

УДК 621.9.015

DOI:10.30987/2223-4608-2021-10-18-27

И.В. Ерёмёнова, к.т.н.
(МГТУ имени Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)
E-mail: bauman@bmstu.ru

Нормализованный метод определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей неподвижных соединений на их герметичность

Рассмотрены существующие подходы к определению и оценки герметизирующей способности уплотнителей герметизирующих неподвижных соединений, а также методы контроля герметичности. Приведено описание нормализованного метода оценки герметичности, позволяющего решать достаточно большое количество оценочных задач, например: технологической – оценка влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей; конструкторских – оценки влияния качества поверхностного слоя уплотнителей герметизирующих соединений и геометрических параметров соединений на герметичность (эксплуатационное свойство).

Ключевые слова: эксплуатационное свойство; герметичность; определение герметичности (герметизирующей способности) уплотнителей герметизирующего соединения; определение влияния технологии обработки.

I.V. Eryomenkova, Candidate of Technical Science
(Bauman State Technical University of Moscow, Building 1, 5, 2-d Baumanskaya Str., Moscow, 105005)

A normalized method for determining the influence on the fixed joints tightness using the technology of the sealing surface job

The existing approaches for determining and evaluating the sealing properties of seals for fixed sealants, as well as methods of leakage monitoring are considered. The description of a normalized method for leak-tightness assessment is given, which allows solving a sufficiently large number of evaluation tasks, for example, technological task: assessment of the influence of the technology sealing surfaced job; design: assessment of the influence of the seals surface layer quality of sealants and geometric parameters of them on sealing capacity (service property).

Keywords: service property, sealing capacity, determining sealing property (sealing ability) of seals of sealants, assessment of the influence of sealing surfaced job technology.

Для определения влияния технологий обработки герметизирующих поверхностей различных соединений применяются различные методы, что приводит к многообразию экспериментальных исследований и противоречивости получаемых данных. Исключить возникновение противоречий и уменьшить затраты, позволяет применение нормализованного метода определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей на их герметизирующую способность. Нормализованный метод обеспечивает возможность реализации оценки герметичности достаточно

большой группы уплотнительных соединений, характеризующихся неподвижностью соединения в процессе их эксплуатации.

Для определения герметизирующей способности (герметичности) соединений, выражающую их способность удерживать утечку или натекание герметизируемого газа, жидкости через образованную неплотность между сопрягаемыми поверхностями деталей уплотнителей герметизирующего соединения [1], применяется понятие оценки герметичности. При этом под оценкой герметичности соединения понимается способ, по которому опре-

деляются величины потока среды через течь: утечки; натекания; проницаемости; расхода; непроницаемости.

Все имеющиеся способы оценки классифицируются на две основные группы: качественные и количественные. Качественная оценка характеризуется вербальным заключением о герметичности. Например, заключение «герметично» или «негерметично» даётся по способу визуального определения отсутствия или присутствия признаков, таких как: отпотевания; подтекания; наличия пузырьков; по отпечатку и др. Количественная оценка заключается в определении величины потока среды через течь, выраженную её значением. Например, выраженной объёмными или массовыми потерями среды за единицу времени, а также в виде скорости изменения давления в герметизируемом объёме.

Стоит отметить, способы определения оценки герметичности, основанные на применении индикаторных (эталонных, испытательных) сред. К таким относятся среды, которые используются для оценки степени герметичности и её контроля. При этом заключение о значении величины потока среды через течь определяет степень их герметичности.

В свою очередь, для выражения степени герметичности используются различные оценочные шкалы и способы. При определении степени герметичности на основе качественной оценки, используются шкалы заключений, которые содержат обобщения: «герметично», «негерметично», «абсолютно герметично» и др. Используя количественную оценку, шкалы заключений содержат числовые значения признаков: скорости изменения давления в герметизируемом объёме, значение расхода герметизируемой среды и др.

Кроме этого, могут быть использованы такие понятия, как «абсолютная герметичность» и «высокая степень герметичности». При этом под абсолютной герметичностью понимается идеализируемое, эталонное значение величины удельной утечки потока среды через соединение, что соответствует количественной оценке более чем 10^{-5} мм³/(м·с). Высокая степень герметичности характеризует отсутствие в течение установленного времени визуально видимых утечек или запаха герметизируемой среды.

Для оценивания запорной арматуры введены специальные стандартизованные понятия, характеризующие степень герметичности через такие термины, как класс и норма. Под классом герметичности понимается система-

тизированные статистические данные сравнительного анализа удельных утечек через уплотнения различных групп или характеристика уплотнения, оцениваемая максимально допустимой утечкой испытательной среды через затвор. В результате оценочных испытаний запорной арматуры устанавливаются класс герметичности в зависимости от объёма протечек через полностью закрытую арматуру: класс герметичности «А» (нет видимых протечек); «В»; «С»; «D» и «D1», определяют максимальные значения протечек. При этом максимально допустимую утечку в затворе герметизирующей арматуры называют нормой герметичности [2].

Подходы к выбору способов определения величины и оценки значений степени герметичности зависят не только от свойств и параметров герметизируемой среды, но прежде всего от давлений, применяемых в герметизируемых системах. Различают системы работающие: в нормальных условиях давления среды; при избыточных давлениях и в условиях вакуума [3].

