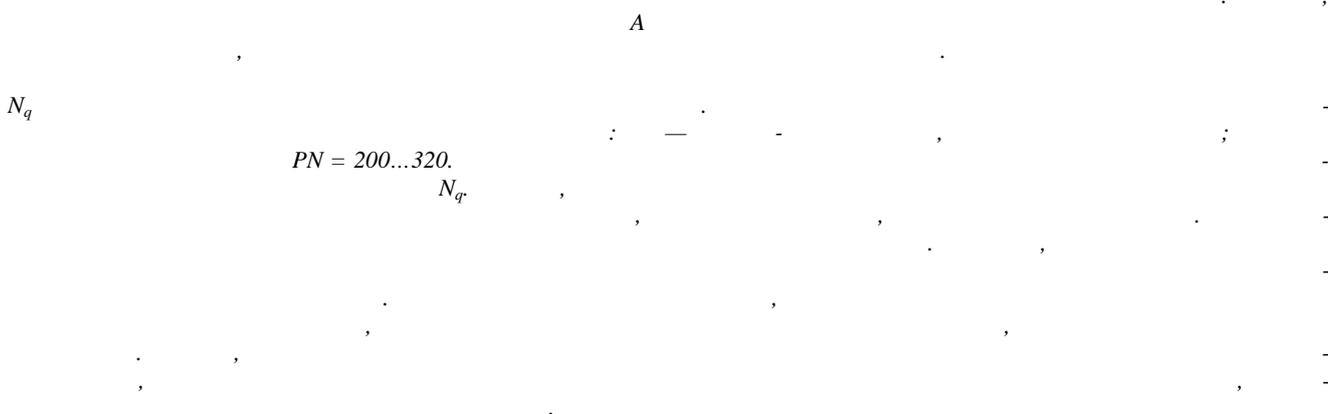


Состояние нормативного обеспечения для проектирования затворов трубопроводной арматуры

П.М. Огар^a, А.Ю. Жук^b, В.С. Кушнарев^c, В.С. Чебыкин^d

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
^aogar@brstu.ru, ^bzhuk30@yandex.ru, ^ckushvs@yandex.ru, ^dviktor2100@mail.ru
^a<https://orcid.org/0000-0001-7717-9377>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>,
^c<https://orcid.org/0000-0003-3931-2215>, ^d<https://orcid.org/0000-0002-1468-1017>
 Статья поступила 16.01.2019, принята 7.02.2019



Ключевые слова: трубопроводная арматура; затвор; герметичность; нормы герметичности; утечка среды; контактные давления герметизации; ресурс; оптимальное проектирование затворов.

The state of regulatory support for pipeline valves design

P.M. Ogar^a, A.Yu. Zhuk^b, V.S. Kushnarev^c, V.S. Chebykin^d

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia
^aogar@brstu.ru, ^bzhuk30@yandex.ru, ^ckushvs@yandex.ru, ^dviktor2100@mail.ru
^a<https://orcid.org/0000-0001-7717-9377>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>,
^c<https://orcid.org/0000-0003-3931-2215>, ^d<https://orcid.org/0000-0002-1468-1017>
 Received 16.01.2019, accepted 7.02.2019

The article analyzes the contents of the existing regulatory documents for compliance with the modern achievements of hermetic sealing study for the tasks of optimal design of pipeline valves (PV). It is indicated that, from the point of view of hermeticity, the tightness class A means the formation of a continuous closed cluster in the sealing junction, which ensures the overlapping of all microchannels in the junction. The same rate of tightness of the valve when tested with water with an increase in the nominal pressure leads to an increase in the component of the sealing force N_q to ensure tight contact in the sealing joint. The same rate of tightness of the valve when tested with water with an increase in the nominal pressure leads to an increase in the component of the sealing force N_q to ensure tight contact in the sealing joint. For dependencies of air tightness norms on the nominal pressure, there are three characteristic sections: two straight-linear with increasing angles of inclination and a falling section for $PN = 200 \dots 320$. The linear dependence of the volumetric leakage on pressure also leads to an increase in the component of the sealing force N_q . It is indicated that when calculating contact loads to ensure the tightness of valves, the classes and norms of tightness, material properties, microgeometry parameters are not taken into account. This leads to the same contact loads for different classes and tightness standards. It is shown that the determination of the average resource or the maximum possible load on the gate is possible only for a narrow range of specific loads for a limited range of materials. As a result of the analysis, it was concluded that, given the current state of the standard base for the design of PV valves, which ensure the specified norms of tightness and resource, the optimization of their structures is impossible. It is indicated that in order to remedy the situation, regulatory documents in the form of software should be developed, determining the optimal combination of the initial design parameters and sealing efforts, ensuring the specified norms of tightness and resource.

