

Современные зарубежные методы и стандарты испытаний уровня утечек во фланцевых и сальниковых узлах

А.П. Малахо



Современные методы испытаний фланцевых соединений

EN 1591-1:2013 “Flanges and their joints – Design rules for gasketed circular flange connections. Part 1: Calculation”

Стандарт определяет методы расчетов для болтовых фланцевых соединений с уплотнениями

EN 13555:2014 “Flanges and their joints – Gasket parameters and test procedures relevant to the design rules for gasketed circular flange connections”

Стандарт определяет процедуры испытаний фланцевых уплотнений для определения параметров, необходимых для расчетов при проектировании болтовых фланцевых соединений с уплотнениями по EN 1591-1:2013

L_N – класс герметичности

Стандартный размер прокладок для испытаний:

Ø92×Ø49 мм (фланцевое соединение DN40/PN40)

Класс герметичности L_N	$L_{1,0}$	$L_{0,1}$	$L_{0,01}$
Удельная скорость утечки гелия, мг/м/с	$\leq 1,0$	$\leq 0,1$	$\leq 0,01$

Расчетные параметры

Обозначение	Определение	Ед. изм.
$Q_{\min(L)}$	минимальное значение усилия поджатия прокладки при сборке фланцевого соединения, достаточное для обеспечения класса герметичности L при заданном значении внутреннего давления газа	МПа
$Q_{s\min(L)}$	минимальное значение остаточного усилия поджатия прокладки в процессе эксплуатации фланцевого соединения при рабочем давлении газа, достаточное для обеспечения класса герметичности L	МПа
$Q_{s\max}$	максимальное значение усилия, с которым можно поджать при заданной температуре фланцевое уплотнение без его разрушения или превышения допустимой величины деформации	МПа
P_{QR}	коэффициент релаксации уплотнения во фланцевом соединении при длительной выдержке при заданной температуре, равен отношению остаточной нагрузки на уплотнение к исходной	–
E_G	модуль упругости прокладки при разгрузке уплотнения до величины нагрузки, равной 1/3 от изначальной	МПа
Δe_{Gc}	деформация прокладки в результате ползучести при заданной нагрузке	Мм

Испытания фланцевых уплотнений по EN 13555:2014

Оборудование

Многофункциональный испытательный прибор TEMES_{fl.ai1}



Внешний вид испытательного стенда

Характеристики:

Максимальное усилие поджатия	1000 кН
Максимальная температура испытания	600 °С
Максимальное рабочее давление газа	200 бар
Максимальная толщина прокладки	8 мм
Максимальный диаметр прокладки	173 мм
Диапазон измерения скорости утечки газа:	
азот	от 10¹ до 10⁻⁴ мг/м/с
гелий (с использованием масс-спектрометра)	от 10¹ до 10⁻¹⁰ мг/м/с

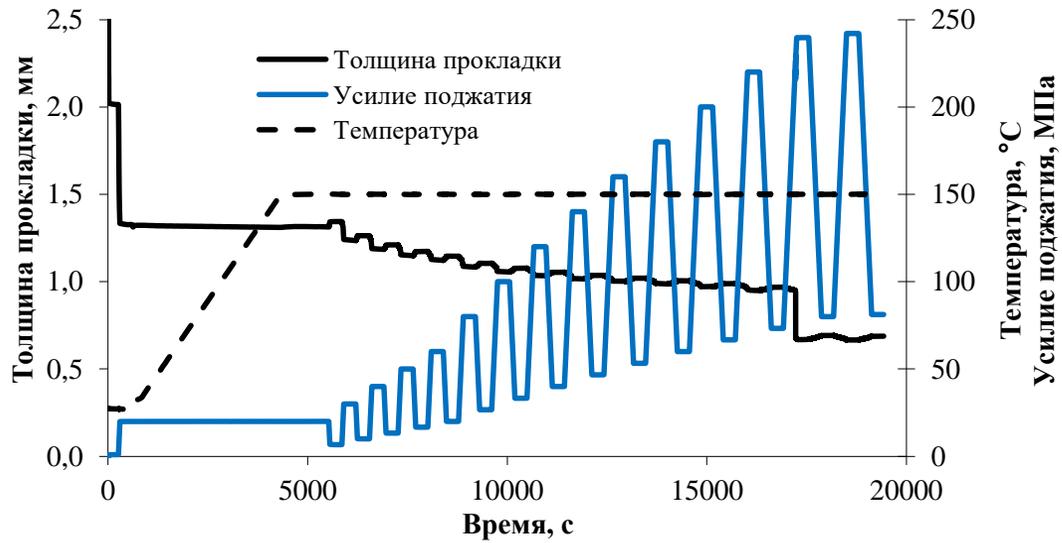
Стандарты

- EN 13555:2014** Flanges and their joints - Gasket parameters and test procedures relevant to the design rules for gasketed circular flange connections
- DIN 28090:1995** Static gaskets for flange connections - Gaskets made from sheets
- DIN 28091:1995** Technical delivery conditions for gasket sheets
- DIN 3535:2011** Gaskets for gas supply
- DIN 52913:2002** Testing of static gaskets for flange connections - Compression creep testing of gaskets made from sheets
- VDI 2440:2000** Tight flange connections - Selection, calculation, design and assembly of bolted flange connections

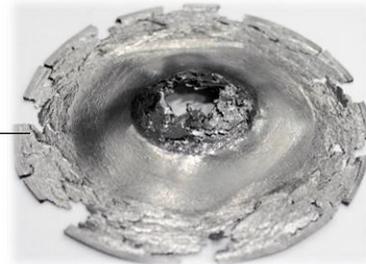
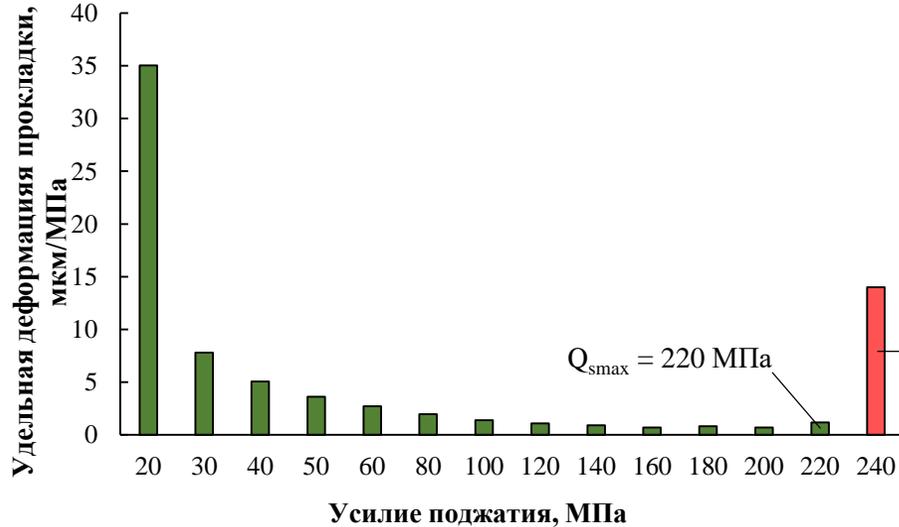
Испытания фланцевых уплотнений по EN 13555:2014