В практической деятельности, также нашли применение методы и способы определения величины потока среды через течь (рис. 1), отличающиеся: принципами действия; чувствительностью; назначением [4 – 6]. При выборе метода контроля герметичности учитывают допускаемую величину потока через неплотность и технологичность метода.

Кроме практических методов и способов определения величины герметичности применяются теоретические (расчётные) методы, а также комбинированные. Расчётные методы заключаются в установлении зависимости потока среды через течь от различных факторов и основываются на различных методиках описания течения герметизируемой среды через течь и процесса её образования [7].

Основным критерием для выбора метода контроля герметичности является герметизируемая среда, так как герметичность соединений, работающих при избыточном давлении и в условиях вакуума, будут различны [3]. При этом нормализованный метод определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей неподвижных соединений на их герметичность ориентирован на осуществление комплексной оценки герметичности и имеет структуру (рис. 2) [8].

В зависимости от условий герметизации выбирается тот или иной основной метод обнаружения и измерения утечек (натеканий). При необходимости: во-первых, визуальные

методы обнаружения могут дополняться другими методами и комбинироваться с существующими способами измерений; во-вторых, применение масс-спектрометрического метода измерения позволяет получать результаты контроля герметичности, зачастую с избыточной точностью. Однако нормализованный ме-

тод определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей неподвижных соединений на их герметичность, благодаря своим возможностям, позволяет осуществлять контроль герметизации газовых сред в различных состояниях и, соответственно, их режимов течения через неплотность.

