
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО
13679—
2016

**ТРУБЫ СТАЛЬНЫЕ ОБСАДНЫЕ
И НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫЕ
ДЛЯ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Методы испытаний резьбовых соединений

ISO 13679:2002
Petroleum and natural gas industries —
Procedures for testing casing and tubing connection
(IDT)

Издание официальное



Москва
Стандартинформ
2016

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН подкомитетом ПК 7 «Трубы нарезные нефтяного сортамента» Технического комитета ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны» на основе аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4, который выполнен СПФ «Интерсервис»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 февраля 2016 г. № 78-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 13679:2002 «Нефтяная и газовая промышленность — Процедуры для испытания соединений обсадных и насосно-компрессорных труб» (ISO 13679:2002 «Petroleum and natural gas industries — Procedures for testing casing and tubing connection»).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5 (подраздел 3.5).

Применяемые в международном стандарте ИСО 13679:2002 термины заменены на применяемые в национальной практике: «интегральное соединение» — на «раструбное соединение», термин «box», обозначающий элемент соединения с внутренней резьбой, — на «раструбный элемент».

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины, определения, обозначения и сокращения	2
3.1 Термины и определения	2
3.2 Обозначения	4
3.3 Сокращения	5
4 Общие требования	6
4.1 Геометрические параметры соединения, область испытательных нагрузок и эксплуатационные характеристики соединения	6
4.2 Контроль качества	7
5 Общие требования к испытаниям	7
5.1 Классы испытаний	7
5.2 Матрица испытаний	9
5.3 Программа испытаний	12
5.4 Требования к калибровке и аккредитации	13
5.5 Предварительные испытания	14
5.6 Испытания для определения свойств материала	14
5.7 Свинчивание и развинчивание	15
5.8 Выявление утечек при внутреннем давлении	16
5.9 Устройства для выявления утечек при испытании внутренним давлением	17
5.10 Выявление утечек при внешнем давлении	22
5.11 Сбор данных и методы испытаний	24
5.12 Термоциклические испытания	26
6 Подготовка образцов соединений к испытаниям	28
6.1 Общие цели испытания соединений	28
6.2 Идентификация и маркировка образцов соединений	29
6.3 Подготовка образцов соединений	30
6.4 Механическая обработка образцов соединений	31
6.5 Предельные отклонения размеров при механической обработке	32
6.6 Требования к предельным отклонениям размеров при механической обработке	32
6.7 Упорный торец с канавками	32
7 Процедуры испытаний	33
7.1 Основные положения	33
7.2 Испытания на свинчивание-развинчивание	36
7.3 Испытания при комбинированных нагрузках	37
7.4 Испытания при предельных нагрузках	48
7.5 Варианты предельных нагрузок (рисунки 18 и 19)	50
8 Критерии приемки	53
8.1 Испытания на свинчивание и развинчивание	53
8.2 Испытания в области испытательных нагрузок	53
8.3 Испытания при предельных нагрузках	54
9 Отчеты об испытаниях	54
Приложение А (обязательное) Перечень геометрических параметров и эксплуатационных характеристик соединения	55

ГОСТ Р ИСО 13679—2016

Приложение В (справочное) Область испытательных нагрузок и предельные нагрузки для соединений	62
Приложение С (обязательное) Формы для регистрации данных	77
Приложение D (обязательное) Полный отчет об испытаниях соединения	106
Приложение E (обязательное) Сводный отчет об испытаниях соединения	108
Приложение F (справочное) Определение интервала нагрузок, создаваемых нагрузочным устройством	110
Приложение G (справочное) Замечания по поводу интерполяции и экстраполяции	111
Приложение H (справочное) Испытание соединений специального назначения	113
Приложение I (справочное) Обоснование процедур испытаний	117
Приложение J (обязательное) Независимые испытания уплотнений в соединениях с уплотнением металл-металл и упругим уплотнением	119
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам)	125
Библиография	126

Введение

Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 13679:2002, который был разработан на основе стандарта API RP 5C5 и запатентованных методик испытаний резьбовых соединений.

Международный стандарт ИСО 13679:2002 был подготовлен Подкомитетом ПК 5 «Обсадные, насосно-компрессорные и бурильные трубы» Технического комитета ИСО/ТК 67 «Материалы, оборудование и морские конструкции для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности».

Проверка испытательных и предельных нагрузок для соединения имеет решающее значение при проектировании обсадных и насосно-компрессорных труб.

Для проверки испытательных и предельных нагрузок проводят испытание соединения при предельных значениях рабочих параметров. Данное испытание гарантирует, что вся продукция, которая будет эксплуатироваться при этих параметрах, будет обладать такой же работоспособностью, как и продукция, которая подвергалась испытаниям. Эксплуатационные параметры резьбового соединения включают предельные отклонения размеров, механические свойства, обработку поверхности, крутящий момент свинчивания, тип и количество резьбовой смазки. В настоящем стандарте рассматриваются известные предельные отклонения размеров стандартных соединений. Определение неблагоприятных предельных отклонений размеров нестандартных соединений требует анализа конструкции.

Настоящий стандарт состоит из пяти основных частей. Испытания проводятся в соответствии с разделами 4—8 на основе данных, предоставленных изготовителями и указанных в приложении А, и (или) расчетов, приведенных в приложении В, и оформляются в виде отчетов, формы которых приведены в приложении С. В приложении D указана информация, которую необходимо указать в полном отчете по испытаниям. В приложении E приведены расчеты для построения 100 % области нагружения для тела трубы и определения точек испытательной нагрузки. В приложении F приведен пример калибровки нагрузочного устройства. В приложении G приведена возможная оценка качества серии изделий с резьбовым соединением, а в приложении H приведены указания по проведению дополнительных испытаний для специальных условий применения. В приложении I приведено обоснование разработки настоящего стандарта. В приложении J перечислены требования к соединениям, имеющим уплотнение металл-металл и упругое уплотнение, которые испытываются отдельно.

Дополнительные испытания проводят для специальных условий применения соединений, которые не оцениваются посредством испытаний, описанных в настоящем стандарте. Заказчик и изготовитель должны согласовать применение соединения в таких условиях с учетом определенных ограничений.

Рекомендуется проведение испытаний под наблюдением представителей заказчика и (или) инспекции третьей стороны.

В настоящем стандарте рассматриваются испытания соединений при наиболее часто встречающихся условиях и не рассматриваются все возможные условия, например не рассматривается эксплуатация в агрессивной среде, которая может повлиять на рабочие характеристики соединения.

**ТРУБЫ СТАЛЬНЫЕ ОБСАДНЫЕ И НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫЕ ДЛЯ НЕФТЯНОЙ
И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ****Методы испытаний резьбовых соединений**

Casing and tubing steel pipes for oil and gas industry. Procedures of thread connection testing

Дата введения — 2016—10—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает минимальный перечень методов проектных испытаний и приемочные критерии испытаний для соединений обсадных и насосно-компрессорных труб, используемых в нефтяной и газовой промышленности. Испытания физических свойств соединений являются частью процесса проектной проверки и предоставляют объективные доказательства соответствия соединения тем испытательным и предельным нагрузкам, которые указаны изготовителем.

Стандарт устанавливает четыре класса испытаний по их тяжести.

Настоящий стандарт не предоставляет статистическую базу для анализа рисков.

Настоящий стандарт рассматривает только три из пяти возможных видов первичных нагрузок, действующих в скважинах на обсадные и насосно-компрессорные трубы: давление текучей среды (внутреннее и (или) внешнее), осевое усилие сжатия или растяжения; изгиб (продольный изгиб и (или) изгиб от отклонения скважины), а также кручение. В стандарте не рассматриваются нагрузки кручения при вращении и неосесимметричные нагрузки (при точечном, линейном или поверхностном контактах).

Настоящий стандарт определяет испытания, которые необходимо провести для определения склонности к заеданию, уплотнительных свойств и конструктивной целостности соединений обсадных и насосно-компрессорных труб.

В стандарте рассматриваются условия применения обсадных и насосно-компрессорных труб без учета диаметров таких труб.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты¹⁾:

ИСО 3183-1 Нефтяная и газовая промышленность. Стальные трубы для трубопроводных транспортных систем. Технические условия поставки. Часть 1. Трубы класса требований А (ISO 3183-1, Petroleum and natural gas industries — Steel pipe for pipelines — Technical delivery conditions — Part 1: Pipes of requirements class A)²⁾

ИСО 3183-2 Нефтяная и газовая промышленность. Стальные трубы для трубопроводных транспортных систем. Технические условия поставки. Часть 2. Трубы класса требований В (ISO 3183-2, Petroleum and natural gas industries — Steel pipe for pipelines — Technical delivery conditions — Part 2: Pipes of requirements class B)²⁾

¹⁾ Для датированных ссылок используют только указанное издание стандарта. В случае недатированных ссылок — последнее издание стандарта, включая все изменения и поправки.

²⁾ Данный стандарт отменен с заменой на ИСО 3183—2012 «Нефтяная и газовая промышленность. Трубы стальные для систем трубопроводного транспорта».

ИСО 3183-3 Нефтяная и газовая промышленность. Стальные трубы для трубопроводных транспортных систем. Технические условия поставки. Часть 3. Трубы класса требований С (ISO 3183-3, Petroleum and natural gas industries — Steel pipe for pipelines — Technical delivery conditions — Part 3: Pipes of requirements class C)¹⁾

ИСО 10400:1993 Промышленность нефтяная и газовая. Формулы и расчеты по определению характеристик обсадных, насосно-компрессорных, бурильных и трубопроводных труб (ISO 10400, Petroleum and natural gas industries; formulae and calculation for casing, tubing, drill pipe and line pipe properties).

ИСО 10422 Промышленность нефтяная и газовая. Нарезание, калибрование и производственный контроль резьбы обсадных, насосно-компрессорных труб и трубопроводов. Технические условия (ISO 10422, Petroleum and natural gas industries; threading, gauging, and thread inspection of casing, tubing and line pipe threads; specification)²⁾

ИСО 11960 Нефтяная и газовая промышленность. Стальные трубы для использования в качестве обсадных и насосно-компрессорных труб для скважин (ISO 11960, Petroleum and natural gas industries — Steel pipes for use as casing or tubing for wells)

ИСО 13680 Промышленность нефтяная и газовая. Трубы бесшовные из коррозионно-стойких сплавов для применения в качестве обсадных, насосно-компрессорных и соединительных труб. Технические условия поставки (ISO 13680, Petroleum and natural gas industries — Corrosion-resistant Alloy seamless tubes for use as casing, tubing and coupling stock — Technical delivery conditions)

API Bull 5C3 Бюллетень по формулам и расчетам свойств обсадных, насосно-компрессорных, бурильных и трубопроводных труб, используемых в качестве обсадных и насосно-компрессорных труб, и таблиц эксплуатационных свойств обсадных и насосно-компрессорных труб (API Bull 5C3, Bulletin on Formulas and Calculation for Casing, Tubing, Drill Pipe, and Pipe Properties)

API Spec 5B Требования к нарезанию, калибровке и контролю резьбы обсадных, насосно-компрессорных и трубопроводных труб (API Spec 5B, Specification for Threading, Gauging and Thread Inspection of Casing, Tubing, and Line Pipe Threads)

API Spec 5L Требования к трубопроводным трубам (API Spec 5L, Specification for Line Pipe)

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **диаграмма нагружения осевое давление — нагрузка** (axial pressure load diagram): График зависимости давления от осевой нагрузки, характеризующий испытательную нагрузку на соединение и (или) трубу или предельную нагрузку.

3.1.2 **заедание** (galling): Холодное сваривание контактных поверхностей, сопровождаемое отрывом материала при дальнейшем скольжении или вращении.

Примечания

1 Заедание бывает следствием скольжения металлических поверхностей под большими нагрузками. Может быть вызвано недостаточной смазкой контактирующих поверхностей. Цель нанесения смазки — свести к минимуму контакт металлических поверхностей и обеспечить их беспрепятственное скольжение. Другие способы предотвращения заедания — снижение давления или уменьшение длины траектории скольжения.

2 Различают несколько степеней заедания в зависимости от отчета и необходимого ремонта (см. 3.1.5, 3.1.17, 3.1.20).

3.1.3 **исходная заготовка** (mother joint): Труба или трубная заготовка для муфт, от которой отрезают патрубки для изготовления образцов для испытаний.

