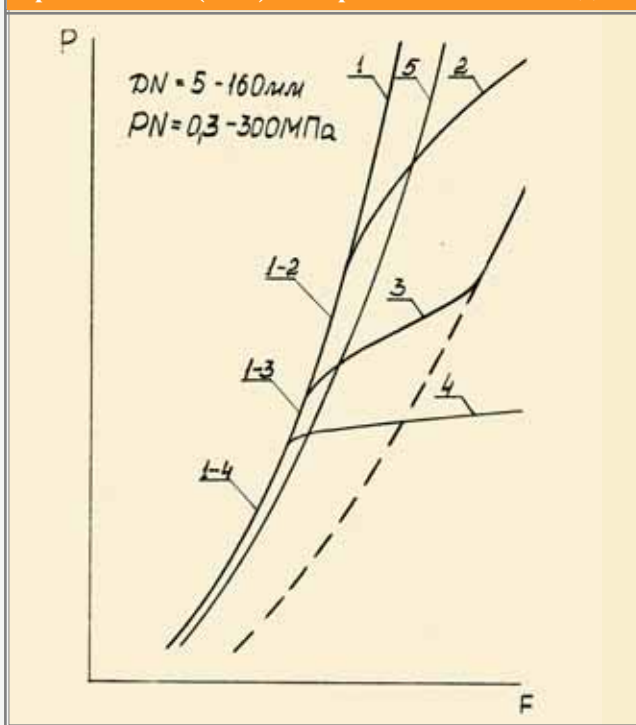
ческих клапанных уплотнений, широко применяемых в затворах клапанов различного назначения. Клапанные пары DN 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 160 мм различных конструкций, из различных материалов испытывались при давлениях PN от 0,3 до 320 МПа с подачей пробной среды (воздух, жидкость) «под» и «на клапан».

Обратимся к силовым характеристикам герметичности (СХГ) затворов клапанов. Под СХГ конкретного уплотнения подразумевается зависимость $P = f(F)$, которая устанавливает взаимосвязь между осевым контактным усилием, приходящимся на единицу периметра запираемого канала (удельное усилие F), с которым элементы уплотнения прижимаются друг к другу, и давлением P , при кото-

ром появляются первые признаки негерметичности уплотнения в ходе медленного повышения P .

Характерные виды зависимостей $P = f(F)$ уплотнений показаны на рис. 1. Зависимость вида 1 имеет место, когда уплотнение спроектировано правильно, выполнено в соответствии с требованиями чертежа, а испытания проходят в штатных условиях (твердые включения в пробной среде соответствуют

Рис. 1. Типовые виды силовых характеристик герметичности (СХГ) затворов типа «клапан-седло»



требованиям ТУ, соблюдена технология сборки, силовые нагрузки на уплотнение соответствуют требуемым и не превышают допустимых величин и т.д.). Снижение темпа роста давления P в какой-то момент с увеличением удельной контактной нагрузки F в зависимости 2 свидетельствует о том, что в этот момент начинает возрастать темп расширения зоны контакта между элементами уплотнения. Зависимость вида 3 имеет место, когда в зоне контакта элементов уплотнения появляются остаточные деформации и характеристика «переходит» на другую зависимость (на графике показана пунктирной линией). Резкое изменение характера зависимости 4 на каком-то этапе увеличения F говорит о том, что появились силы, которые препятствуют осевому сближению элементов уплотнения.

Уплотнения с характеристикой СХГ вида 1 рекомендуются для использования в затворах клапанов, и эти СХГ являются расчетными зависимостями, с помощью которых оценивают осевые усилия, необходимые для герметизации затвора при требуемом давлении рабочей среды.

Силовые характеристики герметичности затворов клапанов имеют вид, аналогичный зависимостям рис. 1. При этом зависимости вида 2-4 следует рассматривать как нештатные для затворов. Зависимость такого вида у затворов свидетельствует о том, что затвор или клапан: либо спроектированы неудачно, либо их элементы изготовлены с отклонениями от требований чертежей, либо испытания проходят в нештатных условиях. Отметим, что СХГ конкретного затвора, изготовленного с существенными отклонениями от требований чертежа, может быть, сохраняя вид 1, существенно хуже расчетной и располагаться на графике $P = f(F)$ правее нее (зависимость 5). Такие СХГ тоже следует относить к нештатным. Затвор, разработанный с использованием зависимостей вида 1, но имеющий в диапазоне рабочих давлений СХГ вида 2-4 или ухудшенную вида 5, не может быть герметичным при давлении $P = PN$.