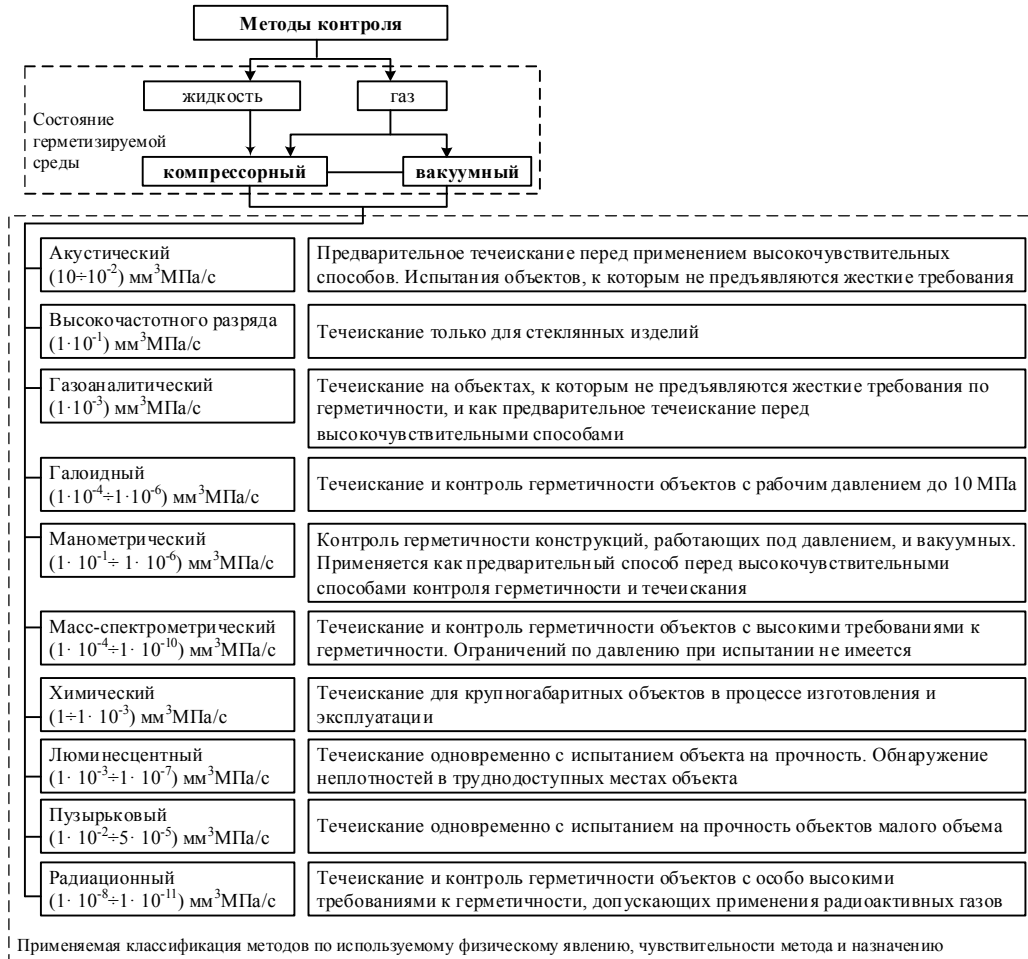


Рис. 1. Классификация методов контроля герметичности

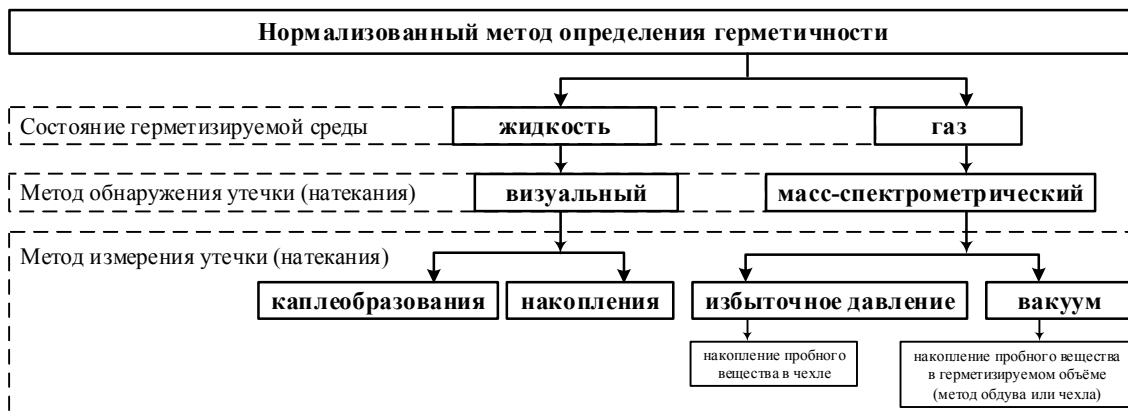


Рис. 2. Структурная схема нормализованного метода определения влияния технологии обработки и качества поверхностного слоя на герметичность соединений

При осуществлении контроля герметичности следует учитывать следующее:

1. Утечки герметизируемых сред, в зависимости от герметизирующего соединения и его назначения, могут выражаться массовыми Q_m (кг/с) и объёмными Q (м³/с) утечками [9]. При этом перевод массовых в объёмные, и наоборот, осуществляться с помощью выражения:

$$Q_m = \rho \cdot Q, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, г/мм³.

2. С целью обеспечения использования и распространения результатов контроля герметичности соединения одного типоразмера на остальные виды рекомендуется при контроле герметичности использовать удельные утечки Q' (м³/(м·с)). В связи с тем, что расход герметизируемой среды Q (м³/с), пропорционален периметру уплотнения, а удельные утечки представляются как утечки за единицу времени, отнесенные к единице периметра при прочих равных условиях. Применение данной рекомендации для различных групп соединений позволяет систематизировать получаемые статистические данные контроля и оценки герметичности, а также выделять классы негерметичности. Например, самый высокий класс герметичности 0-0 или 0-1 соответствует качественной оценке – «абсолютно герметично» [9].

3. В зависимости от режима течения потока герметизируемой среды через образующуюся в результате герметизации неплотность и для сопоставления результатов контроля при оценке герметичности следует учитывать следующее: при герметизации жидкостей, у которых движение потока через неплотность осуществляется в соответствии с ламинарным режимом, и газовых сред под действием давления меньше 0,1 МПа с движением потока соответствующего молекулярному режиму, герметичность выражается объёмной утечкой; при герметизации газовых сред, находящихся под действием давления больше 0,1 МПа и с ламинарным режимом течения потока, герметичность выражается массовой утечкой.

4. Для определения влияния технологии обработки герметизирующей поверхности, а также её качества поверхностного слоя на герметичность соединения должна осуществляться оценка её герметизирующей способности. Таким образом, нормализованный метод предусматривает осуществление контроля герметичности как соединяя в целом, так и герметизирующей способности каждой из герметизируемой поверхности соединения в

отдельности. Это реализуется за счёт использования унифицированных инденторов и образцов (табл. 1), а также возможных схем их герметизирующего контакта в герметизирующем соединении (рис. 3).

Нормализованный метод определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей неподвижных соединений на их герметичность реализуется на специальной унифицированной установке определения влияния технологии обработки на качество поверхностного слоя деталей и на их эксплуатационные свойства (рис. 4 – 6).

Для образования неплотности в герметизирующем контакте требуется создание герметизирующего контактного давления N_{min} , которое должно превышать предел текучести материала и вызывать начало пластических деформаций на вершинах выступов неровностей поверхности, вступивших в герметизирующий контакт. При этом пластические деформации начнутся у шероховатости контактирующих поверхностей, изменяя её геометрические параметры – Rz ; Ra ; Sm и физико-механические свойства – H_{μ} . В процессе таких изменений формируя значения параметров качества поверхностного слоя H_p ; W_p ; R_p ; t_p . С увеличением герметизирующей нагрузки и контактного давления в герметизируемой зоне, зона пластических деформаций будет увеличиваться до значения равного пределу прочности выступов неровностей герметизируемых поверхностей.

При достижении предела прочности выступы неровностей герметизирующих поверхностей достигают своего пластического насыщения, затем начинается их контактное разрушение на фактических площадках контакта. Это приводит к увеличению потока герметизируемой среды через образованную в результате пластического деформирования неплотность соединения. Поэтому, такие контактные напряжения ограничиваются максимально допустимой нагрузкой контактного давления N_{max} .

Для определения таких нагрузок в нормализованном методе определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей неподвижных соединений на их герметичность применяется расчётные методы их определения (табл. 2).

Причём при одном и том же контактном герметизирующем давлении, но различном качестве поверхностных слоёв сопрягаемых герметизирующих поверхностей, значения герметичности будут различны.