3.1.4 **колонна труб** (pipe string): Несколько труб, соединенных между собой.

3.1.5 **легкое заедание** (light galling): Заедание, последствия которого могут быть устранены при помощи шлифовальной шкурки.

3.1.6 **многоэлементное уплотнение** (multiple seals): Система уплотнений, состоящая из двух или более независимых элементов, каждый элемент которой является самостоятельным уплотнением.

¹⁾ Данный стандарт отменен с заменой на ИСО 3183—2012 «Нефтяная и газовая промышленность. Трубы стальные для систем трубопроводного транспорта».

²⁾ Данный стандарт отменен без замены.

3.1.7 область испытательных нагрузок (test load envelope): Область, ограниченная значениями нагрузок (осевой нагрузки, давления, изгибающей нагрузки) и температуры, в пределах которых соединение должно быть испытано в соответствии с настоящим стандартом.

Примечание — Изготовитель несет ответственность за выбор области испытательных нагрузок для изготавливаемых им соединений (см. 4.1).

3.1.8 образец соединения (connection specimen): Два отрезка труб, соединенные между собой.

Примечание — Образец муфтового соединения состоит из отрезков концов труб с наружной резьбой (ниппельных элементов), соединенных муфтой с внутренней резьбой (раструбным элементом), образец раструбного соединения — из отрезков конца трубы с наружной резьбой (ниппельного элемента) и конца трубы с внутренней резьбой (раструбного элемента).

3.1.9 овальность уплотнения (seal ovality): Разность максимального диаметра уплотнения и минимального диаметра уплотнения, деленная на средний диаметр уплотнения и умноженная на 100.

Примечание — Овальность уплотнения выражается в процентах.

3.1.10 одноэлементное уплотнение (single seal): Одно уплотнение или несколько уплотнений, функции которых нельзя разделить физически.

3.1.11 партия (lot): Трубы одного размера, одной группы прочности, из стали одной плавки, которые подвергались термообработке в течение одного непрерывного процесса или в одной садке.

3.1.12 партия изделий с резьбой (thread lot): Изделия, изготовленные на резьбонарезном оборудовании в течение непрерывного производственного цикла, который не прерывался значительными поломками инструмента или неисправностями оборудования (исключая износ или незначительные поломки инструмента), заменой держателя (кроме черновой расточной оправки) или любыми другими сбоями в работе резьбонарезного оборудования или контроле калибрами.

3.1.13 патрубок (rip joint): Отрезок трубы или трубной заготовки для муфт, может быть с резьбой.

3.1.14 предельная нагрузка (limit load): Максимальное значение сочетания нагрузок (осевой нагрузки и (или) давления), которое определяет условия разрушения соединения, или максимальная нагрузка, вызывающая пластическую деформацию (например продольный изгиб) перед полным разрушением соединения (отказом).

3.1.15 разрушающая нагрузка (failure load): Нагрузка, при которой тело трубы или соединение полностью разрушаются в виде выхода соединения из сопряжения, растрескивания, значительной пластической деформации (например вспучивания или смятия) или значительной потери герметичности.

3.1.16 уплотнение по резьбе (thread seal): Уплотнение или система уплотнений, создающие герметичность соединения за счет точности профиля резьбы и резьбовой смазки, нанесенной на поверхность резьбы.

3.1.17 сильное заедание (severe galling): Заедание, последствия которого не могут быть устранены с помощью надфиля и шлифовальной шкурки.

3.1.18 соединение (connection): Резьбовое соединение двух концов труб с помощью муфты (муфтовое соединение) или двух концов труб без помощи муфты (раструбное соединение).

3.1.19 температура окружающей среды, комнатная температура (ambient temperature): Фактическая температура в помещении лаборатории при отсутствии остаточного нагрева образцов соединений после предшествующих термических испытаний.

3.1.20 умеренное заедание (moderate galling): Заедание, последствия которого могут быть устранены при помощи надфиля и шлифовальной шкурки.

3.1.21 уплотнение (seal): Элемент, препятствующий проникновению испытательной среды.

3.1.22 уплотнение металл-металл (metal-to-metal seal): Уплотнение или система уплотнений, создающие герметичность соединения за счет высокого контактного напряжения сопрягаемых металлических поверхностей.

Примечание — Резьбовая смазка может иметь как положительное так и отрицательное влияние на эксплуатационные характеристики уплотнения металл-металл.

3.1.23 упругое уплотнение (resilient seal): Уплотнение или система уплотнений, создающие герметичность соединения при помощи уплотнительных колец, установленных внутри соединения (например, в профиле резьбы, на уплотнительном участке и т. д.).

3.1.24 утечка (leak): Любое вытеснение текучей среды в измерительной системе во время выдержки соединения под давлением.

3.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

- A_i — площадь сечения, рассчитанная по внутреннему диаметру трубы;
- A_o — площадь сечения, рассчитанная по наружному диаметру трубы;
- A_p — площадь поперечного сечения трубы;
- C — осевое усилие сжатия;
- D — заданный наружный диаметр трубы;
- D_i — внутренний диаметр;
- D_o — наружный диаметр;
- D_{ieg} — эффективная степень искривления, в градусах на 30 м;
- E_r — абсолютная погрешность калибровки нагрузочного устройства;
- $E_{гр}$ — относительная погрешность калибровки нагрузочного устройства, в процентах;
- F — усилие разрушения;
- F_a — осевое усилие растяжения или сжатия;
- F_b — эквивалентное осевое усилие изгиба;
- F_c — заявленная прочность образца соединения при сжимающей нагрузке;
- F_f — фактическое осевое усилие растяжения или сжатия;
- F_i — номинальное осевое усилие растяжения или сжатия;
- F_t — заявленная прочность соединения при частичной растягивающей нагрузке или разрушающей нагрузке;
- F_y — заявленная прочность соединения при растягивающей нагрузке, соответствующей началу текучести;
- I — момент инерции;
- K_c — коэффициент эффективности стойкости соединения к сжимающим нагрузкам;
- K_{pi} — коэффициент эффективности стойкости соединения к внутреннему давлению;
- K_{pe} — коэффициент эффективности стойкости соединения к внешнему давлению;
- K_l — коэффициент эффективности стойкости соединения к растягивающим нагрузкам;
- k_i, k_o — геометрические переменные;
- L_A — длина ниппельного элемента А от торца муфты (или торца раструбного элемента) до торцевой заглушки или начала крепления;
- L_B — длина ниппельного элемента В от торца муфты (или торца раструбного элемента) до торцевой заглушки или начала крепления;
- L_C — длина муфты или раструбного соединения;
- L_{pi} — минимальная межпорная длина элемента соединения;
- M — изгибающий момент;
- M_o — сверхизгибающий момент;
- p_c — давление смятия по ИСО/ТР 10400 для наружного диаметра, толщины стенки и фактического предела текучести образца;
- p_i — внутреннее давление;
- p_{ib} — внутреннее давление с изгибающей нагрузкой;
- p_{ih} — высокое внутреннее давление;
- p_{in} — нормируемое внутреннее испытательное давление;
- p_{il} — низкое внутреннее давление;
- p_{iyp} — внутреннее давление начала текучести в теле трубы по ИСО/ТО 10400;
- p_o — внешнее испытательное давление;
- p_{ob} — внешнее давление с изгибающей нагрузкой;

- p_{on} — нормируемое внешнее испытательное давление;
 p_{tc} — давление при повышенной температуре при термоциклическом испытании
 p_y — давление, вызывающее на внутренней поверхности напряжение S_{yt} ;
 q_{ac} — фактическая скорость утечки;
 q_o — наблюдаемая скорость утечки;
 R — радиус кривизны оси тела трубы;
 S_t — предел прочности ниппельного или раструбного элементов, равный 100 % минимального предела прочности при растяжении исходной заготовки (при комнатной или повышенной температуре);
 S_y — предел текучести ниппельного или раструбного элементов, равный 100 % минимального предела текучести исходной заготовки (при комнатной или повышенной температуре);
 S_{yt} — напряжение, равное 90 % S_y для испытаний серий А и В, 80 %, 90 % и 95 % для серии С;
 t — заданная толщина стенки трубы;
 t_a — минимальная толщина стенки образца;
 t_{ac} — фактическая минимальная толщина стенки трубы;
 T — осевое усилие растяжения;
 η_{lds} — эффективность системы обнаружения утечек;
 σ — напряжение;
 σ_a — осевое напряжение без изгиба;
 σ_{ab} — осевое напряжение с изгибом;
 σ_{ao} — осевое напряжение со сверхкритическим изгибом;
 σ_b — осевое напряжение, вызванное изгибом;
 σ_{bo} — осевое напряжение, вызванное сверхкритическим изгибом;
 σ_c — предел текучести в осевом направлении при сжатии, если оно присутствует, в обратном случае предел текучести в осевом направлении при растяжении;
 σ_h — окружное (тангенциальное) напряжение;
 σ_{ho} — окружное (тангенциальное) напряжение по наружному диаметру;
 σ_r — радиальное (нормальное) напряжение;
 σ_{ro} — радиальное (нормальное) напряжение по наружному диаметру;
 σ_t — предел текучести в поперечном направлении при растяжении, если оно присутствует, в обратном случае предел текучести в осевом направлении при растяжении;
 σ_{tc} — определенный предел текучести при сжатии, если оно присутствует, в обратном случае предел текучести в осевом направлении при растяжении;
 σ_v — эквивалентное напряжение по Мизесу;
 σ_y — предел текучести в осевом направлении при растяжении.

3.3 Сокращения

В настоящем стандарте приняты следующие сокращения:

- CAL — уровень применения соединения, для которого при испытании получены удовлетворительные результаты;
 CCS — критическое поперечное сечение;
 CCW — направление против хода часовой стрелки;
 CW — направление по ходу часовой стрелки;
 CEPL — нагрузка (растяжение), возникающая под действием внутреннего давления на элемент соединения с торцевой заглушкой;
 CEYP — давление, соответствующее началу текучести материала элемента соединения с торцевой заглушкой;

- CRA — коррозионно-стойкие стали и сплавы;
- EUE — элемент с наружной высадкой и резьбовым соединением EUE;
- FMU — образец соединения в состоянии после окончательного свинчивания;
- LL — предельная нагрузка;
- LP — точка приложения нагрузки;
- LP1 — вариант испытания предельной нагрузкой 1;
- LP2 — вариант испытания предельной нагрузкой 2;
- LP3 — вариант испытания предельной нагрузкой 3;
- LP4 — вариант испытания предельной нагрузкой 4;
- LP5 — вариант испытания предельной нагрузкой 5;
- LP6 — вариант испытания предельной нагрузкой 6;
- LP7 — вариант испытания предельной нагрузкой 7;
- LP8 — вариант испытания предельной нагрузкой 8;
- M/B — свинчивание-развинчивание;
- MBG — испытание образца на заедание при свинчивании-развинчивании;
- MC — механический цикл;
- MT — материал пробы для испытаний;
- MTC — соединение с уплотнением металл-металл;
- MTM — уплотнение металл-металл;
- MU — свинчивание;
- OCTG — трубные изделия нефтяного сортамента;
- PTFE — политетрафторэтилен;
- RS — упругое уплотнение;
- SRG — проточка под уплотнительное кольцо;
- TC — термический цикл;
- TLE — область испытательных нагрузок;
- TSC — соединение с уплотнением по резьбе;
- VME — эквивалентное напряжение по Мизесу.

4 Общие требования

4.1 Геометрические параметры соединения, область испытательных нагрузок и эксплуатационные характеристики соединения

Изготовитель должен представить геометрические параметры и эксплуатационные характеристики соединения с указанием уровня применения соединения и его свойств в виде прочности на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, выдерживаемого внутреннего давления, внешнего давления. См. перечень геометрических параметров соединения и данные в таблице 1. Изготовитель должен представить чертеж представительного поперечного сечения соединения. Он должен также представить в графической форме область испытательных нагрузок (график VME) и количественные значения предельных нагрузок. Для получения области испытательных нагрузок для соединения и расчета испытательных нагрузок следует использовать собственный метод расчета, применяемый изготовителем. Можно также использовать данные о работоспособности или метод, изложенный в приложении В.

Приложение В является средством, при помощи которого изготовитель или заказчик может оценить область испытательных нагрузок, используя для этого модель работы соединения, основанную на работоспособности отдельных критических сечений соединения.