Keywords: pipeline valves; valve shutter; tightness; norms of tightness; medium leakage; contact sealing pressures; resource; optimal design of valves.

Введение

Под затворами трубопроводной арматуры (ТА) подразумеваем совокупность подвижных (золотник) и неподвижных (седло) элементов арматуры, образующих проходное сечение и соединение, препятствующее протеканию рабочей среды [1]. Различия в конкретных условиях эксплуатации ТА и множество точек зрения на принципы конструирования [2–11 и др.] привели к созданию большого количества конструкций. По ориентировочным данным [6], в настоящее время число патентов в мировом фонде, относящихся к пневмогидроарматуре (ПГА), ежегодно увеличивается на две тысячи. До 15% патентов приходится на затворы, что свидетельствует об определенной неудовлетворенности существующими конструкциями с точки зрения ужесточающихся практических требований. На затворы приходится до 30...50 % всех отказов ТА [12].

В национальном стандарте указано [13], что безопасность арматуры на этапе проектирования обеспечивается подтверждением конструкции расчетами на прочность. Из обязательного приложения А следует, что расчет должен содержать количественные обоснования прочности, герметичности и работоспособности (функционирования) арматуры. В основу расчетного обоснования прочности арматуры должны быть положены оценки по следующим предельным состояниям: разрушение детали; потеря герметичности по неподвижным и подвижным соединениям (протечка, не устранимая подтяжкой соединений расчетным крутящим моментом); потеря герметичности в затворе (утечка, не устранимая воздействием расчетным усилием (крутящим моментом) управления). Расчет должен включать следующие разделы: определение усилий и моментов, необходимых для обеспечения герметичности узла затвора и для управления арматурой (силовой расчет арматуры); определение усилий и моментов, необходимых для обеспечения герметичности разъемных соединений арматуры в режимах эксплуатации и испытаний (силовой расчет разъемных соединений). Расчеты должны выполняться с использованием стандартных методик и (или) аттестованных программ для ЭВМ. Оценки прочности должны проводиться с учетом запасов прочности, установленных для каждого предельного состояния.

Таким образом, это означает, что разработчиком арматуры должны быть указаны усилия герметизации (контактные давления), обеспечивающие заданные нормы герметичности затворов.

В арматуростроении проектирование затворов ТА регламентировано следующими нормативными документами (помимо указанного [13]): межгосударственным стандартом на нормы герметичности затворов [14]; стандартами Центрального конструкторского бюро арматуростроения (ЦКБА) на конструкции затворов с уплотнением «металл– металл» [15], на конструкции затворов с уплотнением из фторпласта-4 и композиционных материалов [16] и на конструкции затворов с резинometаллическими уплотнениями [17]; стандартами ЦКБА по изменению степени герметичности затворов в процессе эксплуатации специальной арматуры [18] и

по зависимости среднего ресурса затвора от величины удельных нагрузок [19].

— анализ содержимого существующих нормативных документов и их взаимосвязи на предмет соответствия современным достижениям герметологии для задач оптимального проектирования затворов ТА.

Анализ действующих нормативных документов.

Герметичность затвора — это свойство затвора препятствовать прониканию сред, разделенных затвором. Обеспечение герметичного перекрытия потока рабочей среды — основное назначение затвора. Нормы герметичности затворов определяются допустимыми утечками. Абсолютной герметичности достичь невозможно, но практически достижимая герметичность зависит от чувствительности методов контроля герметичности уплотнений. Для затворов арматуры основной метод герметизации заключается в обеспечении плотного контакта поверхностей под действием сжимающей нагрузки (усилия или контактных давлений герметизации). При этом деформируются неровности поверхности контакта, уменьшается межповерхностный зазор и увеличивается сопротивление утечке рабочей среды. Основные факторы, влияющие на величину утечки: параметры рабочей среды, механизм переноса вещества в межповерхностных зазорах, силовой и конструктивный факторы, макро- и микрогеометрия уплотнительных поверхностей, характеристики контакта шероховатых поверхностей, геометрические параметры зазоров, физико-механические свойства поверхностных слоев.