1. Геометрическая форма образцов и инденторов нормализованного метода определения герметизирующей способности поверхности сопряжения и герметичности соединений

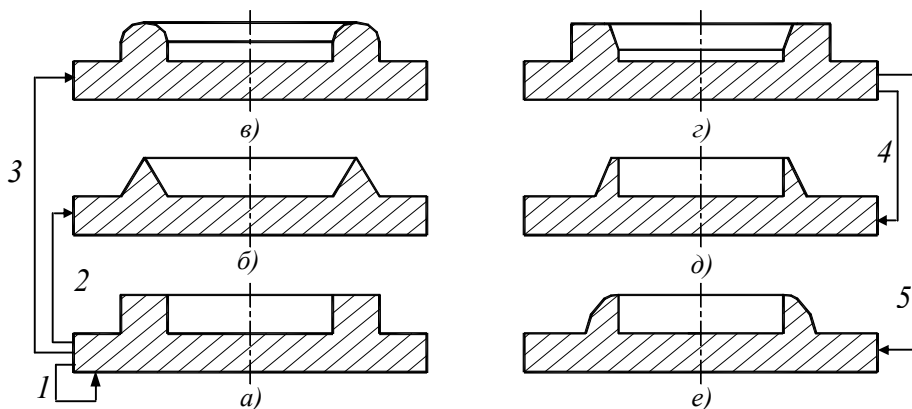
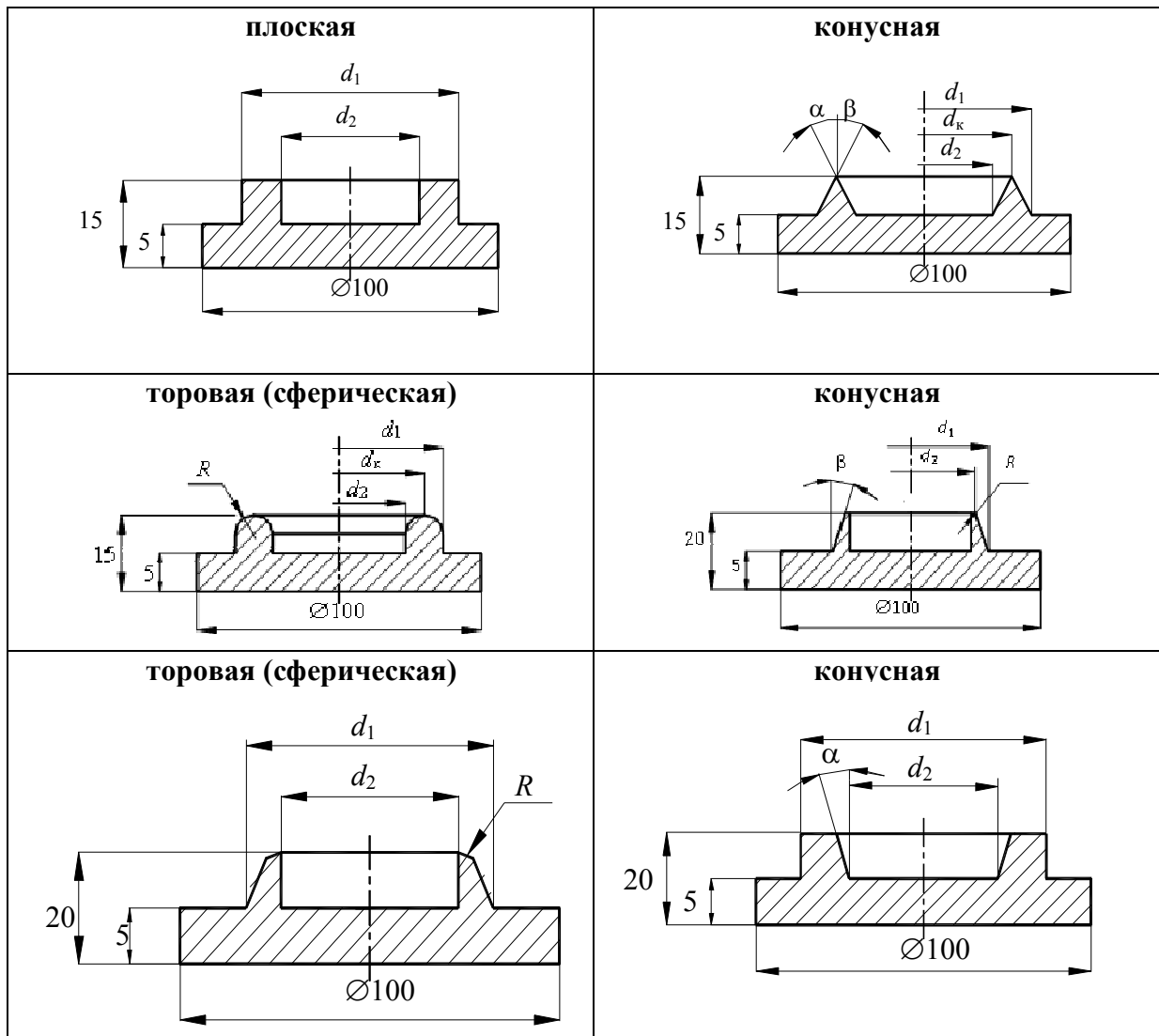


Рис. 3. Геометрические формы контактирующих герметизирующих поверхностей герметизаторов и схемы их контакта:
a – плоская поверхность; *б, г, д* – конусная поверхность; *в, е* – торцовая (сферическая) поверхность; *1* – контакт «плоскость – плоскость»; *2* – контакт «плоскость – конус»; *3* – контакт «плоскость – тор»; *4* – контакт «конус – конус»; *5* – контакт «конус – сфера»

При использовании расчётных зависимостей из табл. 2 за предел текучести σ_T (Па) и

предел прочности σ_B (Па) принимаются значения для материала одной из контактирующих

поверхностей, имеющей наименьшие их значения. При определении герметизирующей способности одной поверхности, и использовании для этого индентора и образца, принимаются значения материала образца. При этом приведенный модуль упругости определяется по выражению:

$$E_{\text{пр}} = \frac{2E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}, \quad (2)$$

где E_1, E_2 – модуль упругости первой и второй контактирующих поверхностей, МПа.