Определение Q_{smax}

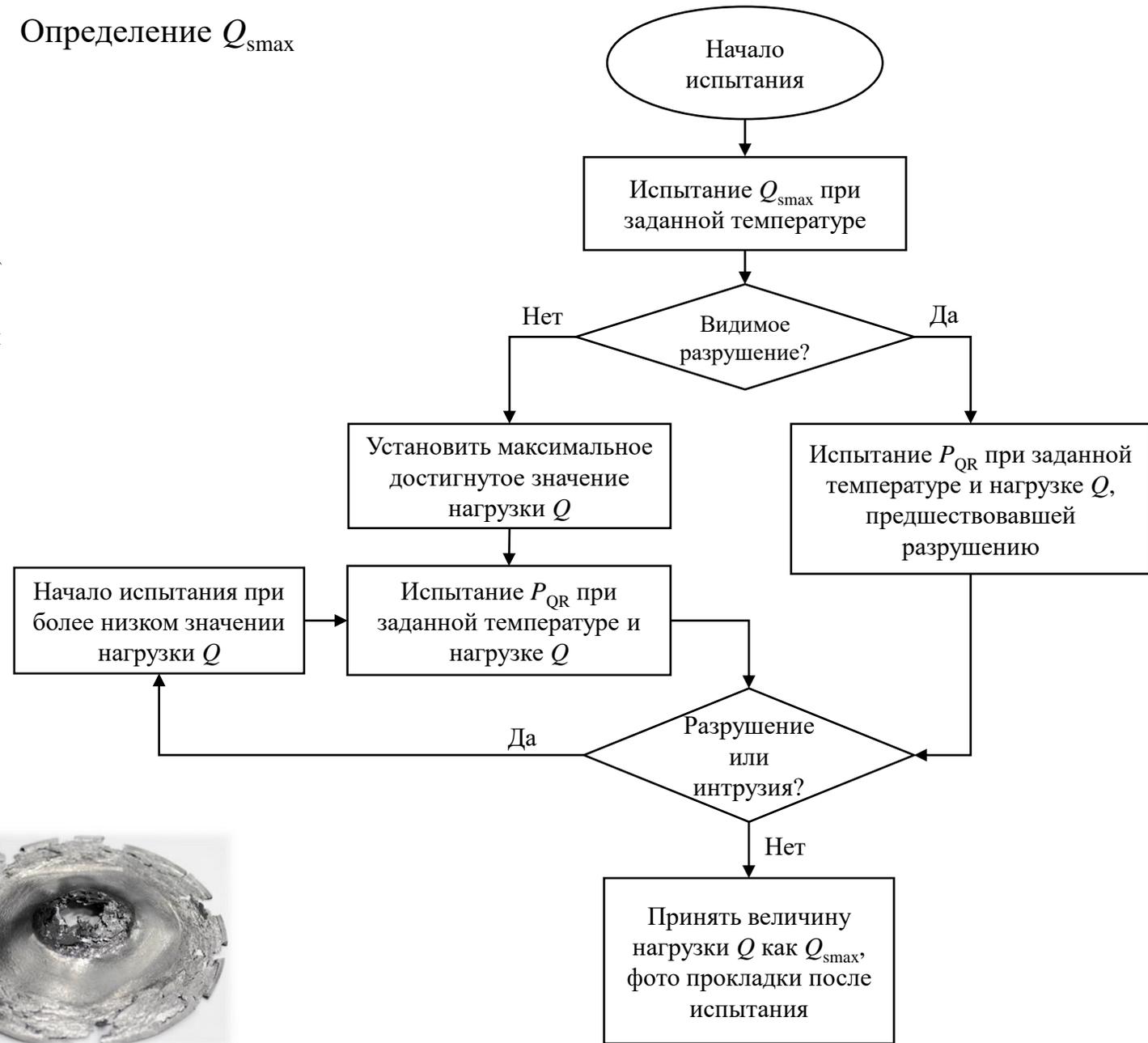
Процедура испытания для определения Q_{smax} и E_G