Утечка — это проникновение среды из герметизированного изделия под действием перепада давления. Для запорной трубопроводной арматуры общепромышленного назначения на номинальные диаметры $DN = 3...2400$ мм и номинальные давления до $PN 420$ допустимые утечки регламентированы межгосударственным стандартом [14]. Для количественной оценки использован объем среды в единицу времени через закрытый затвор. Класс герметичности является характеристикой затвора, которая оценивается максимально допустимой утечкой испытательной среды через затвор. Класс герметичности затвора (норму герметичности) разработчик арматуры указывает в конструкторской документации (КД). Там же указывается давление испытательной среды: $P_{исп} = 1,1 PN$ при испытании водой; $P_{исп} = 0,6$ МПа или $P_{исп} = PN$ — при испытании воздухом.

Согласно [20], испытания затвора на герметичность проводят либо с технологическим приводом, либо без привода закрывают усилием или крутящим моментом, указанным в КД.

Отметим следующие особенности стандарта [14]:

1. Класс герметичности А при испытаниях водой и воздухом характеризуется отсутствием видимых утечек на протяжении проведения испытаний. С точки зрения герметологии это означает образование в уплотнительном стыке непрерывного замкнутого кла-

стера, который обеспечивает перекрытие всех микроканалов в стыке.

2. При испытаниях водой норма герметичности затвора одинакова для всех номинальных давлений PN . Это приводит к «ужесточению» норм герметичности с ростом номинального давления и увеличению составляющей усилия герметизации N_q для обеспечения плотного контакта поверхностей.

3. Отношение норм герметичности затворов по воде классов G и AA составляет два с лишним порядка. Например, для $DN=40$ это 333.

Аналогичное отношение норм герметичности для испытаний воздухом при $P_{исп} = 0.6$ МПа для $DN = 40$ составляет 33333.

4. Как следует из зависимостей норм герметичности затворов по воздуху от номинального давления, представленных на рис. 1, для разных классов герметичности имеются три характерных участка: линейно-возрастающий участок для $PN = 1...6$; линейно-возрастающий участок с другим углом наклона для $PN = 6...200$; ниспадающий участок для $PN = 200...320$.

По данным [21], предположение, что состояние газа описывается уравнением Клапейрона– Менделеева, справедливо для $PN < 160$. В этом случае при неизменной плотности контакта (размерах микроканалов) величина объемной утечки пропорциональна номинальному давлению во второй степени. Линейная зависимость объемной утечки от номинального давления свидетельствует об уменьшении размеров микроканалов, т.е. об «ужесточении» норм герметичности и увеличении составляющей усилия герметизации N_q . Для нис-

падающего участка зависимости $Q(PN)$ увеличение N_q будет более значительным.

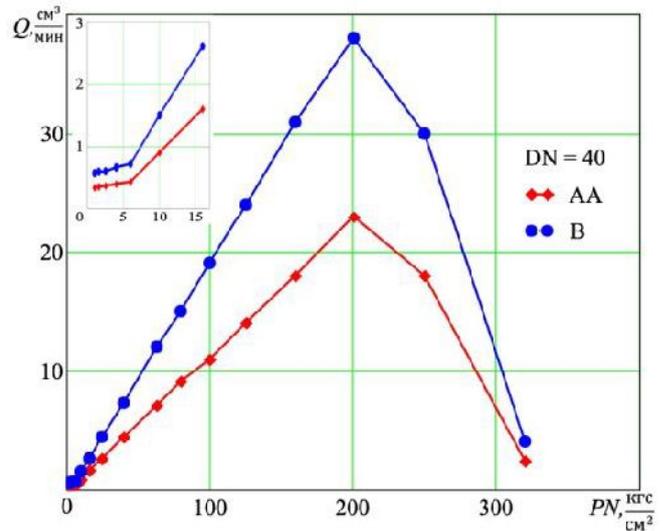


Рис. 1. Зависимость величины норм герметичности затворов по воздуху Q от номинального давления PN для классов герметичности AA и B

Конструкции затворов запорной ТА с уплотнением «металл– металл» регламентированы нормативным документом [15], который распространен на номинальные диаметры $DN= 6...200$, давления $PN = 1,36 \cdot 10^{-6}...150$ МПа и температуры $t = -253...600^\circ\text{C}$ (рис. 2).