Вид характеристики СХГ не зависит от рода (газ, жидкость) испытательной среды. Количественные параметры СХГ конкретного уплотнения определяются многими факторами (конструкцией и геометрией элементов уплотнения, затвора и клапана в целом, механическими характеристиками материалов, из которых изготовлены элементы конструкций, направлением подачи среды, видом рабочей среды и т.д.) и определяются, как правило, экспериментально на этапе разработки уплотнений клапана. Отметим, что если при нагружении клапана давлением рабочей среды между элементами уплотнения его затвора возникают контактные напряжения, превышающие значение F , соответствующие его СХГ, то затвор будет герметичен. При меньших значениях F — он негерметичен.

На рис. 2 для примера приведены экспериментальные точки СХГ, построенные по результатам испытания ряда образцов затворов на основе металлических клапанных пар $DN = 5,5$ мм при подаче воздуха на клапан. Проведена зависимость 1, которая аппроксимирует эти результаты испытаний. СХГ этих же

клапанных пар по результатам испытания водой обобщены аппроксимирующей зависимостью 2. Видно, что СХГ для случаев воды и воздуха по количественным показателям могут отличаться весьма существенно. Зависимость для воды располагается левее зависимости для воздуха. При одинаковых осевых нагрузках F давление разгерметизации затвора в случае воды много больше, чем в случае использования воздуха. Исходя из общефизических соображений, рассматриваемые отличия в количественных показателях СХГ в случаях жидкости и газа можно считать характерными для затворов.

Зависимости 1 и 2 разделяют поле графиков рис. 2 на три области I, II, III. При работе клапана в зоне контакта уплотнений затвора могут иметь место разные условия (P, F_k) , которые относятся к различным областям на рис. 2. При этом затвор ведет себя по-разному. При значениях $F_k \geq F_v$ (область I) затвор герметичен как при испытании водой, так и воздухом. При $F_{жс} \leq F_k < F_v$ (область II) затвор герметичен при испытании жидкостью, но негерметичен при испытании воздухом. При $F_k < F_{жс}$ затвор негерметичен как при испытании воздухом, так и водой. Здесь $F_v, F_{жс}$ — значения удельных усилий F , соответствующие СХГ соответственно для воздуха и жидкости (на рис. 2 зависимости 1 и 2).

Рассмотрим поведение затвора при взаимодействии с другими элементами конструкции клапана в ситуациях, когда $PN > 0,6$ МПа, обратившись к рис. 3.

На рис. 3 схематично отображены СХГ различных видов (зависимости 1-5), о которых шла речь выше (см. рис. 1) и которые могут иметь место в конкретном клапане. Для упрощения дальнейшего изложения