Определение Q_{smax}



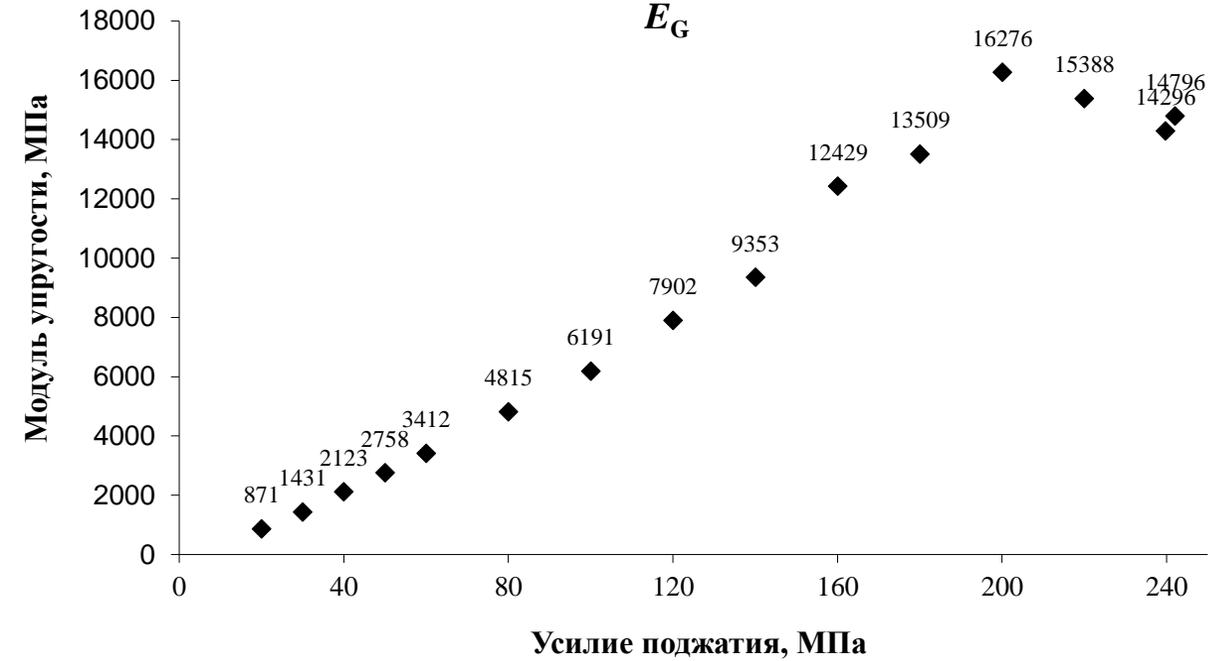
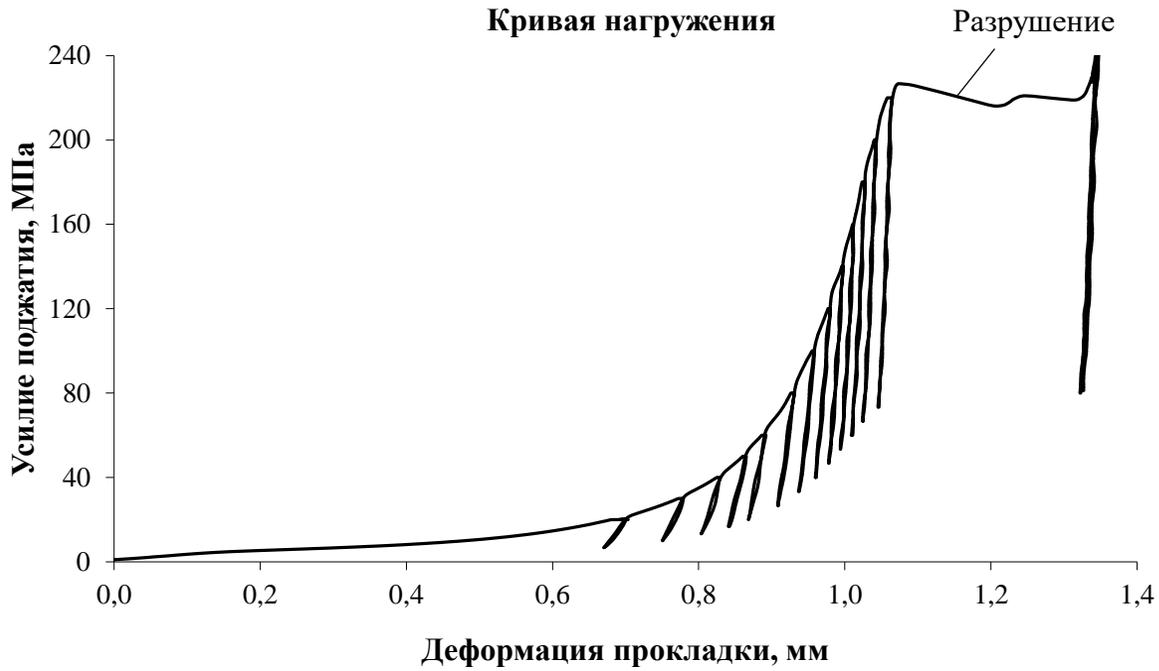
Разрушение



Процедура испытания для определения Q_{smax}

Испытания фланцевых уплотнений по EN 13555:2014

Определение E_G



Определение Δe_{Gc} и P_{QR}

Прокладку выдерживают при заданной температуре и нагрузке Q в течение 4 часов, после чего повторно измеряют ее толщину.

Испытательный стенд имитирует нагрузку в болтовом фланцевом соединении с жесткостью болтов 500 кН/мм.

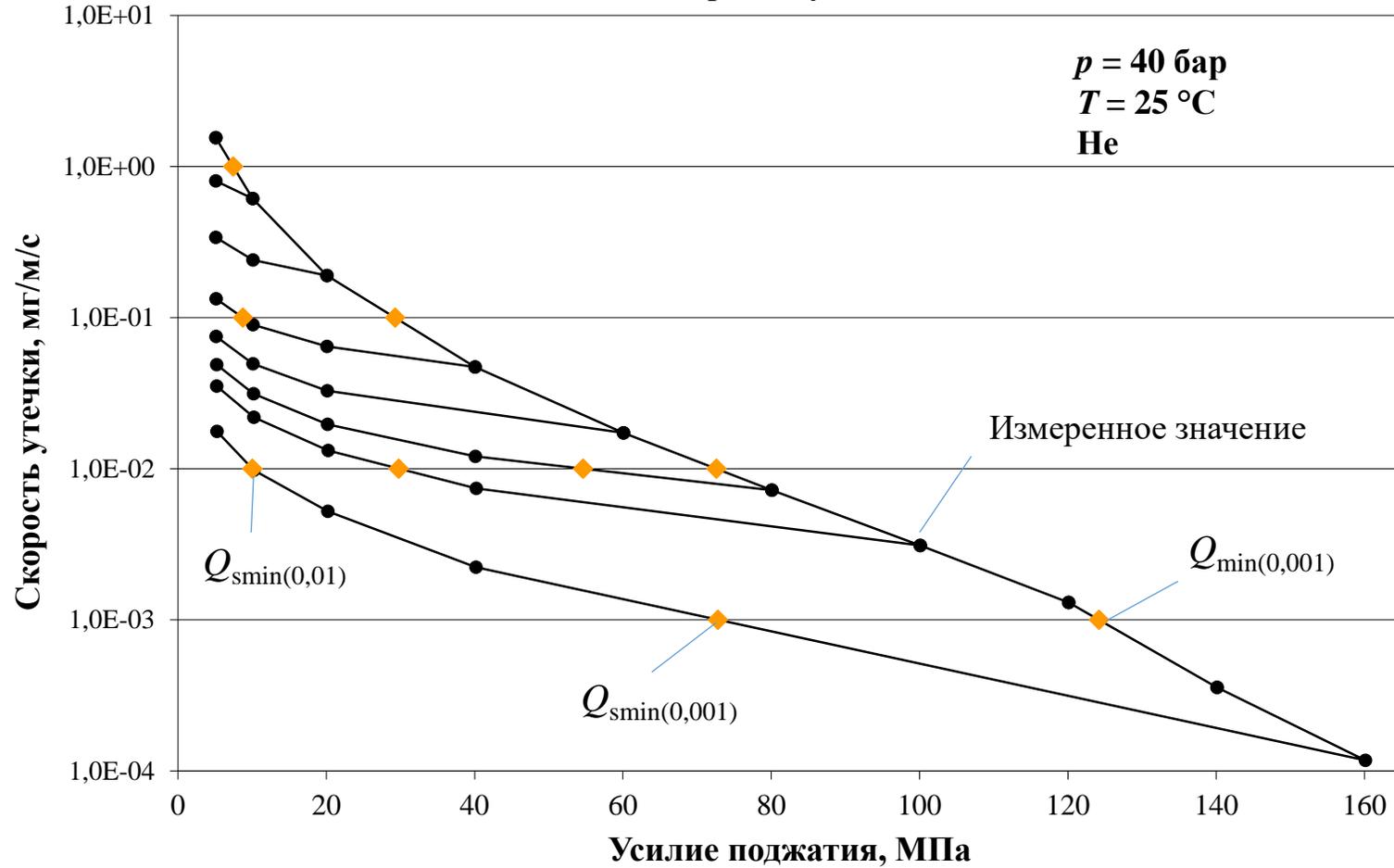
По разнице между исходной толщиной прокладки и толщиной после выдержки определяют значение Δe_{Gc} .