Изготовитель должен установить по возможности полнее предельные нагрузки для каждого соединения. Заказчик может также произвести независимую оценку предельных нагрузок. Предельные нагрузки должны быть больше, чем область испытательных нагрузок.

Очень важно, чтобы комбинированная несущая способность соединения, выраженная в виде области испытательных нагрузок, была близка к условиям, когда чувствительность соединения к главной нагрузке меняется с давления на осевую силу и (или) изгиб и наоборот. Аналитические и эмпирические уравнения для расчета соединений должны устанавливать область испытательных нагрузок для всех комбинаций давления и осевого усилия и для изгиба (если необходимо). Эти уравнения должны быть также применимы для расчета испытательных нагрузок исходя из фактического предела текучести и геометрических параметров образца соединения и должны учитывать другие требования к прочности конструкции и герметичности соединения. Форма уравнений должна облегчать расчет давления при заданной осевой нагрузке с учетом или без учета изгиба.

Поскольку конструкция соединений обсадных и насосно-компрессорных труб и их эксплуатационные характеристики могут меняться в широких пределах, невозможно установить общее требование к минимальному числу значений для расчета в табличном формате. Тем не менее, предполагается, что для определения испытательных и предельных нагрузок будет достаточно около 10 комбинаций нагрузок от давления и осевого усилия на квадрант. Если конструкция соединения отличается изменениями в чувствительности к нагрузкам, то необходимо предусмотреть учет нагрузок, при которых меняется чувствительность.

При расчете несущей способности тела трубы и соединения цель настоящего стандарта заключается в том, чтобы испытание образца соединения проводилось по возможности при наиболее высокой нагрузке или комбинации нагрузок, допустимых с точки зрения безопасности.

В том случае, когда непредвиденные обстоятельства приведут к отклонению от установленных требований или процедур, такие отклонения должны быть точно указаны в документации.

4.2 Контроль качества

Все процедуры контроля качества при изготовлении образцов соединений для испытаний должны быть документированы и должны соответствовать процедурам, используемым при изготовлении соединений для реальной эксплуатации в скважине. Изготовитель должен обеспечить изготовление соединений для испытаний по настоящему стандарту той же конструкции, с теми же размерами и предельными отклонениями размеров (см. раздел 6), что и соединения для реальной эксплуатации в скважине. Изготовитель соединений должен оформить сертификат соответствия, например по [1]. Изготовитель должен разработать план контроля процесса, включающий номер процедуры или номер чертежа, а также уровни пересмотра всех относящихся вторичных документов (на изготовление, калибровку измерительного инструмента, процедуру измерения, поверхностную обработку и т. п.). В процессе изготовления образцов соединений для испытаний должны применяться эти процедуры и любые другие, которые будут сочтены необходимыми для обеспечения соответствия продукции требованиям эксплуатации в полевых условиях (см. А.4).

5 Общие требования к испытаниям

5.1 Классы испытаний

5.1.1 Принципы классификации

Данные о работоспособности соединений получают в ходе испытаний. Если соединение выдержало испытания, это означает, что оно соответствует устанавливаемому уровню применения соединения. Если соединение не выдержало некоторых или всех испытаний, это может привести либо к пересмотру конструкции соединения, либо к пересмотру испытательных или предельных нагрузок. В первом случае испытания необходимо повторить. Во втором случае необходимо повторить испытания с неудачным результатом, так, чтобы они соответствовали пересмотренной комбинации нагрузок.

Устанавливаются четыре класса испытаний (четыре уровня применения) соединений, соответствующие возрастающим механическим нагрузкам при эксплуатации соединений обсадных и насосно-компрессорных труб. Повышение сложности испытаний по разным классам достигается увеличением числа испытываемых параметров и числа образцов соединения.

Классы испытаний не охватывают всех возможных условий эксплуатации. В настоящем стандарте не рассматривается присутствие коррозионной среды, которая может существенно повлиять на работоспособность соединения.

Пользователь настоящего стандарта должен сам установить требуемый уровень применения соединения исходя из конкретных требований эксплуатации. Специалисты, использующие соединение,

должны знать установленный уровень его применения, область испытательных нагрузок и предельные нагрузки. Установлены следующие уровни применения соединений CAL:

а) Уровень применения соединений IV (восемь образцов) — особо тяжелый уровень.

Соединения уровня CAL IV предназначены для сборки обсадных и насосно-компрессорных труб, служащих для добычи и нагнетания рабочей среды на газовых скважинах. Процедуры испытаний этого уровня предусматривают нагружение соединений циклическими нагрузками внутренним давлением, внешним давлением, растяжением, сжатием, изгибом, интенсивными термическими нагрузками и сочетанием термического воздействия, давления и растяжения при суммарном воздействии газа под давлением при температуре 180 °С в течение около 50 ч. Испытания при предельных нагрузках до разрушения проводят во всех четырех квадрантах диаграммы осевое усилие — давление.

б) Уровень применения соединений III (шесть образцов) — тяжелый уровень.

Соединения уровня CAL III предназначены для сборки обсадных и насосно-компрессорных труб, служащих для добычи и нагнетания рабочей среды на газовых и нефтяных скважинах. Процедуры испытаний этого уровня предусматривают нагружение соединений циклическими нагрузками внутренним давлением, внешним давлением, растяжением и сжатием. Изгиб не является обязательной нагрузкой при испытаниях соединений этого уровня. Испытания термическими нагрузками являются менее тяжелыми, чем для уровня IV, и предусматривают сочетание термического воздействия, давления и растяжения при суммарном воздействии газа под давлением при температуре 135 °С в течение 5 ч. Испытания при предельных нагрузках до разрушения проводят во всех четырех квадрантах диаграммы осевое усилие — давление.

в) Уровень применения соединений II (четыре образца) — средний уровень.

Соединения уровня CAL II предназначены для сборки обсадных и насосно-компрессорных труб, защитных обсадных труб, служащих для добычи и нагнетания рабочей среды на газовых и нефтяных скважинах, при ограниченном воздействии высокого внешнего давления. Процедуры испытаний этого уровня предусматривают нагружение соединений циклическими нагрузками внутренним давлением, растяжением и сжатием. Изгиб не является обязательной нагрузкой при испытаниях соединений этого уровня, а нагружение внешним давлением не проводится. Испытания термическими нагрузками и сочетанием термического воздействия, давления и растяжения такие же, как для уровня III. Испытания при предельных нагрузках до разрушения проводят при воздействии внутреннего давления и осевой нагрузки.

г) Уровень применения соединений I (три образца) — легкий уровень.

Соединения уровня CAL I предназначены для применения на нефтяных скважинах. Процедуры испытаний этого уровня предусматривают нагружение соединений циклическими нагрузками внутренним давлением, растяжением и сжатием с использованием для испытаний жидкой среды. Изгиб не является обязательной нагрузкой при испытаниях соединений этого уровня, а нагружение внешним давлением не проводится. Испытания проводят при комнатной температуре. Испытания при предельных нагрузках до разрушения проводят в двух квадрантах диаграммы осевое усилие — давление.

5.1.2 Предыдущие испытания

Результаты испытаний соединений, проводившихся до внедрения настоящего стандарта, могут быть использованы в рамках процесса верификации конструкции или испытаний на применимость при условии, что стороны, вступающие в соглашение на основе настоящего стандарта, придут к соглашению о том, что такие испытания проводились по существу в соответствии с техническими и документальными требованиями настоящего стандарта и дали сопоставимые результаты.

5.1.3 Сокращенные испытания и отклонения от условий испытания

Некоторые из испытаний по настоящему стандарту могут оказаться достаточными для подтверждения применимости соединений для конкретных условий эксплуатации без проведения всей программы испытаний. Такие случаи могут иметь место при наличии соответствующего опыта и результатов других испытаний, например соединений другого размера. Допускаются отклонения от установленных испытаний при соблюдении следующих условий:

- а) планируемые отклонения заранее четко оговорены в документации;
- б) отклонения точно согласованы между заинтересованными сторонами;
- в) отклонения четко указаны в сводном отчете и в полном отчете по испытаниям.

Вопросы аттестации серии изделий и использования при этом интерполяции и экстраполяции рассмотрены в приложении G. По согласованию могут быть установлены более строгие требования к приемке, к чувствительности и (или) к представлению более обширных информационных данных.

5.2 Матрица испытаний

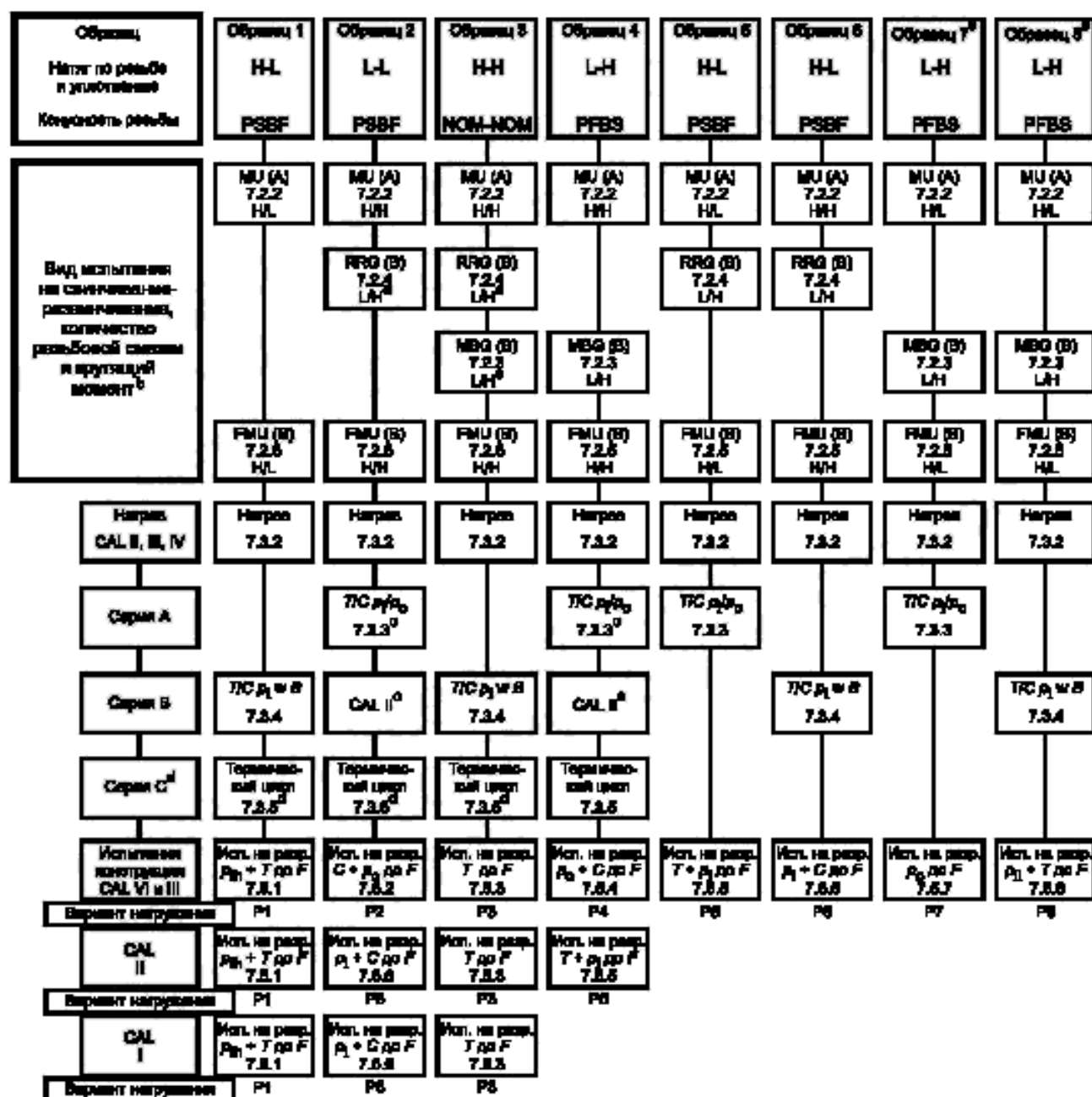
В таблице 1 приведены матрица, связывающая уровень применения соединения и общее число образцов соединения, их идентификационные номера и виды проводимых испытаний. На рисунке 1 приведено графическое представление программы испытаний. Образцы соединения могут испытываться сериями из нескольких образцов, собранных в одной компоновке. Однако испытательные нагрузки должны быть установлены по самому высокому уровню, соответствующему наиболее прочному образцу соединения.