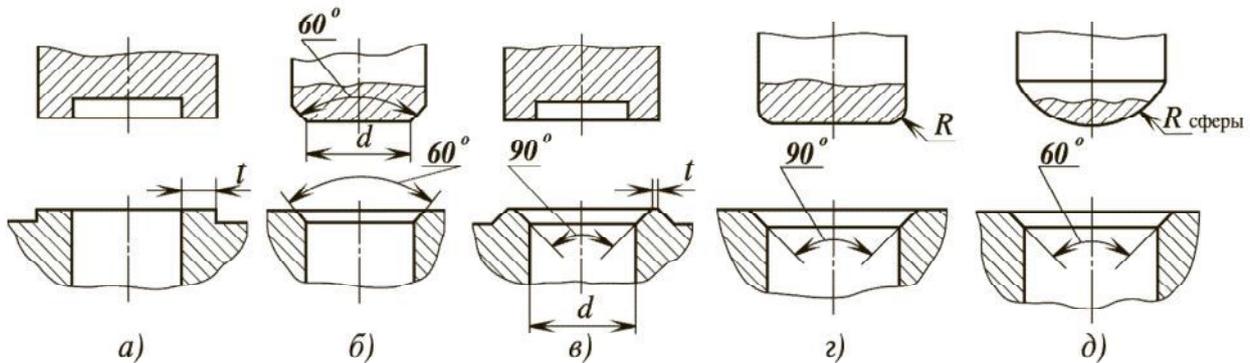


Рис. 2. Конструкции затворов с уплотнением «металл– металл» с контактом: —плоским (тип I); —конусным(тип II); —линейным (ножевым)(тип III); —конусно-тороидальным(тип IV); — конусно-сферическим(тип V)

Основные параметры затворов: тип I— $DN \leq 200$, $PN \leq 20$ МПа; тип II— $DN \leq 50$, $PN \leq 150$ МПа и $65 \leq DN \leq 200$, $PN \leq 40$ МПа; тип III— $DN \leq 100$, $PN \leq 40$ МПа; тип IV— $DN \leq 150$, $PN \leq 20$ МПа; тип V— $DN \leq 100$, $PN \leq 40$ МПа.

Удельные контактные нагрузки q_c для обеспечения герметичности затворов типов I–III определяются по эмпирической формуле^

$$q_c = m \frac{c + p}{\sqrt{l}}, \quad (1)$$

где $m = 1...2$ —коэффициент, учитывающий влияние герметизируемых сред; $c = 3...3.5$ МПа —учитывает влияние материалов затвора; p —давление среды, ; l —ширина зоны уплотнения, .

При начальном контакте по линии (затворы типа IV –V)погонные нагрузки q_l для обеспечения герметичности затворов определяются по формуле^

$$q_l = m q'_l, \quad / \quad (2)$$

где $q'_l = 200...300$ Н/см зависит от применяемого материала.

Зависимости (1) и (2) впервые предложены в работе [22] и усовершенствованы автором [23] более 60 лет назад. Изначально они предназначались для затворов ТА 2-го и 3-го классов плотности давно не действующего ГОСТа 9544-60. Для затворов ТА 1-го класса плотности значения q и q_1 следовало увеличить в 1,8 раза.

Параметры шероховатости уплотнительных поверхностей для всех типов затворов назначаются в зависимости от класса герметичности по ГОСТ 9544-2005 и находятся в пределах: среднее арифметическое отклонение профиля $R_a = 0.08...0.63$ мкм, шаг неровностей по средней линии $S_m = 0.025...0.125$ мм.

Предельно допустимые удельные нагрузки для 25ти различных материалов указаны в пределах $q = 80...1000$ МПа при условии отсутствия вращения золотника при перемещении.

Отметим следующие особенности действующего нормативного документа [15]:

1. При расчетах контактных нагрузок для обеспечения герметичности затворов не учитываются классы и нормы герметичности затворов, физико-механические свойства материалов, свойства рабочих или испытательных сред, параметры микрогеометрии. Из этого следует, что для разных классов и норм герметичности указанные контактные нагрузки одинаковы для конкретных значений DN и PN , что приводит к абсурдной ситуации и не соответствует современным достижениям герметологии [21; 24; 25].

2. Нормативная ссылка на классы и нормы герметичности указывает на старый ГОСТ 9544-2005, хотя после этого стандарт на нормы герметичности затворов ТА менялся дважды.