Рис. 2. Экспериментальные СХГ затворов $DN = 5,5$ мм

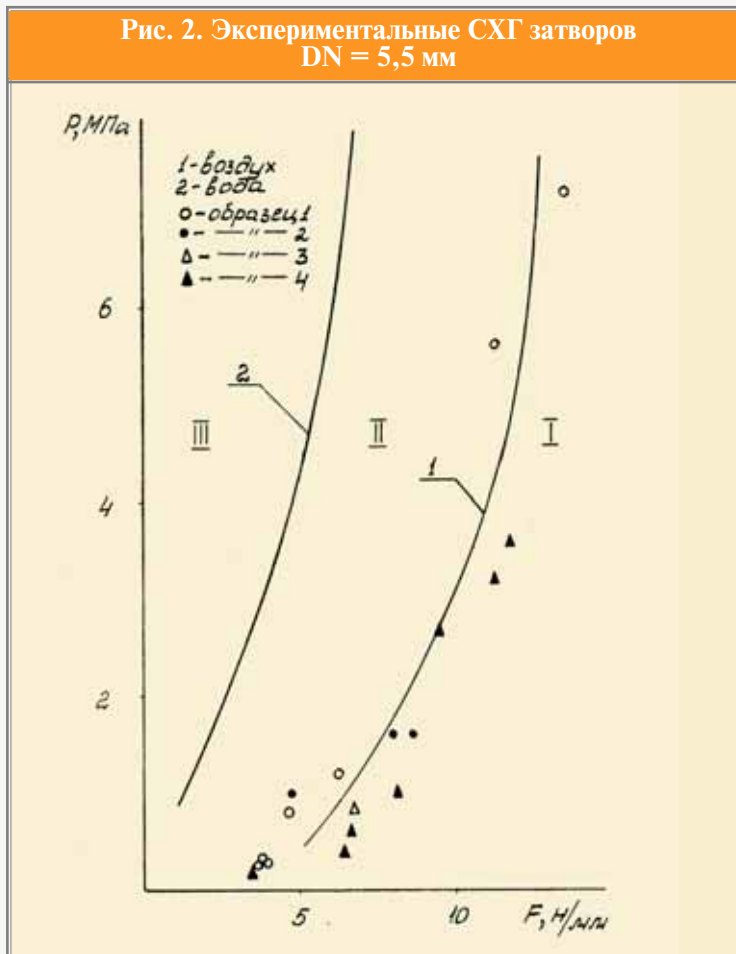
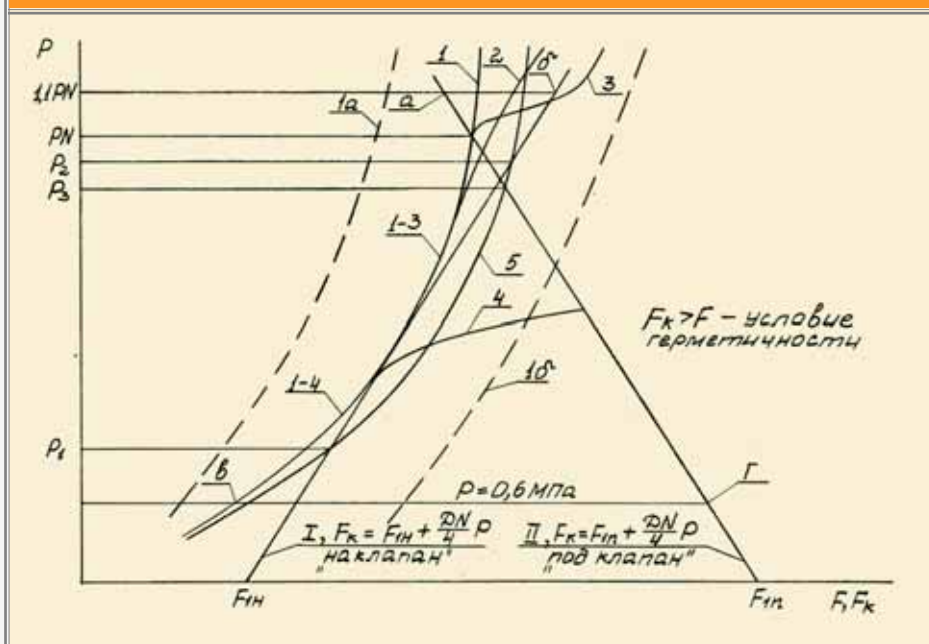


Рис. 3. Характеристики СХГ и зависимости $F_k = f(P)$



будем полагать, что характеристики СХГ в случае подачи рабочей среды «на клапан» и «под клапан» совпадают. Здесь же на рисунке приведены зависимости $P = F(f_k)$ (I и II), которые отображают изменение величины удельных контактных усилий F_k в уплотняющих элементах затвора с изменением величины давления при подаче рабочей среды «под» (зависимость II) и «на клапан» (зависимость I). Зависимости I и II для простоты представлены в виде прямых

затвора (герметичен, негерметичен) в различных условиях, исходя из следующего: если при конкретном значении давления P значение F_k , определяемое по зависимости I или II, превышает значение F , определяемое по СХГ, т.е. имеет место соотношение $F_k \geq F$, то затвор будет герметичным при этом значении P ; при соотношении $F_k < F$ затвор негерметичен. Например, если затвор имеет СХГ, аналогичную зависимости 5, то в случае подачи среды

линий. Это правомерно, если пренебречь трением в элементах клапана, работа которых оказывает влияние на эти зависимости. На графиках F_{1H} и F_{1P} – значения усилий, которыми перед нагружением клапана давлением рабочей среды следует закрывать затвор, чтобы обеспечить его герметичность при $P \leq PN$. Величины F_{1H} и F_{1P} определяются по штатной зависимости СХГ (зависимость 1) через значения $P = PN$ и диаметр DN запираемого клапана. Отметим, что зависимость I является касательной к штатной зависимости и пересекает нештатные зависимости в одной-двух точках, а зависимость II имеет одну общую точку пересечения с СХГ любого вида.