Таблица 1 — Матрица испытаний, серии испытаний и идентификационные номера образцов соединений

Уровень применения соединения (CAL)	Серия А (см. 7.3.3) 4 квадранта с механическими циклами	Серия В (см. 7.3.4) 2 квадранта с механическими циклами	Серия С Термические циклы (см. 7.3.5). Циклы термического воздействия, давления и растяжения	Температура нагрева и термического цикла	Среда для испытания внутренним давлением (внешняя среда — жидкая среда)
CAL IV	При комнатной температуре	Требуется изгиб при комнатной температуре	5 механических циклов при комнатной температуре. 50 термических циклов с воздействием давления и растяжения ^а . 5 механических циклов при повышенной температуре. 50 термических циклов с воздействием давления и растяжения ^а . 5 механических циклов при комнатной температуре	180 °С	Газ
Общее число образцов — 8	Образцы 2, 4, 5, 7	Образцы 1, 3, 6, 8	Образцы 1, 2, 3, 4		
CAL III	При комнатной температуре	Изгиб при комнатной температуре необязателен	5 механических циклов при комнатной температуре. 5 термических циклов с воздействием давления и растяжения. 5 механических циклов при повышенной температуре. 5 термических циклов с воздействием давления и растяжения. 5 механических циклов при комнатной температуре	135 °С	Газ
Общее число образцов — 6	Образцы 2, 4, 5	Образцы 1, 3, 6	Образцы 1, 2, 3, 4		

Окончание таблицы 1

Уровень применения соединения (CAL)	Серия А (см. 7.3.3) 4 квадранта с механическими циклами	Серия В (см. 7.3.4) 2 квадранта с механическими циклами	Серия С Термические циклы (см. 7.3.5). Циклы термического воздействия, давления и растяжения	Температура нагрева и термического цикла	Среда для испытания внутренним давлением (внешняя среда — жидкая среда)
CAL II	Испытание внешним давлением не требуется	Изгиб при комнатной температуре необязателен	5 механических циклов при комнатной температуре. 5 термических циклов с воздействием давления и растяжения. 5 механических циклов при повышенной температуре. 5 термических циклов с воздействием давления и растяжения. 5 механических циклов при комнатной температуре	135 °С	Газ
Общее число образцов — 4		Образцы 1, 2, 3, 4	Образцы 1, 2, 3, 4		
CAL I	Испытание внешним давлением не требуется	Изгиб при комнатной температуре необязателен	Термоциклическое испытание не требуется	Термоциклическое испытание не требуется	Жидкая среда
Общее число образцов — 3		Образцы 1, 2, 3			
<p>^a Для испытания обсадных труб с соединениями CAL IV требуется только 5 термических циклов. Это требование распространяется также на насосно-компрессорные трубы с соединениями CAL IV с многоэлементными уплотнениями, испытываемыми в соответствии с приложением J.</p>					



^a Для CAL III образцы 7 и 8 не используются.

^b Относится только к CAL II, CAL III и CAL IV. Условия сдвигово-нарастезывания для CAL I см. в таблицах 6 и 8.

^c Образцы для CAL II подвергаются испытанию только серии A и серии B (см. таблицу 1).

^d Образцы для CAL I не подвергаются испытанию серии C (см. таблицу 1).

^e Испытание RRG на образцах 2 и 3 для CAL I не требуется. Образец 2 испытывают только на MU. Образец 3 испытывают на MBG.

Рисунок 1 — Программа испытаний для определения CAL

Примечание — На рисунке использованы следующие сокращения и обозначения:

PSBF — малая конусность резьбы ниппельного элемента и большая конусность резьбы раструбного элемента;

PFBS — большая конусность резьбы ниппельного элемента и малая конусность резьбы раструбного элемента;

NOM-NOM — номинальная конусность резьбы ниппельного элемента и номинальная конусность резьбы раструбного элемента;

H-L — высокий натяг по резьбе — низкий натяг по уплотнению;

L-L — низкий натяг по резьбе — низкий натяг по уплотнению;

H-H — высокий натяг по резьбе — высокий натяг по уплотнению;

L-H — низкий натяг по резьбе — высокий натяг по уплотнению;

MU — свинчивание;

MBG — испытание на заедание при свинчивании-развинчивании;

RRG — «круговое» испытание на заедание при свинчивании-развинчивании;

FMU — окончательное свинчивание;

(A) — элемент соединения A;

(B) — элемент соединения B;

H/L — большое количество смазки и низкий крутящий момент;

H/H — большое количество смазки и высокий крутящий момент;

L/H — малое количество смазки и высокий крутящий момент;

T/C p_i/p_o — растяжение, сжатие, внутреннее давление и внешнее давление;

T/C p_i/wB — растяжение, сжатие, внутреннее давление и изгиб;

$p_{in} + T$ до F — высокое внутреннее давление с растяжением, возрастающим до разрушения;

$C + p_o$ до F — сжатие с внешним давлением, возрастающим до разрушения;

T до F — растяжение до разрушения;

$p_o + C$ до F — внешнее давление с сжатием, возрастающим до разрушения;

$T + p_i$ до F — растяжение с внутренним давлением, возрастающим до разрушения;

$p_i + C$ до F — внутреннее давление с сжатием, возрастающим до разрушения;

p_o до F — внешнее давление, возрастающее до разрушения;

$p_{in} + T$ до F — низкое внутреннее давление с растяжением, возрастающим до разрушения.

Рисунок 1, лист 2

5.3 Программа испытаний

5.3.1 Физические испытания

В соответствии с процедурами, установленными в настоящем стандарте, проводят программу физических испытаний на свинчивание-развинчивание, испытаний при комбинированных нагрузках и испытаний при предельных нагрузках.

При этом необходимо строго соблюдать указания настоящего стандарта. Если возникнут неблагоприятные условия, не предусмотренные настоящим стандартом, то все отклонения от его требований должны быть указаны в отчетах по испытаниям. Кроме того, необходимо оформить заявление с обоснованием того, что результаты испытаний можно считать адекватными.

5.3.2 Оценка результатов испытаний

5.3.2.1 Общие положения

Оценка результатов выполнения программы физических испытаний по разделу 8 проводится, как указано в 5.3.2.1—5.3.2.4.

5.3.2.2 Результаты испытаний, соответствующие устанавливаемому CAL

Если результаты соответствуют требованиям к испытаниям на свинчивание-развинчивание, испытаниям при комбинированных нагрузках и испытаниям при предельных нагрузках, то соединение данного размера и данной группы прочности (т. е. из материала с данным пределом текучести и данным химическим составом) считается соответствующим устанавливаемому CAL.

На испытания под предельными нагрузками установлены минимальные критерии приемки, определяющие, выдержало ли соединение испытание. Область испытательных нагрузок TLE может быть скорректирована после проведения испытания, как это описано ниже, так, чтобы считалось, что соединение его выдержало.

5.3.2.3 Результаты испытаний, не соответствующие устанавливаемому CAL

Если результаты испытаний не соответствуют требованиям к испытаниям при комбинированных нагрузках, то результаты следует оценить с целью:

- a) пересмотра конструкции соединения с последующим полным повторным испытанием,
- b) пересмотра области испытательных нагрузок с последующим повторным испытанием всех образцов соединения, которые не соответствуют требованиям пересмотренной области испытательных нагрузок для данного образца соединения.

При преждевременном разрушении в ходе испытания предельной нагрузкой необходимо:

- пересмотреть конструкцию соединения с последующим полным повторным испытанием всех образцов соединения;
- пересмотреть область испытательных нагрузок TLE.

Если результаты испытаний соответствуют пересмотренным требованиям к области испытательных нагрузок и к предельным нагрузкам, то дальнейшие испытания или другие действия не требуются. Все предельные нагрузки должны превышать область испытательных нагрузок.

В случае неисправности испытательного оборудования или нарушения условий испытания, что не связано с конструкцией соединения, нет необходимости в пересмотре конструкции соединения, области испытательных нагрузок или предельных нагрузок, однако необходимо полностью повторить испытание основных или заменяющих образцов соединения. Любое событие, не соответствующее критериям приемки, необходимо указать в протоколе испытаний. Количество повторных испытаний и потребность в повторных испытаниях необходимо включить в сводный отчет и в подробные отчеты по отдельным испытаниям.

5.3.2.4 Отчет о результатах испытаний

Оценку результатов испытаний указывают в первой части полного и сводного отчетов по испытаниям. Все утечки из соединения независимо от объема и скорости должны быть указаны в перечне данных и на графиках давления. Все утечки из оборудования независимо от объема и скорости также должны быть указаны на графиках давления.

5.4 Требования к калибровке и аккредитации

5.4.1 Аккредитация

Лаборатория, проводящая испытания по настоящему стандарту, должна быть:

- a) либо аккредитована национальной или международной аккредитационной организацией;
- b) либо полностью соответствовать требованиям, приведенным в 5.4.2—5.4.5.

5.4.2 Калибровка оборудования

До начала проведения испытаний необходимо убедиться, что все нагрузочные устройства, которые будут использованы в ходе испытаний, имеют действующую калибровку. Исходя из опыта испытательной лаборатории или изготовителя соединений необходимо также периодически проводить калибровку измерительной и регистрирующей аппаратуры, такой как манометры и термометры. Эталоны испытательной лаборатории, используемые для калибровки, и все калибровки должны быть документированы. Копии отчетов о текущих калибровках нагрузочного устройства, приборов для измерения температуры, давления и крутящего момента должны быть включены в подробный отчет по испытаниям.

Допускается проведение калибровки в ходе испытаний исходя из требуемых испытательных нагрузок и накопленного опыта использования оборудования.

5.4.3 Ежегодная калибровка нагрузочного устройства

Каждое нагрузочное устройство, используемое для испытаний осевой или комбинированной нагрузкой, необходимо, по крайней мере, ежегодно подвергать калибровке в режимах растяжения и сжатия при помощи приборов, например мессдоз, прослеживаемых до национальных эталонов.

Калибровка должна состоять из двух этапов, включающих, по крайней мере, 10 равных приращений нагрузки, начиная от минимальной калибровочной нагрузки до максимальной калибровочной нагрузки, т.е. охватывающей весь интервал нагружения. Интервал калибровки нагрузочного устройства должен перекрывать интервал нагрузок, которые будут использованы по программе испытаний. Максимальная калибровочная нагрузка устройства должна превышать наибольшую разрушающую нагрузку труб и соединений, подлежащих испытанию.

Абсолютную погрешность E_r и относительную погрешность E_{rp} находят как

$$E_r = F_i - F_1, \quad (1)$$

$$E_{rp} = 100 \frac{E_r}{E_f} \quad (2)$$

где F_i — нагрузка по показаниям приборов;

F_1 — фактическая нагрузка.

Относительная погрешность калибровки для всех нагрузок в рабочем интервале нагрузочного устройства не должна превышать $\pm 1,0\%$ (см. пример в приложении F).

5.4.4 Поверка нагрузочного устройства

В том случае, если нагрузочное устройство было подвергнуто воздействию высокой нагрузки, например нагрузки, выходящей за интервал калибровки, или нагрузки, которая может нарушить калибровку устройства, рекомендуется проверить соответствие калибровки нагрузочного устройства с использованием поверенных и аттестованных калибровочных устройств. Вместо использования калибровочного бруса можно также провести полную ежегодную калибровку нагрузочного устройства.

5.4.5 Калибровка преобразователей давления

Каждый преобразователь давления должен подвергаться ежегодной калибровке. Относительная погрешность измерений давления в нагрузочном интервале не должна превышать $\pm 1,0\%$.

5.5 Предварительные испытания

Рекомендуется проведение предварительных испытаний, цель которых — предварительно оценить конструкцию соединения и процедуру испытаний до начала проведения официальных испытаний. После завершения предварительных испытаний образцы соединения для официальных испытаний должны быть снова свинчены, особенно при ограниченном числе образцов. Для предварительного испытания на герметичность соединения под давлением используют образцы с уплотнением металл-металл с малым натягом, а для испытания соединения на чувствительность к заеданию — образцы с большим натягом.

5.6 Испытания для определения свойств материала

Для определения предела текучести, необходимого для расчета испытательных нагрузок и критериев приемки, проводят механические испытания материала труб.