Рис. 4. Установка для нормализованного метода определения влияния технологии на герметичность неподвижных соединений

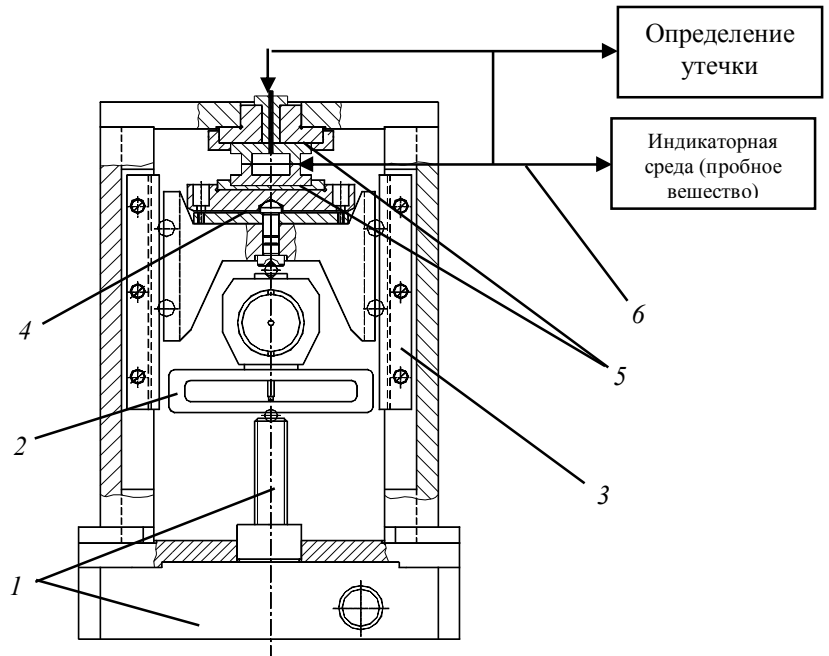


Рис. 5. Схема статического нагружающего устройства по определению контактной жесткости и герметичности:

1 – винтовая пара; 2 – динамометр; 3 – направляющие качения; 4 – самоцентрирующий столик; 5 – образцы и (или) инденторы; 6 – трубопроводная магистраль

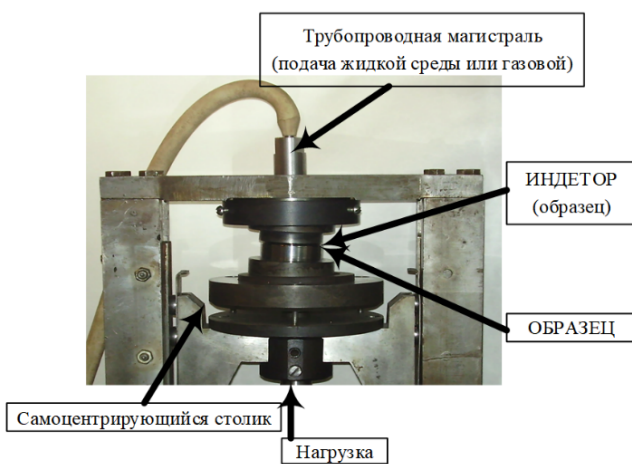


Рис. 6. Герметизирующие соединения

Таким образом, после определения нагрузок герметизирующего контактного давления, они обеспечиваются нагружающим устройством специальной унифицированной установки

определения влияния технологии обработки на качество поверхностного слоя деталей и на их эксплуатационные свойства. В качестве нагружающего устройства, создающего необходимое герметизирующее контактное давление в сопряжении герметизирующих поверхностей соединения, используется электродвигатель и нагружающий элемент (см. рис. 5).

Нагружающее устройство представляет собой специальный пресс с массивной станиной и направляющими стойками, обеспечивающими достаточно большую жесткость. В нижней части станины расположена винтовая пара, посредством которой момент, развиваемый электродвигателем, преобразуется в нагрузку, прикладываемую к герметизирующим контактирующим поверхностям сопряжения соединения. Нагрузка, которую позволяет создавать нагружающий механизм на герметизирующие поверхности, находится в пределах 5 Н...50 кН.

Для измерения и контроля прикладываемой к герметизирующему сопряжению контактирующих поверхностей соединения, предусмотрены тензодатчики сопротивления, расположенные на плечах динамометра. Кроме того, в установке предусмотрен дополнитель-

ный контроль нагружения по индикатору часового типа. При его использовании для определения величины прикладываемой нагрузки рекомендуется использование перевода значений нагрузки в перемещение нажимного винта (табл. 3).