Используя данные рис. 3, можно определить поведение

Таблица сопоставления результатов испытания затвора

Варианты	Направление подачи среды	Испытания по ГОСТ 9544-93					Испытания рабочей среды с $P = PN$		Совпадение результатов	
		Среда, P	Результат	Рабочая среда	Возможные СХГ		СХГ			
					шт	н/шт	шт	н/шт		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Под клапан	Вода; 1,1 PN	+	Вода	о		+		есть	
2				Воздух	о	о	+	-	нет	
3			-	Вода	о	о	+	-	нет	
4				Воздух	о	о	+	-	нет	
5	На клапан		Воздух; 0,6 МПа	+	Вода	о	о	+	-	нет
6					Воздух	о	о	+	-	нет
7				-	Вода	о	о	+	-	нет
8					Воздух		о		-	есть
9	Под клапан	Воздух; 0,6 МПа		+	Вода	о	о	+	-	нет
10					Воздух	о	о	+	-	нет
11				-	Вода	о	о	+	-	нет
12					Воздух		о		-	есть
13	На клапан		Воздух; 0,6 МПа	+	Вода	о	о	+	-	нет
14					Воздух	о	о	+	-	нет
15				-	Вода	о	о	+	-	нет
16					Воздух		о		-	есть

Обозначения:

+ – затвор герметичен;

- – в затворе имеется протечка;

о – результат столбца 4 возможен при характеристике СХГ, отмеченной указанным значком;

шт – штатная;

н/шт – нештатная

«на клапан» при $P \leq P_1$ и $P \geq P_2$ (см. рис. 3) затвор будет герметичным, а при $P_1 < P < P_2$ – негерметичным. В случае подачи среды «под клапан» затвор будет герметичным при $P \leq P_3$ и негерметичным при $P > P_3$.

Исходя из вышесказанного, с учетом взаимного расположения зависимостей на рис. 3 и с учетом того, что характеристики СХГ по жидкости для конкретного клапана располагаются левее характеристики СХГ по газу, о чем говорилось выше (см. рис. 2), можно установить возможные варианты поведения затвора при $P = PN$ в различных условиях при различных СХГ и сопоставить их с результатами испытаний того же затвора в условиях, соответствующих требованиям ГОСТ 9544-93. Результаты анализа по определению возможных вариантов поведения затвора и данные для сопоставления приведены в таблице. Анализ проводился для комбинаций из следующих условий, которые могут иметь место на практике: рабочая среда – вода или воздух, характеристики СХГ – штатная или нештатная, подача среды – «под» или «на клапан».

При подготовке данных в столбцы 4, 8, 9 таблицы дополнительно к вышесказанному учитывали следующие обстоятельства:

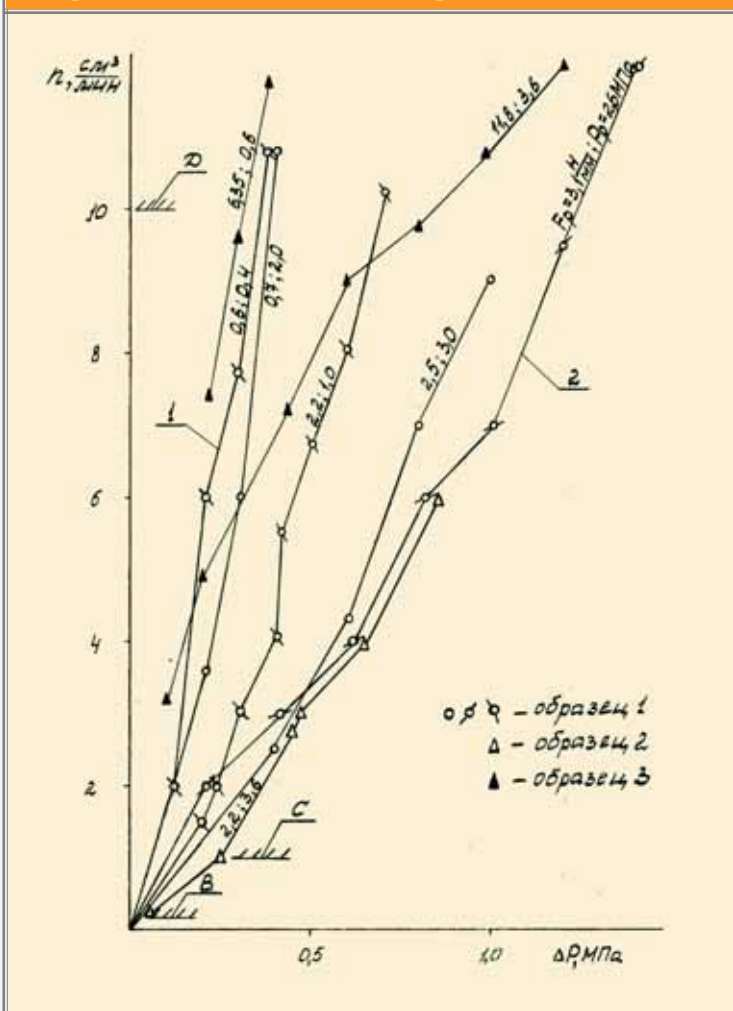
- при испытании в соответствии с требованиями ГОСТ всегда возможны две ситуации: затвор либо герметичен, либо негерметичен;
- при испытании рабочей средой с $P = PN$ при штатной характеристике СХГ затвор всегда герметичен, при нештатной характеристике – негерметичен.