Механические свойства материала должны быть определены по документированной процедуре, соответствующей стандарту на изделие. Обычно это стандарт ИСО 11960 на изделия из низколегированных сталей или стандарт ИСО 13680 на изделия из коррозионно-стойких сталей. Для соединений нефтегазопроводных труб процедура должна соответствовать требованиям ИСО 3183 или стандарту API Spec 5L.

Примечание — В контексте настоящего положения стандарт ИСО 11960 эквивалентен стандарту API Spec 5CT. В национальной промышленности могут применяться ГОСТ Р 53366, гармонизированный с ИСО 11960, и ГОСТ Р ИСО 13680, гармонизированный с ИСО 13680.

Образцы для испытаний на растяжение вырезают из обоих концов труб и трубных заготовок для муфт. Кроме того, такие же образцы вырезают из середины труб и трубных заготовок для муфт длиной более 3 м. Образцы для испытания на растяжение и результаты испытаний должны прослеживаться до исходных труб и места отбора образцов.

Альтернативное место отбора образцов указано на рис. С.1. Такое место отбора образцов обеспечивает определение прочности материала непосредственно у резьбового соединения. Если образцы отбираются, как показано на рис. С.1, то изготовитель должен изменить форму перечня данных по свойствам материала (форма С.1) и показать место отбора пробы, а также включить эскиз, аналогичный рис. С.1 и показывающий фактическое расположение проб и образцов. При применении альтернативного расположения от каждого участка для определения механических свойств необходимо отобрать пробу для испытания на растяжение при повышенной температуре. Значения предела текучести металла, определенные на образцах из участка, находящегося рядом с резьбой и предназначенные

для оценки соединения, представляют собой значения, используемые для расчета испытательных нагрузок.

Следует использовать плоские образцы, что предпочтительно, или наибольшие возможные цилиндрические образцы (см. ASTM A 370). Определенное значение предела текучести используется для расчетов. Для информации необходимо также определить условный 0,2 % предел текучести. В перечне данных по свойствам материала (форма С.1) должен быть приведен эскиз пробы, отбираемой от образцов. Для одной трубы и для одной муфты необходимо привести диаграмму напряжение—деформация или нагрузка — деформация от нулевой деформации до деформации не менее 2 % или до разрушения образца (что произойдет раньше) для одного образца при испытаниях серии А или серии В и при повышенной температуре для одного образца при испытаниях серии С.

Каждую пробу материала подвергают одному испытанию на растяжение при комнатной температуре.

Каждую среднюю пробу материала или одну из концевых проб заготовки для муфт длиной не менее 3 м подвергают одному испытанию на растяжение при повышенной температуре, равной 135 °С для CAL II и CAL III и 180 °С для CAL IV.

По каждому испытанию при повышенной температуре необходимо зарегистрировать фактическую температуру образца, определенную при помощи термопары, закрепленной на образце.

Каждую среднюю пробу материала или одну из концевых проб заготовки для муфт длиной не более 3 м подвергают химическому анализу.

Показатели свойств материала приводят в перечне данных по свойствам материала, форма С.1.

Примечание — Необходимо учитывать пределы аттестации соединения, если в пределах конкретной группы прочности испытываются трубы высокой прочности. Необходимо учитывать возможное влияние анизотропии механических свойств или остаточных напряжений в холоднодеформированных трубах из коррозионно-стойких сплавов (см. ИСО 13680). В таких случаях испытание на осевое растяжение может оказаться недостаточным для полной характеристики трубы.

5.7 Свинчивание и развинчивание

5.7.1 Сущность испытаний

Свинчивание и развинчивание соединения, как и применяемая при испытании резьбовая смазка, должны соответствовать рекомендациям по эксплуатации труб.

5.7.2 Смазка, используемая при свинчивании

Изготовитель соединения должен указать тип и количество (с допускаемыми отклонениями) смазки, наносимой на соединение, а также участки для нанесения смазки. Эти данные должны быть такими же, как и используемые в полевых условиях. Для всех образцов соединения должна использоваться одна и та же смазка. Рекомендуется указать минимальное и максимальное количество смазки в единицах массы. Изготовитель должен также представить фотографии и описание порядка нанесения смазки. На фотографиях должно быть показано соединение с минимальным и максимальным количеством смазки.

5.7.3 Моменты свинчивания

Моменты свинчивания, указанные в разделе 7, представляют собой максимальные или минимальные моменты, рекомендуемые изготовителем. В качестве большого задаваемого момента требуется не менее 95 % от максимального момента, а в качестве низкого заданного момента требуется не более 105 % от минимального момента. Если фактический момент свинчивания находится за пределами рекомендуемого интервала, то соединение должно быть развинчено и снова свинчено. Изготовитель должен указать интервал окружных скоростей в об/мин при свинчивании соединения. Все образцы соединения должны быть свинчены при окружной скорости, составляющей не менее 90 % от рекомендуемой максимальной скорости вращения в об/мин.

5.7.4 Свинчивание

Свинчивание всех соединений производится следующим образом, причем результаты записывают в форму С.2 для регистрации свинчивания и развинчивания образцов.

Перед каждым свинчиванием необходимо тщательно очистить и высушить элементы соединения, взвесить и зарегистрировать количество смазки, наносимой на каждый элемент (ниппельный и раструбный). Отслеживают и регистрируют моменты свинчивания и развинчивания на графике зависимости момента от числа оборотов. Разрешающая способность вращения должна быть не менее 0,001 оборота. В полный отчет по испытаниям включают такие графики для каждого свинчивания по разде-

лу 7 и для каждого дополнительного свинчивания, если необходимо (см. раздел 8 и приложение D). На каждом графике должны быть указаны номер образца, ниппельного или раструбного элемента, номер свинчивания, дата, время и любые аномальные явления.

Для свинчивания используют такие же трубные ключи и плашки, как и в полевых условиях. Свинчивание должно производиться в вертикальном положении. При свинчивании муфтовых соединений не допускается плавающее положение муфты, т.е. каждая сторона муфты должна свинчиваться отдельно. Все оборудование для свинчивания и, по крайней мере, свинчивания одного соединения необходимо сфотографировать в процессе свинчивания. При креплении раструбного элемента необходимо контролировать усилие сжатия, чтобы не допустить искажения формы элемента с внутренней резьбой.

Во избежание повреждения ниппельных элементов при проведении свинчивания-развинчивания допускается установка на несвинчиваемый конец элемента специального предохранителя.

5.7.5 Развинчивание

Развинчивание образца соединения выполняют с помощью того же ключа и тех же устройств, которые использовались при свинчивании, в соответствии с процедурой, разработанной изготовителем. Результаты регистрируют в форме С.2.

5.7.6 Ремонт соединения после развинчивания

После каждого развинчивания допускается ремонт ниппельных и раструбных элементов с использованием только тех средств, которые рекомендованы изготовителем соединения для применения в полевых условиях. Все случаи ремонта должны быть зарегистрированы с указанием затрат времени на ремонт. Необходимо указать в отчете все случаи заедания и другие несоответствия. Оценка заедания, включающая четкое описание размера и природы повреждения, должна быть выполнена в окончательном отчете. Необходимо сфотографировать участки заедания, участки ремонта, эти же участки после следующего развинчивания и после окончательного развинчивания и включить фотографии в окончательный отчет.

5.7.7 Контроль свинчивания соединения

После каждого развинчивания образцы соединений тщательно осматривают. Оценивают и отмечают на диаграммах зависимости момента от числа оборотов все наблюдаемые случаи заедания. На этих же диаграммах отмечают все нарушения процесса свинчивания (проскальзывание конца трубы или муфты в плашках трубного ключа, сбои компьютера или скачки электрического сигнала, не отмеченные на диаграмме, и т. п.). В числе данных по геометрическим параметрам соединения (форма С.3) регистрируют также результаты контроля размеров образца.

5.8 Выявление утечек при внутреннем давлении

5.8.1 Сущность испытаний

Требования к утечкам имеют особо важное значение для тех соединений, которые должны быть непроницаемыми для газа или жидкой среды. Для соединений разного типа ниже приведены альтернативные методы выявления утечек. Соединения обсадных и насосно-компрессорных труб подвергают воздействию внутреннего давления и наблюдают за их поведением при помощи системы выявления и измерения всех утечек соединения.

5.8.2 Среды для создания давления

Все испытания внутренним давлением соединений CAL II, III и IV, проводимые по области испытательных нагрузок, должны осуществляться с использованием сухого азота. По выбору любой из сторон, участвующих в испытаниях, к азоту можно добавлять 5 % гелия в качестве газа-индикатора. Все испытания внутренним давлением соединений CAL I, проводимые по области испытательных нагрузок, должны осуществляться с использованием жидкой среды, не содержащей твердых включений, или сухого азота, как это согласовано в программе испытаний. Все испытания при предельных нагрузках, например плановые испытания до разрушения, должны проводиться с использованием жидкой среды в качестве средства для создания давления, если в программе испытаний не указано иное.

5.8.3 Безопасность испытания

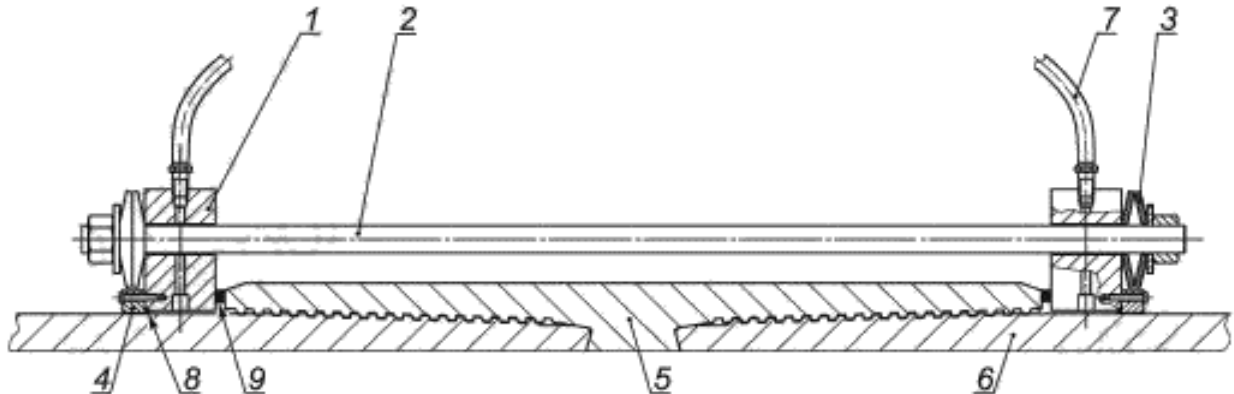
Для обеспечения безопасности испытания газом под давлением проводят с установленной в образце соединения болванкой-наполнителем. Материал болванки не должен быть пористым и не должен быстро выделять содержащуюся в ней рабочую среду, чтобы не мешать интерпретации результатов испытания. Размеры болванки должны быть такими, чтобы существенно уменьшить внутренний объем соединения, но не приводить к механическому взаимодействию с образцом при его деформации в ходе испытания (см. рисунок 8 в 5.10.2). Болванку необходимо отцентрировать так, чтобы исключить ее контакт с образцом соединения в процессе испытания.

5.9 Устройства для выявления утечек при испытании внутренним давлением

5.9.1 Варианты устройств

Образец испытываемого соединения оснащают, по крайней мере, одним из следующих устройств для выявления утечек при испытании внутренним давлением. Если испытания проводятся при повышенной температуре, то материалы устройства должны быть применимы для использования при температурах выше температуры испытания.

5.9.2 Устройство с уплотнительными кольцами (рисунок 2)

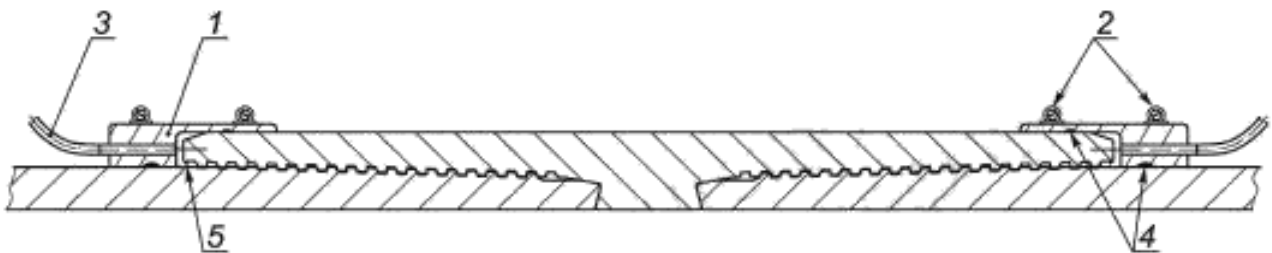


1 — металлический фланец; 2 — шпилька; 3 — пружины; 4 — гайка; 5 — муфта; 6 — nipple-элемент; 7 — гибкий шланг.
8 — уплотнительное кольцо; 9 — плоская прокладка

Рисунок 2 — Устройство, устанавливаемое на раструбный элемент, для выявления утечек при испытании внутренним давлением

Устройство состоит из уплотнительного кольца, прижимаемого к торцу, или наружной поверхности раструбного элемента при помощи фланца, имеющего не менее четырех сквозных отверстий под шпильки, которыми фланцы плотно прижимаются к торцу раструбного элемента. Уплотнение между фланцем и nipple-элементом создают с помощью отдельного прижимного уплотнительного кольца.