Величину P_{QR} определяют как отношение величины остаточной нагрузки на уплотнение к исходной.

Испытания фланцевых уплотнений на герметичность по EN 13555:2014

Определение $Q_{\min(L)}$ и $Q_{\min(L)}$

Кривая утечки



Результаты испытания

Класс герметичности	Минимальное значение усилия поджатия прокладки при сборке	
L	$Q_{\min(L)}$ МПа	
1	7	
0.1	29	
0.01	73	
0.001	124	

Класс герметичности	Усилие поджатия прокладки при сборке	Минимальное значение остаточного усилия поджатия прокладки в процессе эксплуатации
L	Q_A МПа	$Q_{\text{Smin}(L)}$ МПа
0.1	40	9
0.01	80	55
0.01	100	30
0.01	160	10
0.001	160	73

Испытание фланцевых уплотнений на герметичность

DIN 3535-6:2011 “Gaskets for gas supply. Part 6: Gasket materials based on fibers, graphite or polytetrafluoroethylene (PTFE) for gas valves, gas appliances and gas mains”

Отличия от испытания на герметичность по EN 13555:2014:

Стандартный размер прокладок для испытания:

Ø92×Ø49 мм или Ø90×Ø50 мм
(фланцевое соединение DN40/PN40)

- испытание подразумевает определение герметичности материала уплотнения, поэтому между прокладкой и поверхностями фланцев прокладывается полиэтиленовая пленка для снижения течи по поверхности уплотнения;
- фиксированные условия испытания (азот, 40 бар; усилие поджатия 32 МПа);
- требование для максимальной допустимой скорости утечки ($< 0,1$ мг/м/с)

VDI 2440:2000 “Emission control - Mineral oil refineries”

Стандарт устанавливает требования к герметичности высококачественных уплотнительных материалов для соответствия нормам **TA-Luft**



Отличия от испытания на герметичность по EN 13555:2014:

- испытание проводят на реальном фланце DN40/PN40, соединенном шпильками или болтами с усилием поджатия 30 МПа;
- фланцевое соединение в сборе с уплотнением предварительно выдерживают в печи при максимальной температуре длительной эксплуатации в течение 48 ч;
- измерение скорости утечки гелия проводят при разности давлений 1 бар;
- требование для максимальной допустимой скорости утечки ($\leq 1,0 \cdot 10^{-4}$ мбар·л/м/с)

Фланцевое соединение TEMES_{TA-Luft}
с датчиками удлинения болтов

Современные методы испытаний промышленной трубопроводной арматуры

Стандарты

```
graph TD; A[Стандарты] --> B[Металлическая арматура]; A --> C[Неметаллическая арматура];
```

Металлическая арматура

ГОСТ 33257-2015 (ISO 5208:2008) Арматура трубопроводная. Методы контроля и испытаний

Проект ГОСТа (ISO 17292:2015) Арматура трубопроводная. Краны шаровые для нефтяной, нефтехимической и смежных отраслей промышленности. Общие технические условия

Проект ГОСТа (ISO 28921-1:2013) Арматура трубопроводная криогенная. Общие технические условия

ISO 15848 Industrial valves — Measurement, test and qualification procedures for fugitive emissions

EN 12266:2012 Industrial valves — Testing of metallic valves

API 598:2016 Valve Inspection and Testing

API 622:2011 Type Testing of Process Valve Packing for Fugitive Emissions

API 624:2014 Type Testing of Rising Stem Valves Equipped with Graphite Packing for Fugitive Emissions

ISO 14313:2007 Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems — Pipeline valves

Неметаллическая арматура

ISO 9393 Thermoplastics valves for industrial applications — Pressure test methods and requirements

Проект ГОСТа (ISO 16135:2006) Арматура трубопроводная. Краны шаровые из термопластичных материалов. Общие технические условия

Проект ГОСТа (ISO 16136:2006) Арматура трубопроводная. Затворы дисковые из термопластичных материалов. Общие технические условия

Проект ГОСТа (ISO 16137:2006) Арматура трубопроводная. Клапаны обратные из термопластичных материалов. Общие технические условия

Проект ГОСТа (ISO 16138:2006) Арматура трубопроводная. Клапаны мембранные из термопластичных материалов. Общие технические условия

Проект ГОСТа (ISO 16139:2006) Арматура трубопроводная. Задвижки из термопластичных материалов. Общие технические условия

Испытания промышленной арматуры по ISO 15848-1:2015

ISO 15848-1:2015 Industrial valves — Measurement, test and qualification procedures for fugitive emissions. Part 1: Classification system and qualification procedures for type testing of valves

Стандарт устанавливает классификацию различных типов промышленной арматуры по способности снижать летучие выбросы и определяет процедуры испытаний