2. Расчётные уравнения нагрузок герметизирующего контактного давления для определения герметизирующей способности поверхности и герметичности неподвижного соединения

Схема контакта геометрических форм герметизаторов	Минимальная нагрузка N_{min} , Н	Максимальная нагрузка N_{max} , Н	$\frac{d_k}{A}$
Плоскость с плоскостью	$\sigma_{Tmin} \cdot A$	$\sigma_{Bmin} \cdot A$	$\frac{d_1^2 - d_2^2}{4}$
Плоскость с конусом	$\frac{\sigma_{Tmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}} \sin \psi$	$\frac{\sigma_{Bmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}} \sin \psi$	$d_2 + h \cdot \operatorname{tg} \beta$
Плоскость с тором	$\frac{\sigma_{Tmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}}$	$\frac{\sigma_{Bmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}}$	$d_2 + R$
Конус со сферой	$\frac{\sigma_{Tmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}} \sin \alpha$	$\frac{\sigma_{Bmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}} \sin \alpha$	$d_2 + 2 \cdot R \cdot \sin \alpha$
Конус с конусом	$\frac{\sigma_{Tmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}} \sin \alpha$	$\frac{\sigma_{Bmin}^2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot R}{0,02 \cdot E_{пр}} \sin \alpha$	d_2

Примечания: A – геометрическая площадь контакта, определяющаяся по известным зависимостям установленным Герцем при определении контактного давления, мм²; d_k – диаметр герметизирующего контактного пояса.

3. Перевод значений нагрузки в перемещение нажимного винта

Действительная нагрузка		Среднее арифметическое 3-х отсчетов, мм, по индикатору №87722 при $t = 20^\circ$	
кгс	Н	при нагрузке	при разгрузке
0	0	1,000	1,000
500	4905	1,708	1,713
1000	9810	2,413	2,422
1500	14715	3,121	3,132
2000	19620	3,836	3,849
2500	24525	4,550	4,560
3000	29430	5,260	5,272
3500	34335	5,972	5,981
4000	39240	6,690	6,698
4500	44145	7,402	7,409
5000	49050	8,110	–

В зависимости от герметизируемой среды при оценивании и контроле герметичности комплектование состава собираемой установки будет различен. При оценивании герметичности соединения используется два об-

разца, при оценивании герметизирующей способности индентор и образец. Причём индентор устанавливается на самоцентрирующийся столик, а образец, базируется по поверхности втулки, запрессованной в верхней части установки. В результате соединения герметизаторов образец-образец или индентор-образец образуется внутренний замкнутый объём.

При оценивании герметизации жидкой среды, она подаётся в образованный замкнутый объём, а для его образования используется четыре основных конструктивных элемента (рис. 7).

При оценивании герметизации газовых сред под давлением в замкнутом герметизируемом объёме, состоящем из трёх конструктивных элементов (рис. 8), создаётся необходимое давление и подаётся индикаторный газ.

В случае оценивания герметичности вакуумных систем в замкнутом объёме создаётся разрежение, а индикаторный газ подаётся специальным щупом в герметизируемую зону контролируемого контакта.

Контроль герметичности или определение герметизирующей способности поверхностей измерение утечки потока среды через сопряжение происходит по методу каплеобразова-

ния или накопления жидкости в стакане. Однако применение данных методов, в целях безопасности проведения контроля герметичности при избыточных давлениях, ограничиваются давлением не более 1 МПа.

Контроль герметичности или определение герметизирующей способности поверхностей при изоляции газовых сред измерение величины утечки определяется стационарным течеискателем ПТИ-10, принцип действия которого основан на масс-спектрометрическом ме-

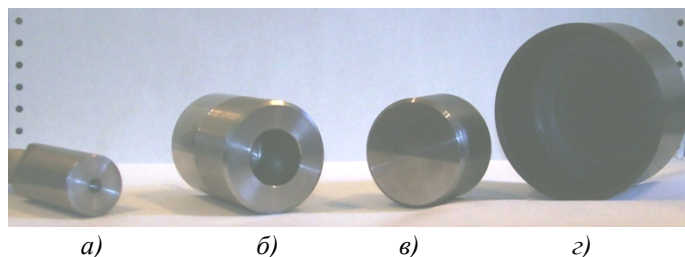


Рис. 7. Элементы соединения, при определении герметизирующей способности (герметизация жидких сред):

а – соединение с трубопроводной магистралью; б – образец; в – индентор; г – стакан (для сбора утечки)

При наличии неплотности герметизирующего сопряжения контактирующих поверхностей соединения пробное вещество проникает в герметизируемую среду и через магистраль течеискателя подаётся в его масс-спектрометрическую камеру, где фиксируется количество проникающих молекул гелия. В зависимости от этого количества, замеренного в промежуток определённого времени, производится оценивание величины утечки при герметизации объёма под давлением и натекания при герметизации объёма с разряженным давлением. Причём разряженное давление (вакуум) в герметизируемом объёме создается механическим насосом, схема подключения которого выполнена с учетом обеспечения наибольшей чувствительности и оперативности измерения. При оценивании герметичности при избыточных давлениях в целях безопасности они не должны превышать 1 МПа.

При измерениях герметичности соединения газовых сред необходимо использовать расчётные методы определения: амплитуды флюктуации фонового сигнала; минимальный поток гелия, регистрируемый течеискателем; цену деления выходного прибора блока измерения ионного тока течеискателя.