5.9.3 Устройство с гибким шлангом (рисунок 3)



1 — гибкое уплотнение; 2 — хомуты для шланга; 3 — металлическая трубка или гибкий шланг (при испытаниях серии С — из термостойкого материала); 4 — герметизирующий материал; 5 — небольшой зазор для повышения чувствительности выявления утечек

Рисунок 3 — Устройство с гибким уплотнением для выявления утечек при испытании внутренним давлением

Устройство с гибким шлангом-ловушкой из материала типа силикон устанавливают к торцу раструбного элемента. Зазоры между наружной поверхностью nipple-элементов и раструбного элементов и

устройством заполняют герметизирующим материалом. Для крепления шланга на наружной поверхности ниппельного элемента и раструбном элементе используют фланцы. Между фланцем и наружной поверхностью элементов вводят трубку для отвода утечек газа, также уплотняемую герметизирующим материалом.

5.9.4 Устройство, встраиваемое в раструбный элемент (рисунок 4)



1 — отверстие с резьбовым штуцером на участке муфты, соответствующем сбегу резьбы трубы; 2 — герметизирующий материал; 3 — гибкий шланг

Рисунок 4 — Устройство с отверстием в раструбном элементе для выявления утечек при испытании внутренним давлением

Для выхода утечек газа на участке вблизи торца раструбного элемента, соответствующем сбегу резьбы ниппельного элемента, сверлят сквозное радиальное отверстие. В отверстии нарезают резьбу и ввертывают в него штуцер с гибким шлангом. Торцы раструбного элемента уплотняют во избежание неконтролируемой утечки газа.

Свинчивание образца соединения проводят следующим образом:

- перед свинчиванием соединения сверлят отверстия, нарезают в них резьбу и удаляют заусенцы;
- свинчивают соединение;
- в сверленные отверстия ввинчивают штуцеры с использованием герметизирующего материала, например PTFE;
- очищают торцы раструбного элемента и уплотняют их при помощи силиконового или другого герметизирующего материала;
- дают герметизирующему материалу затвердеть.

5.9.5 Испытание устройств для выявления утечек при внутреннем давлении

Устройства испытывают следующим образом:

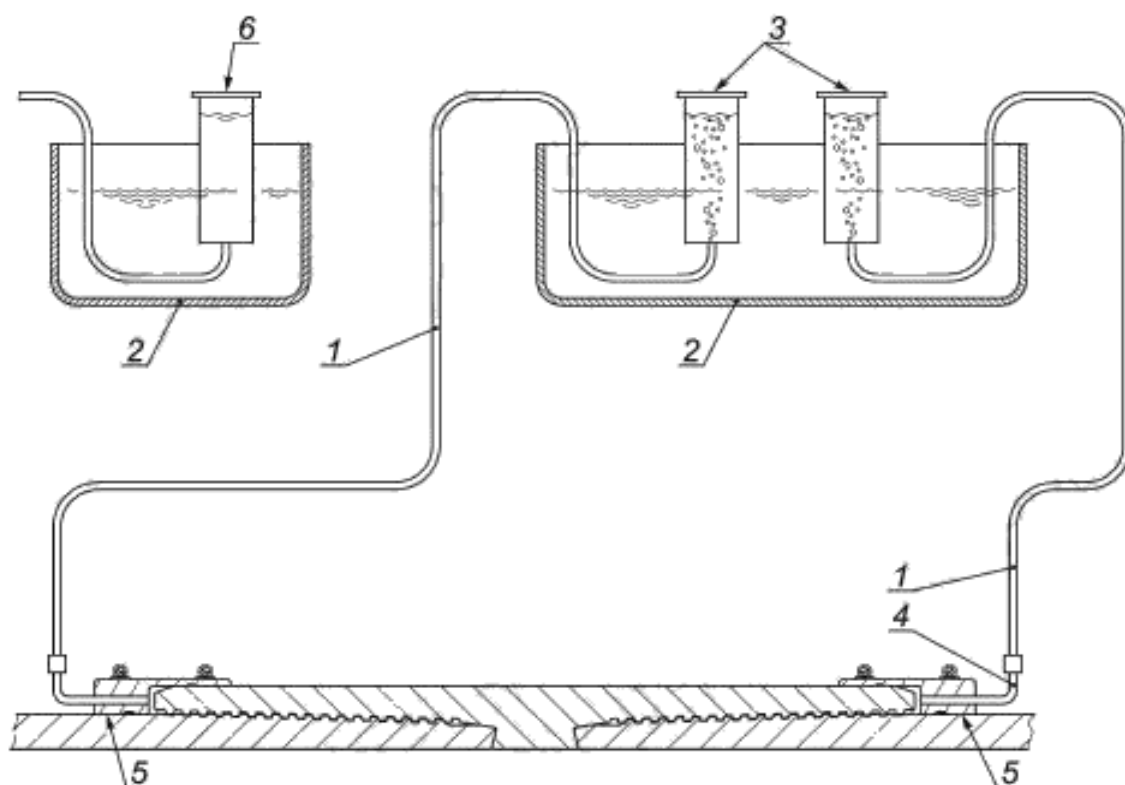
- проверяют герметизирующий материал и штуцер на утечки, для чего присоединяют шланг к источнику воздуха или азота, создающему давление от 0,007 до 0,014 МПа. Перекрывают подвод газа и наблюдают по манометру за падением давления;
- если необходимо, исправляют или герметизируют устройство;
- периодически вывинчивают штуцер, прочищают отверстие и возобновляют испытание, как описано выше;
- по согласованию отверстия могут быть выполнены с уплотнением металл-металл.

5.9.6 Чувствительность системы выявления утечек при внутреннем давлении

Система наблюдения и измерения утечек при внутреннем давлении должна обладать чувствительностью к утечкам не хуже $0,9 \text{ см}^3$ за 15 мин при использовании для измерения градуированного цилиндра с ценой деления $0,1 \text{ см}^3$ или не хуже $0,0001 \text{ см}^3/\text{с}$ при стандартных условиях измерения газовым хроматографом или спектрометрической системой. При использовании в качестве газа-индикатора гелия система измерения с градуированным цилиндром должна обладать способностью улавливать выделяющийся газ для определения содержания гелия с целью проверки необходимости учета или отказа от учета утечек.

При использовании градуированного цилиндра необходимо предусмотреть компенсацию изменений барометрического давления, которые могут оказывать влияние на чувствительность к утечкам. Рекомендуется перед началом испытаний настроить отдельный градуированный цилиндр (см. рисунок 5), имитирующий устройство для выявления утечек. Во время анализа этот имитационный цилиндр ис-

пользуется для установления наличия утечек в соединении или того, вызвано ли изменение барометрического давления. Отдельный имитационный градуированный цилиндр должен содержать газовый объем, совпадающий с газовым объемом в перевернутом градуированном цилиндре испытываемых соединений.



1 — гибкий шланг; 2 — сосуд с водой; 3 — градуированные цилиндры; 4 — теплоустойчивая трубка; 5 — устройство для выявления утечек; 6 — имитационный градуированный цилиндр того же размера и с той же высотой над уровнем воды, что и цилиндры 3

Рисунок 5 — Система для выявления утечек при внутреннем давлении пузырьковым методом

Индикаторы утечек можно оценивать в отношении источника утечки, если имеются основания подозревать, что утечка происходит не от испытываемого соединения. Для проверки того, происходят ли пузырьки от среды под давлением, а не от дегазации резьбовой смазки или от теплового расширения соединения или испытательного оборудования, можно использовать датчик, калиброванный на улавливание гелия. Оценка источника утечки должна быть основана на тщательном анализе газа утечки. Если утечка вызвана не соединением, а каким-то другим источником, например торцевыми заглушками, то необходимо устранить ее и продолжить испытание. Необходимо зарегистрировать все посторонние утечки и их источники (штуцер для отвода утечек, кран и т. п.). В отчете необходимо указать все индикаторы утечек и подробно объяснить причину, по которой утечка не принимается во внимание.

5.9.7 Пузырьковый метод выявления утечек при внутреннем давлении

5.9.7.1 Сущность метода

Система выявления утечек пузырьковым методом изображена на рисунке 5. Система основана на улавливании всего газа, выделяющегося из соединения, и его помещения в сосуд для измерения объема. Основные компоненты системы:

- средство для улавливания газа типа ранее описанных устройств для выявления утечек;
- трубка или гибкий шланг для соединения ловушки с газосборником;
- газосборник, включающий прозрачный градуированный цилиндр с ценой деления не больше $0,1 \text{ см}^3$, наполненный водой. Гибкая трубка выведена в открытое пространство в верхней части цилиндра. Нижнюю часть цилиндра и трубку погружают в сосуд с водой и переворачивают (см. рисунок 5).

Утечка видна в виде пузырьков, поднимающихся в цилиндре. Объем газа из пузырьков измеряют по шкале цилиндра.

5.9.7.2 Проверка системы для выявления утечек пузырьковым методом

Перед началом выполнения программы испытания соединения необходимо проверить систему на собственные утечки и оценить ее чувствительность.

а) Для проверки системы прикладывают давление воздуха или азота от 0,007 до 0,014 МПа. После стабилизации давления перекрывают подвод газа и в течение 2 мин наблюдают за давлением по манометру. Любое падение давления указывает на наличие утечек из системы, которые необходимо выявить и устранить. Процедуру повторяют до тех пор, пока давление газа не станет стабильным в течение по крайней мере 2 мин.

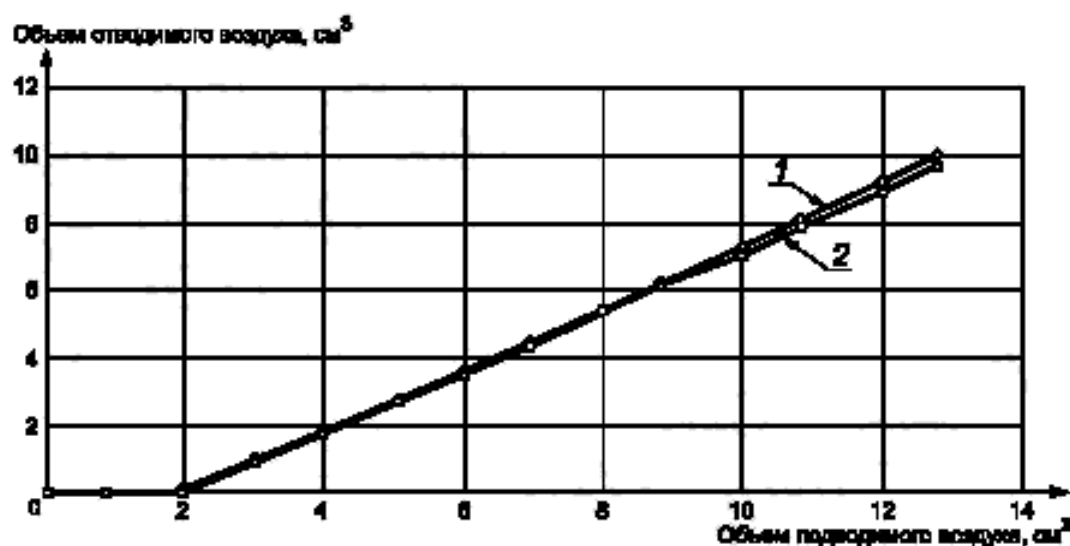
б) Эффективность системы оценивают, подводя к ней воздух и измеряя прирост объема воздуха в каждом цилиндре. Воздух подводят порциями по 1 см³, по крайней мере, до объема 10 см³. Определяют среднее отношение подводимого и отводимого воздуха на графике (см. рисунок 6). Необходимо зарегистрировать начальный объем подводимого воздуха, нужный для того, чтобы воздух начал скапливаться в градуированном цилиндре, но этот объем не влияет на расчетную эффективность и поэтому не учитывается. Эффективность должна составлять не менее 70 %, и если она ниже, то необходимо изменить конфигурацию системы и тем самым повысить чувствительность. Найденный показатель эффективности используется для коррекции всех наблюдаемых утечек и их объемов при испытании и рассчитывается по формуле

$$q_{ac} = \frac{q_o}{\eta_{ids}} \quad (3)$$

где q_{ac} — фактическая утечка, указываемая в отчете;

q_o — наблюдаемая утечка;

η_{ids} — эффективность системы.