Арматура должна быть предварительно испытана по стандарту «ГОСТ 33257-2015 (ISO 5208:2008) Арматура трубопроводная. Методы контроля и испытаний» на прочность и плотность корпуса изделия на гидравлическом стенде

Классы герметичности запорной арматуры по гелию

Класс	Скорость утечки, мбар*л/с/мм	Примечание
АН	$\leq 1,78 \cdot 10^{-7}$	Сильфонные уплотнения
ВН	$\leq 1,78 \cdot 10^{-6}$	Сальники на основе фторопластов и эластомеров
СН	$\leq 1,78 \cdot 10^{-4}$	Сальники на основе графита

Кол-во N поджатий сальникового уплотнения в процессе испытания обозначают как **SSA-N**

Классы надежности запорной арматуры

CO1 – общее кол-во полных циклов открытия/закрытия арматуры **205**

Кол-во циклов нагрева/охлаждения: **2**

CO2 – общее кол-во полных циклов открытия/закрытия арматуры **205+1295**

Кол-во циклов нагрева/охлаждения: **2+1**

CO3 – общее кол-во полных циклов открытия/закрытия арматуры **205+1295+1000**

Кол-во циклов нагрева/охлаждения: **2+1+1**

Температурные классы запорной арматуры

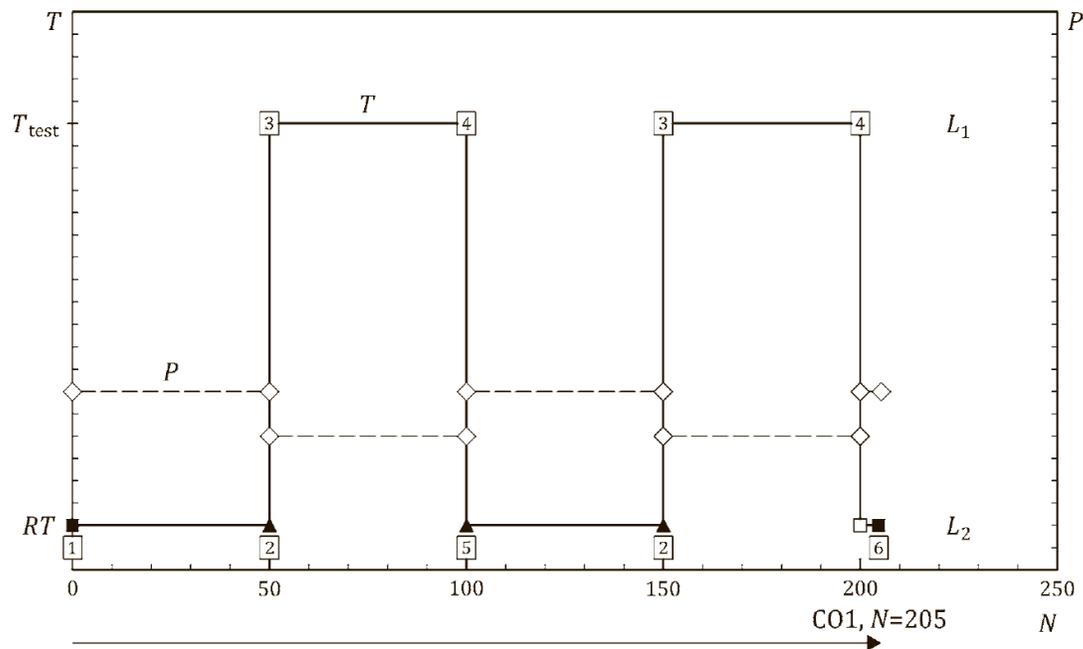
(t-196 °C)	(t-46 °C)	(tRT)	(t200 °C)	(t400 °C)
-196 °C	-46 °C	T _{комн.} °C	200 °C	400 °C

Пример обозначения арматуры по стандарту:

ISO FE ВН — CO1 — SSA 1 — t(-46°C, 200 °C) — PN 16 — ISO 15848-1

Испытания промышленной арматуры по ISO 15848-1:2015

Процедура испытания



Процедура испытания запорной арматуры (класс надежности CO1)

L_1 – измерение скорости утечки через уплотнение штока

L_2 – измерение скорости утечки через корпус арматуры

N – количество циклов открытия/закрытия

P – испытательное давление среды

Тест 1. Предварительное измерение общей скорости утечки при комнатной температуре

Тест 2. Циклы открытия/закрытия при комнатной температуре, измерение скорости утечки через уплотнение штока

Тест 3. Измерение скорости утечки через уплотнение штока при повышенной температуре

Тест 4. Циклы открытия/закрытия при повышенной температуре, измерение скорости утечки через уплотнение штока при повышенной температуре

Тест 5. Промежуточное измерение скорости утечки через уплотнение штока при комнатной температуре

Тест 6. Заключительное измерение общей скорости утечки при комнатной температуре

Визуальный осмотр арматуры после испытания

Определение скорости утечки гелия через уплотнение штока производят с помощью масс-спектрометра двумя способами:

- 1) Режим сниффера (с помощью трубки) – в ppm
- 2) Вакуумный режим (с помощью вакуумной камеры) – в мбар*л/с

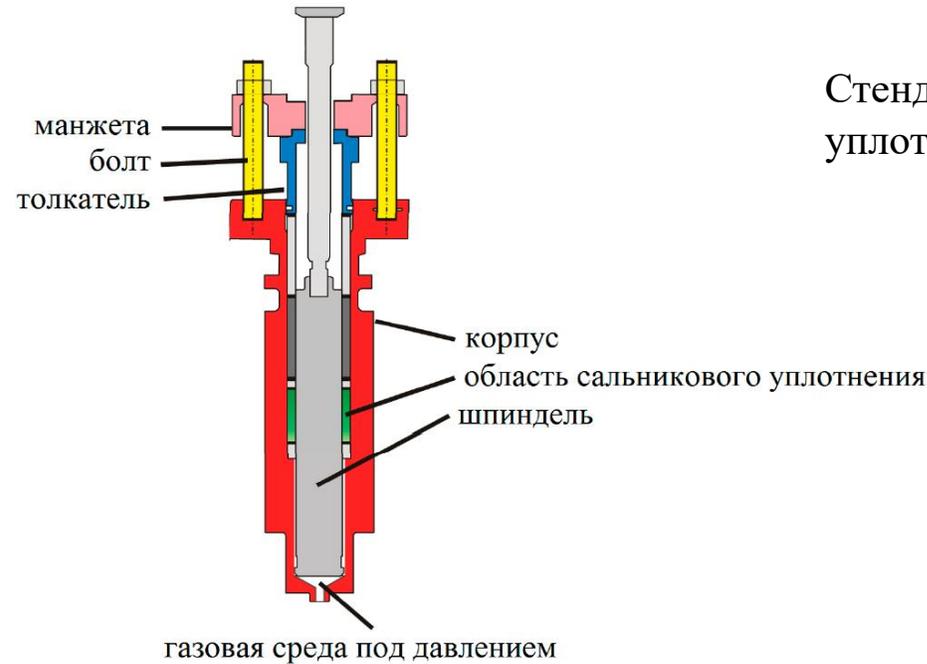
Испытания сальниковых уплотнений по ISO 15848-1:2015