Амплитуда флюктуации фонового сигнала определяется по шкале «1»; «0,1» или «0,3» выходного прибора блока измерения ионного тока:

$$\Delta\alpha_{\phi} = \alpha_{\phi \max} - \alpha_{\phi \min}, \text{ мВ}, \quad (3)$$

тоде определения количества пробного вещества (индикаторной среды). В качестве пробного вещества используется гелий, как один из самых инертных и безопасных газов, проникающий через неплотность легче всех остальных газов (кроме водорода). Масс-спектрометрический метод оценки герметичности является одним из самых точных методов, что оправдывает его применение в контроле герметичности соединений с высокими требованиями к герметичности.

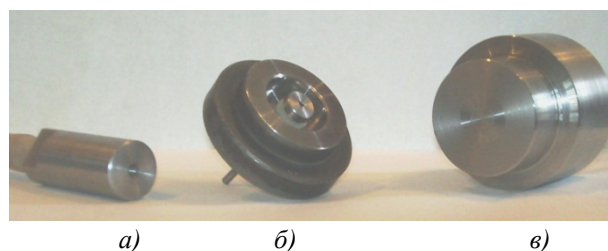


Рис. 8. Элементы соединения, при определении герметизирующей способности (герметизация газовых сред):

а – соединение с трубопроводной магистралью; б – индентор; в – образец

где $\Delta\alpha_{\phi}$ – амплитуда флюктуации фонового сигнала; $\alpha_{\phi \max}$ и $\alpha_{\phi \min}$ – максимальное и минимальное значения фонового сигнала.

Минимально регистрируемый поток гелия определяется:

$$Q_{\min} = \frac{Q_{\Gamma}}{\alpha_{\Gamma} - \alpha_{\phi}} \cdot \Delta\alpha_{\phi}, \frac{\text{мм}^3 \cdot \text{МПа}}{\text{с}}, \quad (4)$$

где Q_{Γ} – величина потока гелиевой течи (определяется по маркировке на корпусе течи, установленной в течеискателе); α_{Γ} – величина сигнала от течи по выходному прибору; α_{ϕ} – величина фонового сигнала при определении сигнала от течи.

Таким образом, цена деления выходного прибора определяется выражением:

$$S_{\phi} = \frac{Q_{\Gamma}}{\alpha_{\Gamma} - \alpha_{\phi}}, \frac{\text{мм}^3 \cdot \text{МПа}}{\text{с} \cdot \text{мВ}}. \quad (5)$$

При этом определение величины натекания пробного вещества в герметизируемый объём осуществляется по выражению:

$$Q_{\text{н}} = S_{\phi} \cdot (\alpha_{\Gamma} - \alpha_{\phi}), \frac{\text{мм}^3 \cdot \text{МПа}}{\text{с}}, \quad (6)$$

где α_{Γ} – величина сигнала от гелия, проникающего в герметизируемый объём; α_{ϕ} – величина фонового сигнала при определении сигнала от гелия.

Для определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей на герметизирующую способность или герметичность соединения в нормализованный метод

могут включаться дополнительные измерительные приборы и методы измерения параметров качества поверхностных слоев герметизирующих поверхностей. Например, для измерения геометрических параметров поверхностного слоя – профилограф-профилометр и кругломер.

При выборе измерительных приборов следует учитывать его конструктивные возможности, по профильной оценке, герметизируемой поверхности в сечении по направлению

перпендикулярному движению потока герметизируемой среды.

Для автоматизированного использования нормализованного метода определения влияния технологии обработки герметизирующих поверхностей неподвижных соединений на герметичность применяются протокольные таблицы (табл. 4), которые содержат необходимые данные для анализа и оценки результатов контроля. При этом все данные разделены на три основные группы: постоянные, рассчитываемые и измеренные.

4. Пример протокола контроля герметизирующей способности поверхности

ПРОТОКОЛ №		13	
Герметизируемая среда	газ		
Давление герметизируемой среды	0,1 МПа		
Герметизирующий контакта соединения	плоскость-плоскость		
Герметизирующая поверхность	плоскость		
Поверхность индентора	плоскость		
Технологический метод обработки герметизирующей поверхности	торцовое точение		
Метод обнаружения утечки или натекания	масс-спектрометрический		
Метод измерения утечки или натекания	метод обдува		
ПОСТОЯННЫЕ ПАРАМЕТРЫ			
Параметры герметизируемого вещества			
Герметизируемое вещество ¹		воздух	
Давление окружающей среды ¹	p_1	0,1	МПа
Рабочее давление ³	p_2	$9,3 \cdot 10^{-6}$	МПа
Молекулярная масса ²	M	28 960	г/моль
Газовая постоянная ²	R	8,3	Дж/(моль·К)
Температура газа ¹	T	298	К
Конструктивный фактор			
Диаметр ³	d_1	55	мм
Диаметр ³	d_2	32,5	мм
Физико-механические свойства герметизирующего материала			
Материал ¹		сталь 08X18H10T	
Твердость ³	НВmin=НВmax	600	МПа
Предел текучести ²	σ_T	200	МПа
Модуль упругости ²	E	$2 \cdot 10^5$	МПа
Коэффициент Пуассона ²	μ^*	0,3	
Параметры технологической системы			
Неперпендикулярность оси шпинделя к направляющим станка ²	C	0,1	мм
Жесткость технологической системы ²	j_{TC}	18 000	Н/мм
Резец ¹		токарный проходной отогнутый	
Материал режущей части резца ¹		ВК8	
Вылет резца ⁵	L_p	6	мм
Высота державки резца ³	h	25	мм
Ширина державки резца ³	b	14,7	мм
Главный угол в плане ⁴	ϕ	45	°
Вспомогательный угол в плане ⁴	ϕ_1	45	°
Передний угол ⁴	γ	6	°
Радиус закругления вершины резца ⁵	r	0,19	мм
Коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, материала режущей части инструмента, вида обработки ²	C_p	204	