Нормативный документ [19] предназначен для определения среднего ресурса при известных контактных нагрузках в затворах: с уплотнением «металл– металл», работающих при $t \leq 600^\circ \text{C}$ и $P_p \leq 40$ МПа; с уплотнением из фторопласта-4 при $t \leq 225^\circ \text{C}$ и $P_p \leq 40$ МПа. В указанном стандарте использованы нормативные ссылки на [14–16; 18].

Рассмотрим, например, затвор $DN=40$ с уплотнением «металл– металл». Согласно [19, п. 4.3.1], средний ресурс затвора соответствует числу циклов «открыто–закрыто», при котором величина протечки не превышает определенной по [18]. Там же указано [19, п. 4.3.2], что определение среднего ресурса или максимально допустимой удельной нагрузки для затворов, работающих при $t \leq 350^\circ \text{C}$ и $P_p \leq 20$ Мпа, следует производить в соответствии с рис 3. (скан рисунка соответствует [19, рис. 2]).

Для затворов, работающих при $t > 350^\circ \text{C}$ и $P_p > 20$ МПа при среднем ресурса в пределах 3000 циклов удельные нагрузки следует определять согласно [15].

В нормативном документе [18], на который имеется ссылка ([19, п. 4.3.1]), в предисловии указано, что он

действует взамен ОСТ 26-07-2060-83 с одноименным названием.

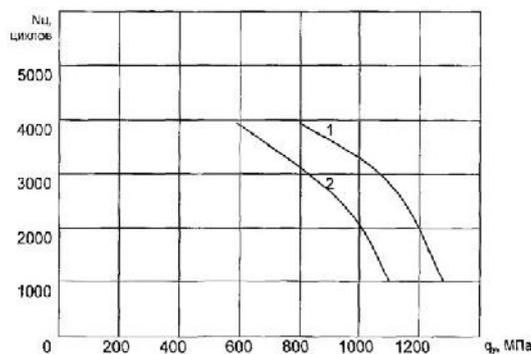


Рис. 3. Зависимость среднего ресурса (N) от величины удельных нагрузок (q) для затвора с уплотнением «металл по металлу»: 1—наплавка ВЗК; 2—наплавка ЦН-3, ЦН-12М, УОНИ 13/Н1-БК

Замечания по нормативному документу [18]:

1. Ссылка на нормы герметичности — по ГОСТ 9544-93, хотя два года действует новый ГОСТ 9544-2005.

2. В формуле (1), в первом слагаемом в скобках не указан показатель радикала (корень кубический).

3. В основу формулы (4) для расчета величины протечки вследствие гидроабразивного износа положена формула Пуазейля для плоской щели. Поэтому величина h_2 должна быть в третьей степени, как и в формуле (А. 2). В численном примере расчета эта ошибка исправлена.

4. В расшифровке обозначений формулы (5) указано: Z — процент абразива..., в исходных данных примера расчета — процент абразива в объеме $Z, \text{м}^3$.

5. В формуле (5): g —ускорение свободного падения в м/с.

6. Вызывает сомнение полная идентичность таблиц 6 и 7.

Точно такие же ошибки имеют место в ОСТ 26-07-2060-83 с одноименным названием документа [18]. Получается, что на самом деле сделана типографская копия с машинописного текста с теми же грубыми ошибками и опечатками. Из-за этого возникают сомнения в эффективности использования нормативного документа [18] в арматуростроении, так как за прошедшие 36 лет ошибки и опечатки не исправлены.

Вышеприведенное свидетельствует о том, что согласно [19] определение среднего ресурса или максимально возможной нагрузки на затвор возможно для узкого диапазона удельных нагрузок для ограниченного сортамента материалов, указанного в [15] с $q_{\text{доп}} \geq 800$ МПа. Для остальных случаев следует использовать либо документ [18], либо [15].

При использовании документа [18] для газообразных сред для расчетов протечки через затвор в формуле (1) останутся для слагаемых в скобке. Из этого следует:

$$\frac{Q_N}{Q} = (1 + \sqrt[3]{k^m} - 1)^3, \quad (3)$$

здесь приведены обозначения параметров согласно [18].

На рис. 4 представлены зависимости изменения относительной утечки Q_N/Q от числа циклов для за-

творя типа Iпо [15] с $DN=40$. Расчеты произведены согласно данным таблиц [18].