Оборудование

Многофункциональный испытательный прибор TEMES_{stb.freak}



Внешний вид испытательного стенда



Стенд имитирует узел сальникового уплотнения арматуры

Характеристики:

Размеры сальникового уплотнения	Ø56×Ø40x8 мм
Максимальное усилие поджатия	50 МПа
Максимальная температура испытания	400 °С
Максимальное рабочее давление газа	200 бар
Максимальное усилие перемещения штока	50 кН
Диапазон измерения скорости утечки газа:	
азот	от 10 ¹ до 10 ⁻⁴ мбар·л/с
гелий (с использованием масс-спектрометра)	от 10 ¹ до 10 ⁻¹⁰ мбар·л/с

Испытания промышленной арматуры по ISO 15848-1:2015

Оборудование

Многофункциональный испытательный прибор TEMES_{valve.teq}



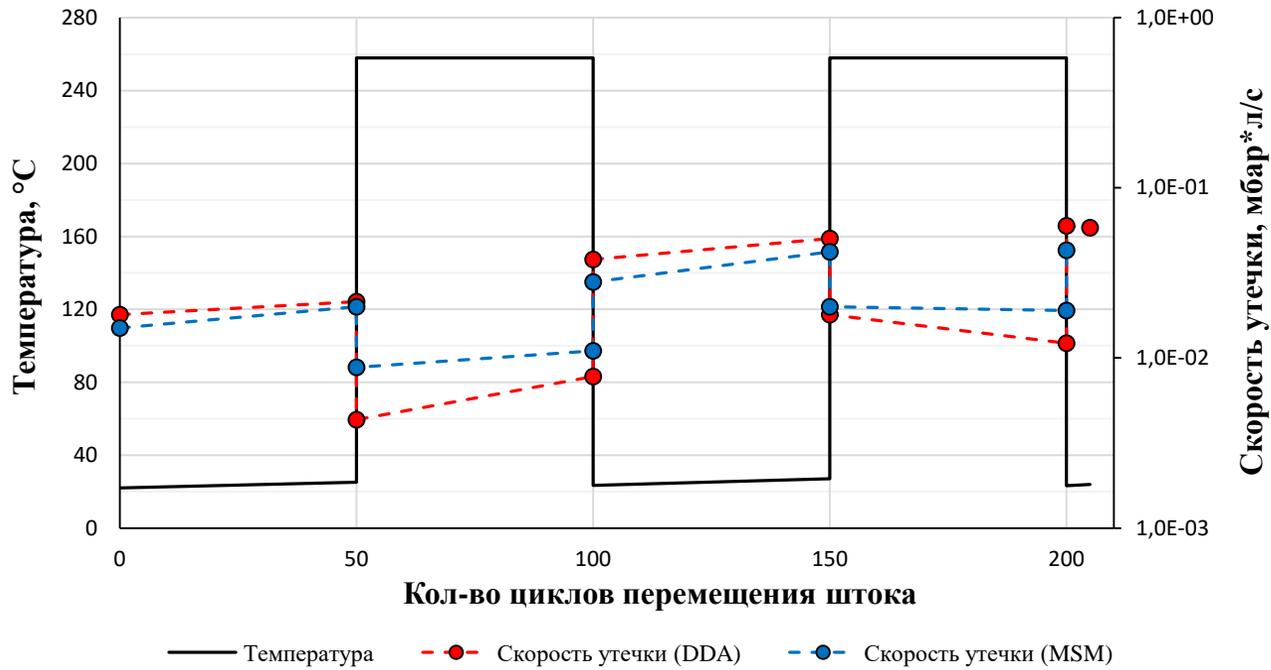
Внешний вид испытательного стенда

Характеристики:

Максимальное усилие поджатия	1330 кН
Мощность нагрева: резистивный	650 Вт
индукционный	5 кВт
Максимальная температура испытания	400 °С
Максимальное рабочее давление газа	200 бар
Максимальный момент вращения привода	150 Нм
Минимальный размер арматуры	DN 25/PN160
Максимальный размер арматуры	DN150/PN160 (DN250/PN25)
Максимальный вес арматуры	250 кг
Диапазон измерения скорости утечки газа: азот	от 10¹ до 10⁻⁴ мбар·л/с
гелий (с использованием масс-спектрометра)	от 10¹ до 10⁻¹⁰ мбар·л/с