При подготовке данных в столбцы 6, 7 таблицы учитывали следующие обстоятельства:

- условия испытаний по ГОСТу отображены на зависимостях I, II рис. 3 точками *a*, *b* ($P = 1,1 PN$) и *в*, *г* ($P = 0,6 MPa$);
- если испытания по ГОСТ и испытания при $P = PN$ проводятся с использованием одной и той же рабочей среды, то взаимное расположение характеристик СХГ и зависимостей I, II на рис. 3 соответствует условиям испытаний и в том, и в другом случаях;
- если испытания по ГОСТ проводятся водой, а рабочей средой является воздух, то характеристика СХГ, соответствующая испытанию по ГОСТ, смещена влево относительно того положения, которое показано на рис. 3. Условно эта СХГ изображена на рис. 3 пунктирной кривой *1a*. Следует учитывать, что кривая *1a* может проходить правее точки *a*;
- если испытания по ГОСТ проводятся воздухом, а рабочей средой является жидкость, то характеристика СХГ, соответствующая испытаниям по ГОСТ, смещена вправо относительно того положения, которое показано на рис. 3. Условно эта СХГ изображена на рис. 3 пунктирной кривой *1б*. В принципе зависимость *1б* может проходить как справа, так и слева от точки *г*.

Из сопоставления данных столбцов 4, 8, 9 таблицы (см. столбец 10) видно, что только в 4 ситуациях из 16 возможных результаты испытаний по ГОСТ совпадают по показателям «герметичен», «негерметичен» с результатами испытаний рабочей средой с $P = PN$. В остальных 12 случаях результаты испытаний не совпадают и имеет место неопределенность:

Рис. 4. Утечки n через затворы с $DN = 5,5$ мм. Испытательная среда – воздух, направление подачи среды: образцы 1, 2 – «под клапан», образец 3 – «на клапан»



при определенном результате испытаний по ГОСТ (герметичен, негерметичен) результат испытаний рабочей средой с $P = PN$ может быть любой (затвор может быть герметичным или негерметичным). Причем, только в одном случае (вариант 1 таблицы) из четырех совпадение имеется по показателю «герметично», а в трех случаях – по показателю «негерметично» (варианты 8, 12, 16 в таблице). Отметим, что совпадение результатов по показателю «негерметично» имеет место в тех случаях, когда рабочей средой является воздух.

При негерметичности затвора ГОСТом предусмотрено определение во время испытаний величин протечек. Для того чтобы понять, в какой мере результаты этих испытаний можно использовать для оценки протечек при $P = PN$, обратимся к следующим данным.

На рис. 4 в качестве характерного примера приведены результаты, полученные при испытании затворов (образцы 1-3) с характеристиками СХГ вида 1 (см. рис.1) при подаче воздуха «под клапан» или «на клапан» давлением до 5 МПа. Показаны зависимости $n = f(\Delta P, P_p, F_p)$, по которым видно, как изменяется протечка n через затвор с ростом давления на первом этапе его увеличения после разгерметизации. На рис. 4 через P_p и F_p обозначены значения соответственно давления и погонной контактной нагрузки в элементах уплотнения затвора в

момент его разгерметизации, ΔP – превышения давления над давлением P_p , которые имели место в ходе испытаний. Здесь же отмечены уровни протечек, допустимые для классов герметичности В, С, Д в соответствии с данными таблицы 3 ГОСТ 9544-93 при $DN = 5,5$ мм и испытательном давлении воздуха $P = 0,6$ МПа.