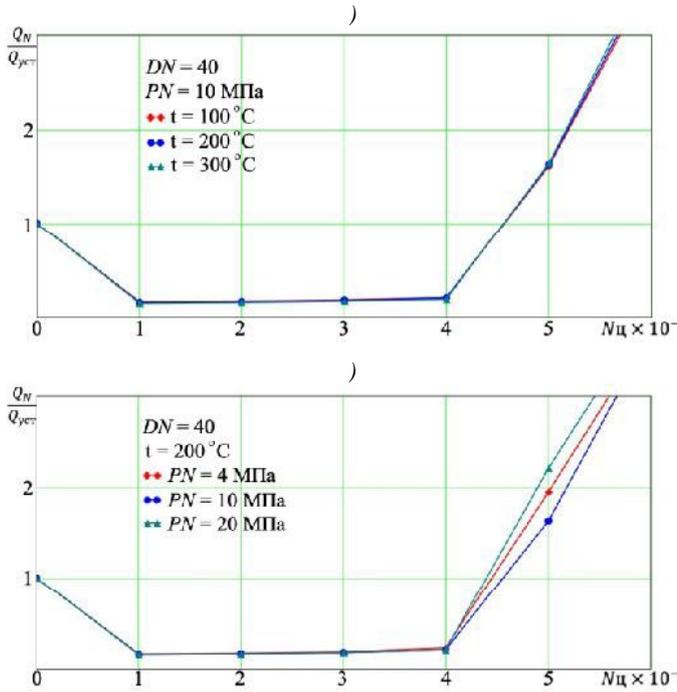


Рис. 4. Изменение относительной герметичности затворов в зависимости от условий эксплуатации и в процессе наработки

Как следует из представленных зависимостей, для разных температур при постоянном давлении (рис. 4) и для разных давлений при постоянной температуре (рис. 4) практически сливаются в одну линию (за исключением $N_{ц} > 4000$ на рис. 4). Аналогичные результаты получены для других типов затворов. Из этого следует вывод, что контактный износ не зависит от температуры и давления герметизируемой среды. Это вызывает большие сомнения, так как для разных диапазонов давлений согласно [15] требуются разные давления герметизации (см. выражение (1)).

Для определения ресурса затвора необходимо задаться допускаемым значением увеличения исходной протечки, например, в два раза.

Заключение

В результате анализа содержимого существующих нормативных документов, используемых при проектировании затворов ТА, установлено следующее:

1. Согласно [14], класс герметичности А характеризуется отсутствием видимых утечек по пузырькам воздуха или каплям воды. С точки зрения герметологии это означает образование в уплотнительном стыке непрерывного замкнутого кластера, который обеспечивает перекрытие всех микроканалов в стыке.
2. Одинаковая норма герметичности затвора при испытании водой с ростом номинального давления приведет к увеличению составляющей усилия герметизации N_q для обеспечения плотного контакта в уплотнительном стыке.
3. Для зависимостей норм герметичности по воздуху от номинального давления имеются три характерных участка: два — линейно-возрастающих, с разными

углами наклона; прямой и ниспадающий участок для $PN = 200...320$.

Если состояние газа описывается уравнением Клапейрона– Менделеева, то при неизменных размерах микроканалов величина объемной утечки пропорциональна давлению во второй степени. Линейная зависимость объемной утечки от давления свидетельствует об уменьшении микроканалов и увеличении составляющей усилия герметизации N_q .

4. При расчетах контактных нагрузок [14] по обеспечению герметичности затворов не учитываются классы и нормы герметичности, свойства материалов, параметры микрогеометрии. Это может привести к одинаковому контактным нагрузкам для разных классов и норм герметичности, например, при $PN=200$ для классов герметичности АА и В (рис. 1) или для еще более низких классов герметичности С, СС, D.

5. Определение среднего ресурса или максимально возможной нагрузки на затвор согласно [19] возможно только для узкого диапазона удельных нагрузок для ограниченного сортамента материалов, указанного в [15] с $q_{доп} \geq 800$ МПа.

6. Расчеты изменения относительной герметичности затворов в зависимости от условий эксплуатации по нормативному документу [18] показали, что в процессе наработки контактный износ практически не зависит от температуры и давления воздуха, что очень проблематично ввиду разных контактных давлений герметизации.

Таким образом, при нынешнем состоянии нормативной базы для проектирования затворов ТА, обеспечивающих заданные нормы герметичности и ресурс, оптимизация их конструкций невозможна.