Испытания промышленной арматуры по ISO 15848-1:2015

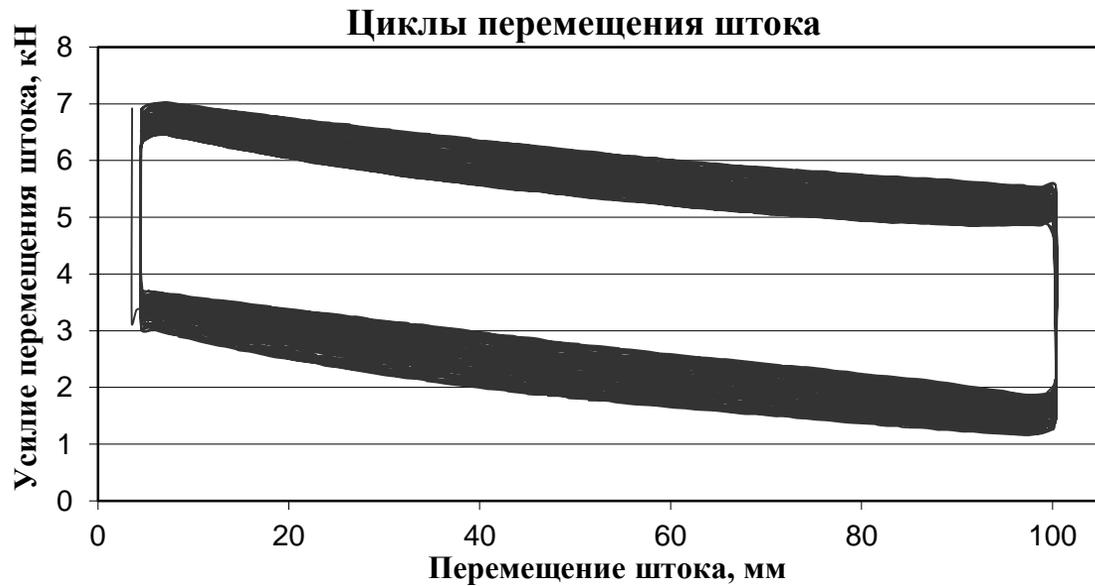
Результаты испытания



Шаг	Циклы	Температура	Скорость утечки (DDA)	Скорость утечки (MSM)
		°C	мбар*л/с	
1	0	22	1,80E-02	1,50E-02
2	50	25	2,14E-02	2,00E-02
3	50	258	4,33E-03	8,80E-03
4	100	258	7,76E-03	1,10E-02
5	100	23	3,80E-02	2,80E-02
6	150	27	5,04E-02	4,20E-02
7	150	258	1,80E-02	2,00E-02
8	200	258	1,22E-02	1,90E-02
9	200	23	5,98E-02	4,30E-02
10	205	24	5,83E-02	—

DDA – метод перепада давления

MSM – масс-спектрометр



Сравнение испытаний по ISO 15848, API 622 и API 624

	ISO 15848-1	ISO 15848-2	API 622	API 624
Актуальная версия	2015-06	2006-08	2011-10	2014-02
Предмет испытания	Арматура в сборе	Производство арматуры	Сальниковые уплотнения	Арматура в сборе
Требования к предварительным испытаниям	ISO 5208	ISO 15848-1	Отсутствуют	API 622
Испытательная среда	Гелий или метан	Гелий	Метан	Метан
Испытание уплотнения штока в	Клапане или стенде	Клапане	Стенде	Клапане
Испытательное давление	Номинальное давление для арматуры при заданной температуре по ASME B16.34	6 бар (87 psi)	0-600 psi	До 600 psi или до максимально допустимого давления при 500°F (260°C) по B16.34
Температура испытания	Варьируется в зависимости от класса	Комнатная	Комнатная и 500°F (260°C)	Комнатная и 500°F (260°C)
Кол-во циклов открытия/закрытия штока	Варьируется в зависимости от класса	5	1 510	310
Количество циклов нагрева/охлаждения	Варьируется в зависимости от класса	0	5	3
Допустимое кол-во поджатий сальникового уплотнения	Варьируется	0	1	0
Единицы измерения	мбар*л/с/мм	ppm	ppm	ppm
Критерии приемки	Варьируется в зависимости от класса	Варьируется в зависимости от класса	500 ppm	100 ppm

Испытания промышленной арматуры по ГОСТ 33257-2015 (ISO 5208:2008)

ГОСТ 33257-2015 (ISO 5208:2008*) Арматура трубопроводная. Методы контроля и испытаний

Стандарт подготовлен на основе ГОСТ Р 53402-2009, введен с 1 апреля 2016 г.

Стандарт распространяется на металлическую трубопроводную арматуру.

Испытательное оборудование: пневмогидравлический стенд



- Прочность и плотность материала корпусных деталей, сварных швов, находящихся под давлением испытательной среды
- Герметичность относительно внешней среды по уплотнению подвижных (сальник, сильфон) и неподвижных (прокладочных и т. п.) соединений
- Герметичность затвора
- Работоспособность – проверка функционирования

- Определение гидравлических характеристик
- Определение акустических характеристик
- Оценка и подтверждение показателей надежности и показателей безопасности

- Определение стойкости арматуры к климатическим, механическим и термическим воздействиям

Методы контроля и способы реализации

Метод контроля		Способ реализации метода	Испытательная среда
Жидкостный	гидростатический	Компрессионный	Вода
	манометрический		
Газовый	манометрический	Компрессионный	Воздух
	пузырьковый	Компрессионный	
		Обмыливанием	
	масс-спектрометрический	В гелиевой (вакуумной) камере	Гелий
Гелиевым щупом			
Обдувом гелием			

*Стандарт ISO 5208:2008 заменен на ISO 5208:2015

Гидравлические и пневматические испытания промышленной арматуры по ГОСТ 33257-2015 (ISO 5208:2008)

Давление среды при испытаниях

Испытание	PN арматуры	Тип арматуры	Вид испытания	Давление испытательной среды		
				вода	воздух	
Прочность материала корпусных деталей и сварных швов	Все PN	Все типы	Все виды	$P_{пр}$	$P_{пр}$	
Плотность материала корпусных деталей и сварных швов, а также на герметичность относительно внешней среды уплотнений подвижных и неподвижных соединений	До 0,6 МПа включ.			PN	Приемо-сдаточные	PN
	Св. 0,6 МПа		Периодические			0,6 МПа
Герметичность затвора	Все PN			Запорная и обратная	Все виды	-
		$1,1 PN$	PN			
		$1,1 \Delta P_{max}$	ΔP_{max}			
		Регулирующая	0,4 МПа			
			PN			
			ΔP_{max}			
Предохранительная	P_n					
	$0,9 \cdot P_{но}$					

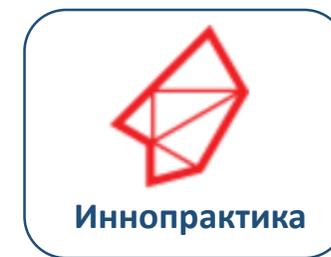
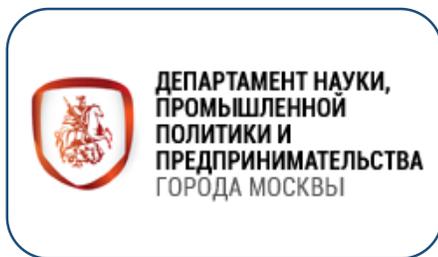
Класс герметичности затвора арматуры определяют в соответствии с **ГОСТ 9544-2015** Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов

Время выдержки арматуры под давлением

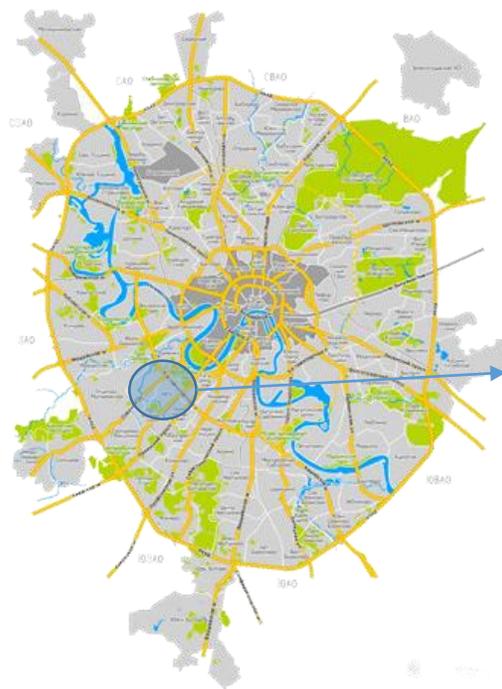
Испытание	Время выдержки арматуры при установившемся давлении перед началом контроля, с, не менее				Время контроля (измерения), с, не менее				
	до DN50 включ.	от DN65 до DN 150 включ.	от DN200 до DN 300 включ.	DN 350 и более	до DN50 включ.	от DN 65 до DN150 включ.	DN 200 и более		
Прочность и плотность материала корпусных деталей и сварных швов	15	60	120	300	Время, достаточное для осмотра после понижения давления до PN () (но не менее 60)				
Герметичность относительно внешней среды уплотнений подвижных и неподвижных соединений					60	Время, достаточное для осмотра (но не менее 60)			
Герметичность уплотнений подвижных соединений арматуры, имеющей верхнее уплотнение ЗЭл (РЭл)						60	Время, достаточное для осмотра (но не менее 60)		
Герметичность затвора					вода		воздух	60	120
								30*	60*

*Для класса герметичности "А" по ГОСТ 9544 время контроля утечки в затворе не менее 180 с.

Центр испытаний и сертификации функциональных материалов и технологий.



Центр испытаний, сертификации и стандартизации функциональных материалов и технологий



На территории научно-технологической долины «Воробьевы горы»
г. Москва, Ленинские горы д.1. стр. 11



ЛАБОРАТОРИИ ЦЕНТРА

Лаборатория механических и ресурсных испытаний композиционных и функциональных материалов

Задействует комплексы:

- Механических испытаний
- Ресурсных испытаний

Лаборатория испытаний узлов химического и энергетического оборудования

Включает комплексы:

- Герметичность статических узлов
- Герметичность динамических узлов

Лаборатория физико-химических методов исследования

Включает комплексы:

- Теплофизических испытаний
- Физико-химических испытаний
- Мобильный комплекс

Лаборатория ускоренных климатических испытаний

Задействует комплексы:

- Ускоренных климатических испытаний

Композиционные материалы:

- Испытания на растяжение, сжатие, изгиб в интервале температур от -70 до +140 °С.
- Испытания на межслоевой сдвиг, сдвиг в плоскости, сжатие после удара, прочность на растяжение/сжатие с открытым отверстием, прочность на сжатие с заполненным отверстием, изгиб образцов с V-образным надрезом, изгиб методом короткой балки, смятие и т.д.
- Испытания на многоцикловую усталость в интервале температур от -70 до +140 °С.
- Испытания на длительную прочность и ползучесть от комнатной температуры до +1100 °С.
- Испытания на ударную вязкость.
- Испытания влагонасыщенных материалов и материалов после климатических испытаний.
- Дефектоскопия.



Материалы и компоненты химического и энергетического оборудования и трубопроводов:

- Сжимаемость, восстанавливаемость, ползучесть, максимальное давление сжатия фланцевых уплотнений в диапазоне температур от комнатной до +600 °С.
- Герметичность и уровень утечек фланцевых уплотнений при разном усилии поджатия по азоту или гелию и давлении до 200 бар. Предел обнаружения утечки по гелию 5×10^{-12} мбар·л/с.
- Уровень утечек сальникового уплотнительного узла при температурах до +400 °С и давлении до 200 бар.
- Определение силы трения штока о комплект сальниковых уплотнений, коэффициента трения.
- Испытания на устойчивость к воздействию химических сред и повышенных температур.
- Климатические испытания.

Испытания на соответствие стандартам VDI 2200/2440, TA Luft, NOVTEC, ROTT, Shell, DIN 28090, DIN 28091, DIN 3535, DIN 52913, EN 13555,



Материалы и компоненты химического и энергетического оборудования и трубопроводов:

- Испытания запорной и регуливающей арматуры при температурах до +400 °С и давлении до 200 бар.
- Определение прочности и плотности материала корпусных деталей и сварных швов арматуры.
- Определение герметичности относительно внешней среды уплотнений подвижных и неподвижных соединений.
- Определение герметичности затвора.
- Определение герметичности после заданного количества циклов «открыть-закрыть».
- Определение ресурса.
- Климатические испытания.

Испытания в соответствии со стандартами EN ISO 15848-1:2015, DIN EN 12266-1:2012-06, VDI 2240:1971-06, API 622, ГОСТ Р 53402-2009, ГОСТ Р 27895-2013, ГОСТ 33257-2015



Защитные материалы и покрытия:

- Проведение ускоренных климатических испытаний, определение срока годности.
- Определение устойчивости по отношению к воздействию климатических факторов различных климатических зон.
- Определение устойчивости к воздействию светопогоды.
- Определение устойчивости к воздействию сернистого газа и соляного тумана.
- Определение устойчивости к воздействию низких температур.
- Определение сплошности покрытий.
- Определение адгезии покрытия к защищаемой поверхности до и после воздействия.
- Трибологические испытания.
- Трибокоррозионные испытания.

Испытания по ГОСТ 23750-79; ГОСТ 9.401, ГОСТ 9.045, ГОСТ Р ИСО 105-B06-2010, ГОСТ Р ИСО 105-B04-2010, ГОСТ 9733.2-91, ГОСТ 18956-73, ГОСТ ISO-3231 и др.