Из анализа данных рис. 4 видно, что разгерметизация исследованных затворов происходила при давлениях P_p от 0,4 до 3,6 МПа. Скорость уменьшения протечек n с ростом P после разгерметизации изменялась в широких пределах. Максимальная скорость соответствовала зависимости 1 и составляла при увеличении давления на 0,1 МПа в среднем $2,9$ см³/мин.

В первом приближении можно полагать, что величина протечки на первом этапе роста давления после разгерметизации затвора изменяется пропорционально превышению давления ΔP над давлением разгерметизации. Прослеживается влияние на протечку удельного усилия F_p , направления подачи испытательной среды, индивидуальности испытываемого образца и слабая зависимость протечки от величины давления P_p разгерметизации. Приведенные зависимости можно считать характерными для области низких давлений испытательной среды, в том числе для $P_p = 0,6$ МПа.

При увеличении давлений выше значений, которые указаны на рис. 4, изменение протечек n качественно происходит по-разному, в зависимости от направления подачи среды.

При подаче воздуха «под клапан» протечки независимо от вида СХГ продолжают интенсивно возрастать с ростом давления. При этом максимальные значения n , которые могут иметь место при $P = PN$, зависят, в первую очередь, от величины отношения PN/P_p . При больших значениях этого отношения, имеющем место при малых значениях P_p (например, $P_p = 0,6$ МПа) и высоких, сверхвысоких значениях PN (например, PN в несколько десятков или сотен МПа), величины протечек могут достигать значений, которые не только превышают допустимые значения с точки зрения герметичности, но и свидетельствуют о неработоспособности изделия.

При подаче испытательной среды «на клапан» протечка изменяется более сложным образом. В простейшем случае, когда характеристика СХГ затвора имеет вид зависимости 5 на рис. 3, протечка с ростом давления P растет до определенного максимального значения, затем уменьшается до нуля (на рис. 3 диапазон давлений $P_1 < P < P_2$), а далее ($P \geq P_2$) затвор остается герметичным.

Анализируя изменение взаимного расположения характеристик СХГ различного вида и характеристики I на рис. 3 с ростом P , можно проследить изменение характера зависимости $n = f(\Delta P)$ в соответствии с изменением СХГ и убедиться в том, что вид характеристики СХГ существенно влияет на характер зависимости $n = f(\Delta P)$. При этом, если количественные параметры СХГ не известны, то невозможно в принципе оценить вид зависимости $n = f(\Delta P)$.

Из сказанного видно, что количественные параметры зависимостей $n = f(\Delta P)$ конкретных образцов индивидуальны и зависят от многих параметров. Они из-за отсутствия в настоящее время методик расчета и необходимых обобщенных данных по характеристикам затворов конкретных видов арматуры не могут быть оценены расчетным путем.

Если учитывать, что в интересующих нас случаях (варианты 12, 16 в таблице) негерметичность затворов свидетельствует о нештатности их СХГ (см. столбцы 6, 7 таблицы), то вышеуказанное означает, что по результатам испытаний на герметичность воздухом $P = 0,6$ МПа нельзя оценить возможные протечки при $P = PN$.

Аналогично рассмотренной имеет место ситуация с исследованиями на герметичность по ГОСТ водой $P = 1,1 PN$ (вариант 8 в таблице): если затвор негерметичен, то по величинам полученных при этом протечек невозможно оценить ожидаемые протечки при $P = PN$.

Таким образом, в 15 ситуациях из 16 возможных испытаний по ГОСТ 9544-93 не дают объективной информации потребителю ТПА о поведении затвора при $P = PN$. Протечки, определяемые в условиях, соответствующих требованиям ГОСТа, являются отдельными штрихами в общей картине изменения протечек с изменением условий исследований. Это сводит на нет практическую значимость результатов испытаний на герметичность по ГОСТ и ставит вопрос об их целесообразности.

(Продолжение следует)

Список литературы

- 1; 2. ГОСТ 9544-75 и ГОСТ 9544-93. Арматура трубопроводная запорная. Нормы герметичности затворов.
3. Федоров О.И., Дунаевский С.Н. О нормировании герметичности затвора запорной арматуры. Арматуростроение, 2003, № 2 (24).
4. Погодин В.К. О герметичности промышленного оборудования. Арматуростроение, 2003, № 2 (24).

*Надкусив яблоко, всегда приятней увидеть в нем целого червяка,
чем половинку.
Мартти Ларни*