На наш взгляд, обеспечение безопасности арматуры на этапе проектирования согласно [13] должно подтверждаться количественными обоснованиями прочности, герметичности и работоспособности (функционирования) арматуры. В этом случае должны быть разработаны нормативные документы в виде программных средств, определяющих оптимальное сочетание исходных конструктивных параметров усилия герметизации, обеспечивающих заданные нормы герметичности и ресурс. Применительно к проектированию затворов ТА это возможно при математическом описании процесса герметизации, включающем: напряженно-деформированное состояние в зоне контакта; контактирование шероховатых поверхностей под действием сжимающих напряжений; истечение рабочей среды через уплотнительный стык; влияние особенностей эксплуатации. Решение перечисленных вопросов составит научную основу для оптимального проектирования затворов ТА.

1. ГОСТ Р 52720-2007. Арматура трубопроводная. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2007. 16 с.
2. Бабкин В.Т., Зайченко А.А., Александров В.В. Герметичность неподвижных соединений гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1977. 120 с.
3. Кармугин, Б.В., Кисель В.Л., Лазебник А.Г. Современные конструкции малогабаритной пневмоарматуры. Киев: Техника, 1980. 295 с.

References

4. Кармугин Б.В., Стратиневский Г.Г., Мендельсон Д.А. Клапанные уплотнения пневмогидроагрегатов. М.: Машиностроение, 1983. 152 с.
5. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / под ред. Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1988. 464 с.
6. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П. Элементы клапанных устройств авиационных агрегатов и их надежность. М.: Изд-во МАИ, 1994. 208 с.
7. Долотов А.М., Огар П.М., Чегодаев Д.Е. Основы теории и проектирование уплотнений пневмогидроарматуры летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2000. 296 с.
8. Погодин В.К. Разъемные соединения и герметизация в оборудовании высокого давления. Иркутск, 2001. 406 с.
9. Погодин В.К., Рудых И.М. Принципы выбора перспективной конструкции разъемных соединений трубопроводной арматуры высокого давления // Арматуростроение. 2005. № 5. (31). С. 41–45.
10. Куршин А.П. Пути повышения надежности и качества трубопроводной арматуры на основе научно-технических достижений в области герметологии // Арматуростроение. 2004. № 6 (32). С. 27–31.
11. Куршин А.П. Некоторые соображения о нормировании герметичности затворов запорной арматуры // Арматуростроение. 2006. № 1 (40). С. 24–28.
12. Хильчевский В.В., Ситников А.Е., Ананьевский В.А. Надежность трубопроводной пневмогидроарматуры. М.: Машиностроение, 1989. 208 с.
13. ГОСТ Р 53672-2009. Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2010. 28 с.
14. ГОСТ 9544-2015. Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов. М.: Стандартинформ, 2015. 53 с.
15. СТ ЦКБА 068-2008. Арматура трубопроводная. Затворы запорных клапанов с уплотнением «металл по металлу». СПб.: НПФ «ЦКБА», 2008. 20 с.
16. СТ ЦКБА 055-2008. Арматура трубопроводная. Затворы арматуры с уплотнением из фторопласта-4 и композиционных материалов. СПб.: НПФ «ЦКБА», 2008. 33 с.
17. СТ ЦКБА 102-2011. Арматура трубопроводная. Уплотнения резинометаллические для затворов. СПб.: НПФ «ЦКБА», 2011. 24 с.
18. СТ ЦКБА 038-2007. Арматура трубопроводная. Изменение степени герметичности затворов в зависимости от условий эксплуатации и в процессе наработки. СПб.: НПФ «ЦКБА», 2007. 16 с.
19. СТ ЦКБА 096-2012. Арматура трубопроводная. Зависимость среднего ресурса затвора от величины удельных нагрузок на уплотнительные поверхности. СПб.: НПФ «ЦКБА», 2012. 9 с.
20. ГОСТ 33257-2015. Арматура трубопроводная. Методы контроля и испытаний. М.: Стандартинформ, 2016. 54 с.
21. Огар П.М., Горохов Д.Б., Кожевников А.С. Контактные задачи в герметологии неподвижных соединений. Братск: Изд-во БрГУ, 2017. 242 с.