Показатели степени ²	x	1	
	y	0,75	
	n	0,35	
	z	1	
Коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости ²	K_{mp}	0,9	
Коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента ²	K_{op}	1	
	K_{lp}	1,07	
	K_{yp}	1,6	
	K_{rp}	1	
Коэффициент, учитывающий вид закрепления заготовки (для консольного закрепления заготовки в патроне) ²	K	3	
Сближение поверхностей			
Постоянная Кармана ²	u	0,2	
РАССЧИТЫВАЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ			
Конструктивный фактор			
Геометрическая площадь герметизирующего контакта:	A	429,1875	мм ²
Фактическая площадь контакта при N_{min}	$A\phi_{min}$	24,525	мм ²
Фактическая площадь контакта при N_{max}	$A\phi_{max}$	40,875	мм ²
Ширина герметизирующего контакта	ℓ	22,5	мм
Физико-механические свойства герметизирующего материала			
Поверхностная микротвердость	$H_{\mu 0}$	600	МПа
Силовой фактор			
Минимальная герметизирующая нагрузка	N_{min}	14 715	Н
Максимальная герметизирующая нагрузка	N_{max}	24 525	Н
Технологический фактор			
Момент инерции сечения державки	J	19 140,625	мм ⁴
ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ			
Герметизирующая способность	$Q_{г}$	$0,65 \cdot 10^{-6}$	мм ³ ·МПа/с
Параметры качества поверхностного слоя:			
...			

Примечания: ¹ – принимаемые значения, исходя из рекомендаций и условий контроля герметичности; ² – справочные значения; ³ – измеряемые значения в процессе контроля герметичности; ⁴ – принимаемые значения, исходя из рекомендаций, и измеряемые в процессе контроля герметичности; ⁵ – измеряемые значения в процессе контроля герметичности и для обработки полученных данных принято среднее значение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Качество** машин: Справ. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 1995. – Т. 1. – 253 с.
2. **ГОСТ 9544-2015** «Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов».
3. **Тихомиров, В.П., Горленко, О.А.** Критерий герметичности плоских сопряжений // Трение и износ. – 1989. – Т. 10. – №2. – С. 214-218.
4. **Дроботов, Ю.Б., Грешников, В.А., Бачегов, В.Н.** Акустические контакты течискания. – М.: Машиностроение, 1989. – 120 с.
5. **Технология** изготовления, сборки и испытаний уплотнительных устройств в автомобиле строения / Н.Н. Ильин, В.А. Николаев и др. – М.: МАИ, 1984. – 109 с.
6. **Технологическая** диагностика гидравлических приводов / Под ред. Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1989. – 263 с.
7. **Ерёменкова, И.В.** Технологическое обеспечение герметичности неподвижных разъёмных соединений по двухступенчатой схеме организации производства // Научные технологии в машиностроении. – 2021. – №1 (115). – С. 24-33.
8. **Машиностроение.** Энциклопедия. Надежность машин. Т. IV-3 / В.В. Клюев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин и др. / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1998. – 592 с.
9. **Уплотнения** и уплотнительная техника: Справ. / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др. / Под ред. А.И. Голубева и Л.А. Кондакова. – М.: Машиностроение, 1986. – 463 с.

REFERENCES

1. The quality of the machines: Reference. In 2 volumes , Edited by A. G. Suslov, M.: Mashinostroenie, 1995, Vol. 1, 253 p.
2. **GOST 9544-2015** " Pipeline fittings. Standards of gate sealability".
3. Tikhomirov, V. P., Gorlenko, O. A. Criterion of tightness of flat interfaces // Friction and wear, 1989, Vol. 10, no. 2, pp. 214-218.
4. Drobotov, Yu. B., Greshnikov, V. A., Bachegov, V. N. Acoustic contacts of leak detection. – M.: Mashinostroenie, 1989, 120 p.
5. Technology of manufacturing, assembly and testing of sealing devices in a car industry, N. N. Ilyin, V. A. Nikolaev, et al, M.: MAI, 1984, 109 p.
6. Technological diagnostics of hydraulic drives / Edited by T. M. Bashta, M.: Mashinostroenie, 1989, 263 p.
7. Eremenkova, I. V. Technological provision of hermetic state of fixed detachable joints according to a two-stage scheme of production organization , High-tech technologies in mechanical engineering, 2021, no. 1 (115), pp. 24-33.
8. Mechanical engineering. Encyclopedia. Reliability of machines. Vol. IV 3 , V. V. Klyuev, V. V. Bolotin, F. R. Sosnin, et al, edited by V. V. Klyuev, M.: Mashinostroenie, 1998, 592 p.
9. Seals and sealing equipment: Reference , L. A. Kondakov, A. I. Golubev, V. B. Ovander, et al, edited by A. I. Golubev and L. A. Kondakov, M.: Mashinostroenie, 1986, 463 p.

Рецензент д.т.н.
Александр Иванович Буравлёв