1 — элемент соединения А, 2 — элемент соединения В

Рисунок 6 — Пример графика для оценки чувствительности системы выявления утечек

5.9.7.3 Начало испытания

Перед началом испытания соединения в области испытательных нагрузок проводят предварительную зарядку каждой системы выявления утечек, вдувая воздух вблизи раструбного элемента до появления небольшого количества воздуха в градуированном цилиндре. Регистрируют этот объем в

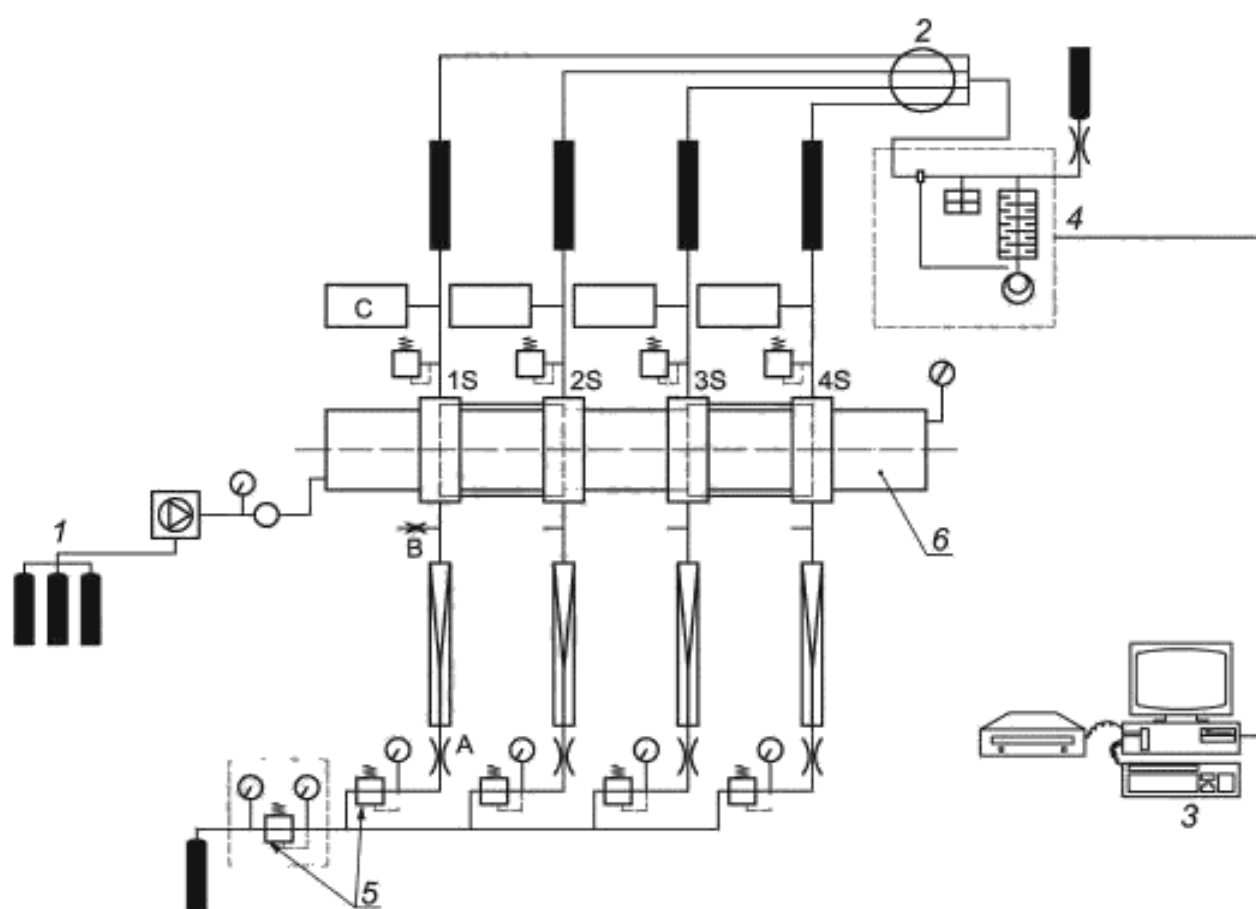
качестве начального количества газа, которое будет вычитаться из того количества газа, которое накопится в цилиндре в ходе испытания. Этот начальный объем воздуха должен быть достаточным, чтобы понизить уровень воды в цилиндре до начала шкалы перед испытанием.

5.9.8 Измерение утечек при внутреннем давлении гелиевым масс-спектрометром

5.9.8.1 Сущность метода

Система измерения утечек данным методом (рисунок 7) включает:

- ловушку для газа;
- трубку или гибкий шланг для соединения ловушки с линией подачи газа-носителя;
- линию подачи чистого азота в качестве газа-носителя, соединенную с масс-спектрометром,
- гелиевый масс-спектрометр, в котором, как правило, используется метод измерения утечек всасыванием, что требует обеспечения правильной работы всасывающего устройства при атмосферном давлении.



1 — источник внутреннего давления; 2 — переключатель отбора; 3 — устройство регистрации данных; 4 — масс-спектрометр; 5 — регуляторы подачи газа-носителя; 6 — образец (в данном случае — две муфты и 4 соединения 1S, 2S, 3S и 4S)

Рисунок 7 — Измерение утечек при помощи гелиевого масс-спектрометра

5.9.8.2 Точность системы

Система измерения утечек гелиевым масс-спектрометром должна обеспечивать в стандартных условиях измерение суммарных утечек $0,0001 \text{ см}^3/\text{с}$ или ниже.

5.9.8.3 Калибровка системы

Всю систему необходимо откалибровать не реже, чем один раз в год, по рекомендациям изготовителя оборудования с использованием сертифицированного и калиброванного источника утечек. Калиброванный источник утечек используется вместо испытываемого образца соединения, а все остальные компоненты системы должны быть на месте.

5.9.8.4 Одновременное измерение утечек из нескольких образцов соединения

Для одновременного испытания нескольких образцов соединения или соединений можно использовать коллектор с переключателем. Необходимое минимальное время всасывания зависит от оборудования, и его следует определить и продемонстрировать перед началом испытания. От каждой линии необходимо отбирать пробу не реже чем один раз в минуту.

5.9.8.5 Проверка системы

Перед каждым испытанием продувают систему азотом или смесью азота с гелием и затем проверяют, всасывая газ через линию в сборе и ловушку. Проверяют правильное содержание гелия в смеси, чтобы убедиться в отсутствии засоров в линии.

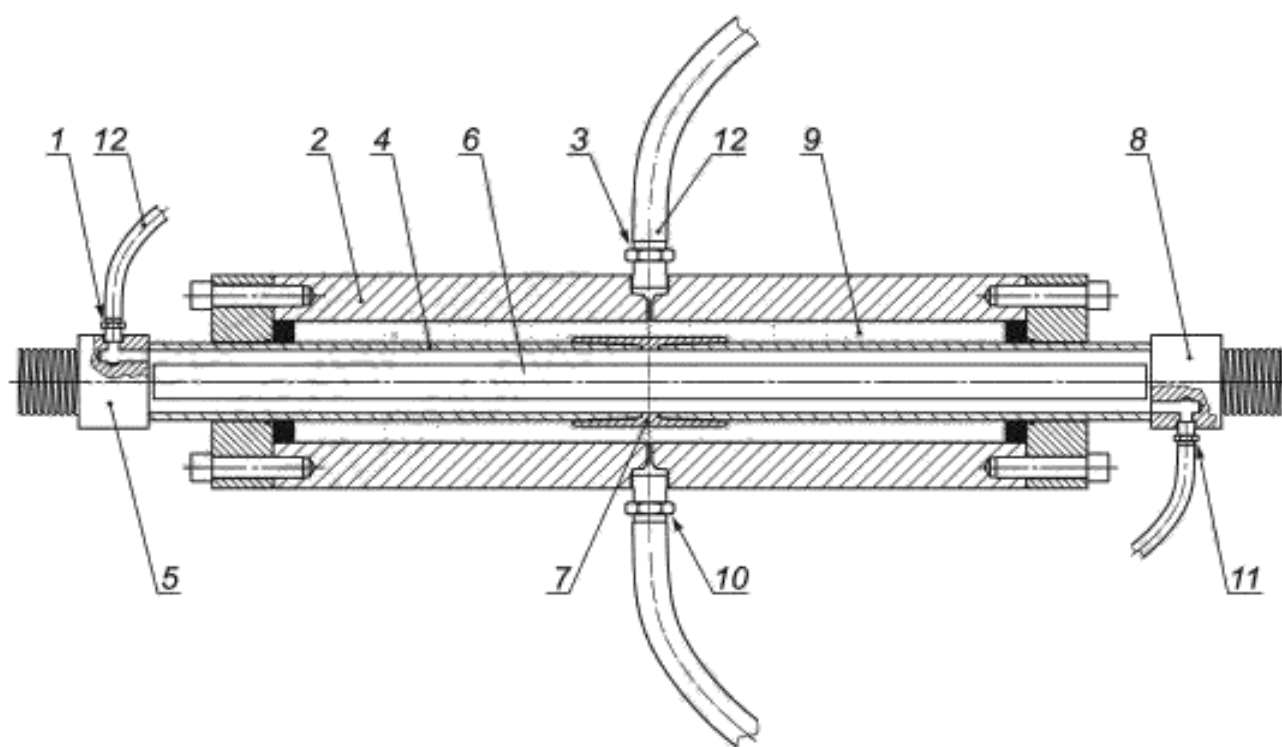
5.10 Выявление утечек при внешнем давлении

5.10.1 Сущность метода

Соединения обсадных и насосно-компрессорных труб подвергают воздействию внешнего давления в системе, способной выявить возникающие при этом утечки. Выявление таких утечек считается более трудной задачей и происходит менее точно, чем выявление утечек при внутреннем давлении. Все испытания на выявление утечек при внешнем давлении проводятся с использованием пресной воды. При этом необходимо зарегистрировать все вытесненные объемы воды.

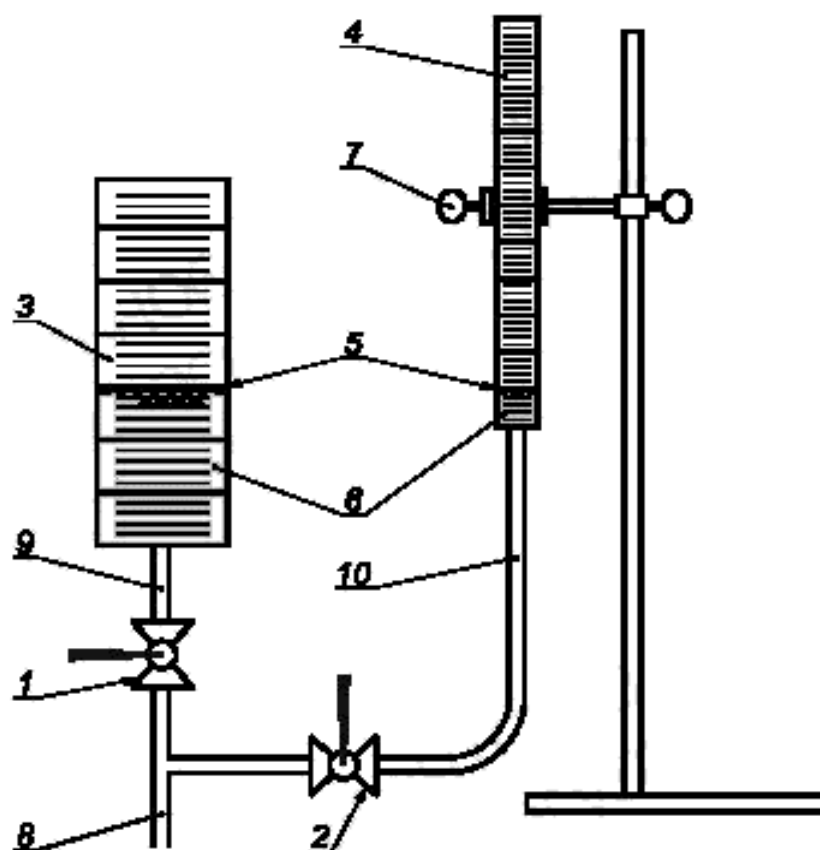
5.10.2 Безопасность испытания

Если испытание на выявление утечек при внешнем давлении осуществляется в сочетании с испытанием на выявление утечек при внутреннем давлении, то в образец необходимо поместить болванку-наполнитель, как описано в 5.8.3 (см. рисунок 8).