22. Киселев П.И. Основы уплотнений в арматуре высоких давлений. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1950. 124 с.
23. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. М.; Л.: Машиностроение, 1969. 887 с.
24. Ogar P., Belokobylsky S., Gorokhov D. Contact mechanics of rough surfaces in hermetic sealing study // Chapter in: Contact and Fracture Mechanics. London: InTechOpen Limited, 2018. P. 3-25.
25. Ogar P., Gorokhov D., Mamaev L., Fedorov V. Ensuring the tightness of metal-polymer joins of hydropneumatic systems // Advances in Engineering Research. 2018. Vol. 158. P. 313-318.
1. GOST P 52720-2007. Pipe fittings. Terms and definitions. М.: Standartinform Publ., 2007. 10 p.
2. Tightness of fixed joints of hydraulic systems / Babkin V.T., Zaichenko A.A., AlekSandrov V.V., et al. Moscow: Mashinostroenie, 1977. 120 p.
3. Karmugin, B.V., Kissel V.L., Lazebnik A.G. Modern designs of small-sized pneumatic fittings. Kiev: Technique, 1980. 295 p.
4. Karmugin B.V., Stratevsky G.G., Mendelssohn D.A. Valve seals pneumohydraulic. М.: Mechanical Engineering, 1983. 152 p.
5. Seals and sealing technology: Handbook / ed. L.A. Kondakova et al. М.: Mashinostroenie, 1988. 464 p.
6. Chegodaev D.E., Mulyukin O.P. Elements of valve devices of aircraft units and their reliability. М.: MAI, 1994. 208 p.
7. Dolotov A.M., Ogar P.M., Chegodaev D.E. Fundamentals of the theory and design of seals pneumohydraulic fittings of aircraft. М.: MAI, 2000. 296 p.
8. Pogodin V.K. Split Connections and Sealing in High Pressure Equipment / Ed. A.M. Kuznetsova. Irkutsk, 2001. 406 p.
9. Pogodin V.K., Rudykh I.M. Principles of selection of a promising design of detachable connections for high-pressure pipe fittings // Armaturostroenie. 2005. № 5. (31). P. 41–45.
10. Kurshin A.P. Ways to improve the reliability and quality of pipe fittings based on scientific and technological advances in the field of hermeticology // Armaturostroenie. 2004, №. 6 (32). P. 27–31.
11. Kurshin A.P. Some considerations on the rationing of the tightness of valves of valves and fittings // Reinforcement. 2006. № 1 (40). P. 24–28.
12. Khilchevsky V.V., Sitnikov A.E., Ananyevsky V.A. Reliability of pipeline pneumohydraulic fittings. М.: Mashinostroenie, 1989. 208 p.
13. GOST P 53672-2009. Pipe fittings. General safety requirements. М.: Standardinform, 2010. 28 p.
14. GOST P 9544-2015. Pipe fittings. Valve tightness standards. М.: Standardinform, 2015. 53 p.
15. ST CKBA 068-2008. Pipe fittings. Shut-off valves with metal-to-metal seal. NPF «CKBA», 2008. 20 p.
16. ST CKBA 055-2008. Pipe fittings. Fluoroplast-4 seal valves and composite materials. NPF «CKBA», 2008. 33 p.
17. ST CKBA 102-2011. Pipe fittings. Rubber seals for valves. St. Petersburg, NPF «CKBA», 2011. 24 p.
18. ST CKBA 038-2007. Pipe fittings. Changing the degree of tightness of valves depending on the operating conditions and in the process of development. NPF «CKBA», 2007. 16 p.
19. ST CKBA 096-2012. Pipe fittings. The dependence of the average service life of the gate on the value of specific loads on the sealing surfaces. St. Petersburg, NPF «CKBA», 2012. 9 p.
20. GOST 33257-2015. Pipe fittings. Methods of control and testing. М.: Standardinform, 2016. 54 p.
21. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Kozhevnikov A.S. Contact tasks in hermetic sealing study of fixed joints. Bratsk: BrSU, 2017. 242 p.
22. Kiselev P.I. Basics of seals in high pressure valves. M.L.: Gosenergoizdat, 1950. 124 p.
23. Gurevich D.F. Calculation and design of pipeline fittings. L.: Mashinostroenie, 1969. 887 p.
24. Ogar P., Belokobylsky S., Gorokhov D. Contact mechanics of rough surfaces in hermetic sealing study / chapter in: Contact and Fracture Mechanics. London: InTechOpen Limited, 2018. P. 3-25.
25. Ogar P., Gorokhov D., Mamaev L., Fedorov V. Ensuring the tightness of metal-polymer joins of hydropneumatic systems // Advances in Engineering Research. 2018. V. 158. P. 313-318.