1 — отверстие к преобразователю давления для испытания внутренним давлением газа, для выявления утечек при испытании внешним давлением и для подвода воздуха с целью удаления воды после испытания внешним давлением; 2 — камера для создания внешнего давления; 3 — отверстие с гибким шлангом для выявления утечек при испытании внутренним давлением или к преобразователю давления при испытании внешним давлением; 4 — испытываемая труба; 5 — заглушка с верхним отверстием, см. позицию 1; 6 — болванка-наполнитель для уменьшения внутреннего объема; 7 — испытываемое соединение; 8 — заглушка с нижним отверстием, см. позицию 11; 9 — камера, заполненная водой; 10 — отверстие для подвода давления воды в камеру; 11 — отверстие для подвода давления газа, для наполнения водой при испытании внешним давлением, слива воды после испытания внешним давлением; 12 — гибкий шланг к системе измерения утечек, см. позицию 8 на рисунке 9

Рисунок 8 — Пример установки для испытаний серии А



1 — вентиль перед большим градуированным цилиндром; 2 — вентиль перед небольшим градуированным цилиндром; 3 — большой открытый сверху градуированный цилиндр на 100–200 см³; 4 — небольшой открытый сверху градуированный цилиндр примерно на 25 см³ с ценой деления 0,1 см³; 5 — уровень воды; 6 — подкрашенная вода; 7 — регулируемый держатель, позволяющий в начале каждого периода выдержки разместить дно цилиндра на уровне, соответствующем от 100 до 200 см³; 8 — гибкий шланг, соединенный с верхней частью камеры при испытании внутренним давлением газа и с верхним отверстием одной из торцевых заглушек при испытании внешним давлением; 9 — гибкий шланг к большому цилиндру; 10 — гибкий шланг к небольшому цилиндру

Рисунок 9 — Пример системы измерения утечек при испытаниях серии А

5.10.3 Торцевые заглушки с отверстиями

Испытываемый образец соединения и торцевые заглушки должны иметь отверстия для заполнения образца водой, оснащенные штуцерами высокого давления, способными удерживать внутреннее давление при проведении такого испытания. Обычно требуются два отверстия — одно для подвода воды и второе для отвода воздуха, расположенные на противоположных концах испытываемого образца соединения. Отверстие для отвода воздуха должно быть расположено таким образом, чтобы можно было полностью удалить воздух из соединения. Отверстия должны быть расположены так, чтобы можно было полностью удалить из соединения воду перед дальнейшим испытанием внутренним давлением газа.

5.10.4 Установка для испытаний серии А

Пример такой установки приведен на рисунке 8. В ходе испытаний этой серии внутреннее давление несколько раз меняется на внешнее и наоборот. Для сокращения продолжительности испытаний всю серию испытаний можно выполнять, не снимая камеру для создания внешнего давления. Эта внешняя камера может быть использована в качестве части системы выявления утечек при внутреннем давлении, если соблюдены следующие требования:

а) чувствительность выявления утечек должна составлять 0,001 см³/с, однако абсолютная демонстрация может оказаться невозможной;

- b) наружная камера и гибкий шланг должны быть наполнены водой;
- c) для проверки возможных утечек проводят дополнительные испытания с целью подтверждения интенсивности и источника утечек.

5.10.5 Выявление утечек и их измерение по уровню воды

Для испытания на выявление утечек при внутреннем давлении заполняют водой гибкий шланг 12 (см. рисунок 8) вверху камеры и присоединяют его к системе измерения утечек (см. рисунок 9).

Для испытания на выявление утечек при внешнем давлении заполняют водой внутреннее пространство образца соединения через гибкий шланг 1 (см. рисунок 8) и присоединяют его к системе измерения утечек (см. рисунок 9).

При испытании на выявление утечек при внешнем давлении испытываемое соединение и часть трубы по обе стороны от него охвачены камерой 2. Установлено, что при проведении этого испытания немедленно после приложения полного давления и осевой нагрузки может иметь место вытеснение значительного объема воды (больше $0,9 \text{ см}^3$ за 15 мин). При этом интенсивность вытеснения воды обычно постепенно уменьшается. Поэтому необходим стабилизационный период перед началом выдержки под давлением по ИСО. С учетом этой особенности испытание на выявление утечек при внешнем давлении проводится следующим образом:

- a) прикладывают полное внешнее испытательное давление и закрывают вентили на напорной линии от насоса;
- b) после закрытия вентиля может оказаться необходимым небольшое превышение давления, чтобы поддержать требуемое давление;
- c) вскоре после закрытия вентиля (в течение примерно 2 мин) начинают регистрировать нагрузки, давление и объем утечки;
- d) продолжают регистрировать нагрузки, давление и объем утечки с интервалом 5 мин;
- e) оценивают тенденцию изменения объема утечек. Снижение объема утечек считается нормальным явлением и указывает на отсутствие утечек из соединения. Постоянные утечки объемом более $0,9 \text{ см}^3$ за 15 мин или растущие объемы утечки указывают на возможную утечку из соединения;
- f) при соблюдении следующих условий считается, что во время выдержки утечки из соединения не имеют места:
 - 1) при выдержке продолжительностью 15 мин:
 - имели место 4 последовательные выдержки по 5 мин;
 - сумма утечек за первые три выдержки по 5 мин и за последние три выдержки по 5 мин, т. е. за две последовательные выдержки по 15 мин не превышает $0,9 \text{ см}^3$;
 - утечки за выдержки по 5 мин не имеют тенденции к увеличению;
 - 2) при выдержке продолжительностью 60 мин:
 - имели место 13 последовательных выдержек по 5 мин;
 - сумма утечек за первые 12 выдержек по 5 мин и за последние 12 выдержек по 5 мин, т. е. за две последовательные выдержки по 60 мин не превышает $0,9 \text{ см}^3$ за 15 мин;
 - утечки за выдержки по 5 мин не имеют тенденции к увеличению.

В начале испытания на выявление утечек как от внутреннего, так и от внешнего давления, большой градуированный цилиндр (см. рисунок 9) должен быть заполнен водой примерно наполовину. Перед приложением и регулировкой испытательных нагрузок открывают вентиль 1 (см. рисунок 9) и закрывают вентиль 2. При приложении испытательных нагрузок уровень воды в большом цилиндре будет повышаться или понижаться. В начале выдержки под давлением открывают вентиль 2 и перемещают небольшой цилиндр вверх или вниз так, чтобы уровень воды в нем стал близким к дну цилиндра. Затем закрывают вентиль 1. При утечке из образца соединения уровень воды в небольшом цилиндре будет повышаться, и его измерение позволяет судить об интенсивности утечки. К воде в цилиндрах рекомендуется добавить краситель, что облегчит наблюдение за уровнем воды в них.

Регистрируют уровень воды в небольшом цилиндре в начале и конце каждого периода выдержки, а при наличии утечки — с интервалами по 7.3.2, чтобы определить характеристики утечки.

5.11 Сбор данных и методы испытаний

5.11.1 Общие положения

Правильная и точная регистрация данных имеет решающее значение для аттестации. Без адекватной регистрации данных невозможно обеспечить объективную оценку качества соединения.

5.11.2 Сущность испытаний

При испытаниях серии А первичными нагрузками являются давление и осевое усилие при комнатной температуре. Изгибающая нагрузка считается вторичной, сопровождающей осевую нагрузку, и должна быть сведена к минимуму путем тщательного центрирования торцевых заглушек и нагрузочного устройства. При испытаниях серии В CAL IV к осевым нагрузкам намеренно добавляют изгибающие нагрузки. При испытаниях серии В CAL III, II и I добавление изгибающих нагрузок является необязательным. Образцы соединения, подвергаемые испытаниям серии В с приложением изгиба, должны быть оснащены приборами для определения изгибающей нагрузки.

5.11.3 Процедура испытаний

5.11.3.1 Общие положения

Регистрируют внутреннее и внешнее давление, осевую нагрузку, изгибающую нагрузку и температуру. При всех испытаниях необходимо регистрировать давления, осевую нагрузку и температуру непрерывно во времени. Возможна непрерывная или цифровая регистрация. При цифровой регистрации скорость сбора данных должна быть достаточно высокой с учетом ожидаемых изменений нагрузок и давлений, но во всяком случае не менее одного показания со всех приборов каждые 15 с.

При испытаниях на герметичность вычерчивают график давлений по шкале от нуля до конечного значения шкалы, превышающего наибольшее ожидаемое давление при испытательной нагрузке. При испытаниях на разрушение вычерчивают график давлений по шкале с конечным значением, более чем в два раза превышающим наибольшее ожидаемое давление при испытательной нагрузке. При испытаниях на герметичность вычерчивают график растягивающей нагрузки по шкале от нуля до конечного значения шкалы, превышающего наибольшее ожидаемое напряжение при испытательной нагрузке. При испытаниях на разрушение вычерчивают график нагрузок по шкале с конечным значением, более чем в полтора раза превышающим наибольшее ожидаемое напряжение при испытательной нагрузке. Необходимо также вычертить график зависимости температуры от времени с достаточным разрешением. Графики необходимо аннотировать для облегчения их последующей интерпретации.

5.11.3.2 Давление и (или) растягивающие нагрузки

К внутренней или наружной поверхности образца соединения присоединяют датчик давления. При этом его размещают со стороны отверстия для выхода воздуха, а не со стороны отверстия для нагнетания давления.

Каждый образец нагружают усилием при скорости роста осевой нагрузки не более 105 МПа/мин. Каждый образец нагружают давлением при скорости роста давления не более 105 МПа/мин. Нагружение образцов соединения может проводиться непрерывно или дискретно. Однако в случае дискретного нагружения скорость роста осевой нагрузки и давления в пределах каждого приращения не должна превышать указанной максимальной скорости. При снятии давления и осевой нагрузки ограничения максимальной и минимальной скоростей не устанавливаются.

Примечание — Указанные скорости роста нагрузки и давления должны обеспечить точную регистрацию данных о прочности и герметичности соединения.

5.11.3.3 Изгибающие нагрузки

При измерении изгибающих нагрузок при помощи тензодатчиков размещают 4 розетки из двухосных тензодатчиков, по крайней мере, на одной из труб (предпочтительно на обеих соединяемых трубах) в одной поперечной плоскости на расстоянии не менее $3\sqrt{Dt}$ от соединения и от торцевой заглушки или крепления. Тензодатчики размещают по окружности трубы через 90° на равном расстоянии друг от друга. Необходимо зарегистрировать расположение и ориентацию всех тензодатчиков. Для слежения за изгибом соединения можно также использовать иную аппаратуру с точностью не ниже обеспечиваемой четырьмя розетками из двухосных тензодатчиков.

При испытаниях с намеренным изгибом прикладывают и контролируют прилагаемый изгибающий момент путем измерения деформаций тензодатчиков на трубе с расчетом распределения моментов при трехточечном изгибе. Наблюдают за показаниями тензодатчиков, рассчитывают напряжения изгиба, изгибающий момент и прогиб и непрерывно регистрируют прогиб.

Известны три метода намеренного нагружения соединения изгибом:

- a) четырехточечный изгиб, при котором оба изгибающих цилиндра размещают на одинаковом расстоянии от конечных опор и прилагают с их помощью одинаковую нагрузку;
- b) трехточечный изгиб, при котором центральная нагрузка прилагается к муфте, в деформацию изгиба вводят поправку, пропорциональную отношению расстояния от точки приложения внешней на-