



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
696—
2023

Нефтяная и газовая промышленность
СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ
Изготовление стальных конструкций

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Газпром 335» (ООО «Газпром 335»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 023 «Нефтяная и газовая промышленность»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 июля 2023 г. № 27-пнст

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: inf@gazprom335.ru и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: 123112 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

II

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины, определения и сокращения	2
3.1 Термины и определения	2
3.2 Сокращения	2
4 Выбор сталей	2
5 Квалификация технологии сварки и аттестация сварщиков	2
5.1 Карта WPS	2
5.2 Аттестация процедуры сварки	3
5.3 Протокол WPQR	3
5.4 Испытания КСС	4
5.5 Аттестация сварщиков и сварочных процедур	5
6 Болтовые соединения. Проектирование и расчет	6
6.1 Расчетные сопротивления соединений	6
6.2 Срезные соединения	7
6.3 Фрикционные соединения	8
6.4 Фрикционно-срезные соединения	10
6.5 Фланцевые соединения	11
7 Изготовление и монтаж конструкций с болтовыми соединениями	14
7.1 Изготовление	14
7.2 Контрольная сборка	15
7.3 Монтажная сборка соединений	15
7.4 Подготовка болтов, гаек и шайб	15
7.5 Подготовка контактных поверхностей	16
7.6 Сборка соединений	16
7.7 Натяжение болтов	17
7.8 Соединения на болтах без контролируемого натяжения	18
7.9 Контроль качества, приемка и герметизация соединений	19

Введение

Создание и развитие отечественных технологий и техники для освоения шельфовых нефтегазовых месторождений должно быть обеспечено современными стандартами, устанавливающими общие положения и правила проектирования, строительства и эксплуатации систем подводной добычи. Для решения данной задачи Министерством промышленности и торговли Российской Федерации и Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии реализуется «Программа по обеспечению нормативной документацией создания отечественной системы подводной добычи для освоения морских нефтегазовых месторождений». В объеме работ программы предусмотрена разработка национальных стандартов и предварительных национальных стандартов, областью применения которых являются системы подводной добычи углеводородов.

Целью разработки настоящего стандарта является установление общих правил и положений для выбора материалов и изготовления стальных конструкций систем подводной добычи углеводородов.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ

Изготовление стальных конструкций

Petroleum and natural gas industries. Subsea production systems. Steel structures fabrication

Срок действия — с 2023—09—30
до 2026—09—30

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает общие правила и положения для выбора материалов и изготовления стальных конструкций систем подводной добычи углеводородов, таких как манифольды и подводные фонтанные арматуры.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на морские сооружения, изготовленные из конструкционных сталей с пределом текучести не выше 500 МПа и допустимой температурой эксплуатации от минус 14 °С до плюс 40 °С.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

- ГОСТ 25.506 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении
- ГОСТ 1759.0 Болты, винты, шпильки и гайки. Технические условия
- ГОСТ 7798 Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры
- ГОСТ 20799 Масла индустриальные. Технические условия
- ГОСТ 23683 Парафины нефтяные твердые. Технические условия
- ГОСТ 25726 Клейма ручные буквенные и цифровые. Типы и основные размеры
- ГОСТ ISO/IEC 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий
- ГОСТ Р 8.752—2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений крутящего момента силы
- ГОСТ Р 58905 (ISO/TR 25901-3:2016) Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 3. Сварочные процессы
- ГОСТ Р 59304 Нефтяная и газовая промышленность. Системы подводной добычи. Термины и определения
- ГОСТ Р ИСО 4063 Сварка и родственные процессы. Перечень и условные обозначения процессов
- ГОСТ Р ИСО 9016 Испытания разрушающие сварных швов металлических материалов. Испытание на ударный изгиб. Расположение образца для испытания, ориентация надреза и испытание
- ГОСТ Р ИСО 9606-1 Аттестационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 1. Стали
- ГОСТ Р ИСО 14732 Персонал, выполняющий сварку. Аттестационные испытания сварщиков-операторов и наладчиков для полностью механизированной и автоматической сварки металлических материалов

Издание официальное

1

ГОСТ Р ИСО 15607 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Общие правила

ГОСТ Р ИСО 15609-1 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 1. Дуговая сварка

ГОСТ Р ИСО 15614-1—2009 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Проверка процедуры сварки. Часть 1. Дуговая и газовая сварка сталей и дуговая сварка никеля и никелевых сплавов

ПНСТ 595—2022 Нефтяная и газовая промышленность. Системы подводной добычи. Общие характеристики и правила применения конструкционных сталей для строительных конструкций

СП 16.13330 «СНиП II-23—81* Стальные конструкции»

СП 43.13330 «СНиП 2.09.03—85 Сооружения промышленных предприятий»

СП 70.13330 «СНиП 3.03.01—87 Несущие и ограждающие конструкции»

П р и м е ч а н и е — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 59304 и ГОСТ Р 58905.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

KCC — контрольные стыковые соединения;

ЗТВ — зона термического влияния;

CEV — эквивалентный коэффициент углерода (carbon equivalent level), определяемый по формуле

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (1)$$

где каждое слагаемое правой части уравнения — процентное содержание элемента в металле;

SQL — уровень качества стали (steel quality level);

WPS — технические требования к процедуре сварки (welding procedure specification);

WPQR — протокол аттестации процедуры сварки (welding procedure qualification record).

4 Выбор сталей

Уровень качества стали рекомендуется определять в зависимости от выбранного проектного класса сталей.

Соответствие между SQL I, II, III или IV и марками стали приведено в ПНСТ 595—2022.

5 Квалификация технологии сварки и аттестация сварщиков

5.1 Карта WPS

Процесс квалификации технологии сварки металлических материалов должен соответствовать ГОСТ Р ИСО 15607. Карта WPS должна быть разработана в соответствии с ГОСТ Р ИСО 15609-1.

5.2 Аттестация процедуры сварки

Для технологий, используемых при сварке конструкций, SQL I или II (для всех значений предела текучести) и SQL III (для сталей с пределом текучести 355 МПа и выше) проводят квалификацию технологии сварки в соответствии с ГОСТ Р ИСО 15614-1 и положениями настоящего стандарта.

Квалификация технологии сварки, в первую очередь, действительна для организации (компании), выполняющей сварку КСС, а также и для дочерних и смежных организаций, использующих общую с основной организацией (компанией) систему управления качеством.

WPQR должен, как минимум, содержать:

- титульный лист, содержащий основные сварочные параметры, эскиз КСС и результаты проведения неразрушающего контроля и механических испытаний КСС;
- лист мониторинга сварочных параметров, заполняемый вручную ответственным за квалификацию технологии лицом, во время сварки;
- сертификаты на свариваемые и присадочные материалы;
- протоколы с результатами неразрушающего контроля и механических испытаний;
- протоколы и графики термообработки (если она применялась после сварки);
- сертификат сварщика/оператора.

5.3 Протокол WPQR

5.3.1 Сварка сталей всех классов прочности

Область действия WPQR находится в пределах ограничений, указанных в ГОСТ Р ИСО 15614-1, со следующими дополнениями:

а) следует применять контроль погонной энергии в соответствии с 8.4.8 ГОСТ Р ИСО 15614-1—2009. Если испытания при квалификации технологии сварки (включая все механические испытания) выполнены с наибольшей и наименьшей погонной энергией, то все промежуточные значения погонной энергии также считаются квалифицированными;

б) если свариваемая сталь имеет коэффициент трещиностойкости $P_{cm} \geq 0,21$ или содержание углерода $C \geq 0,13$ %, то увеличение коэффициента P_{cm} более чем на 0,02 единицы или увеличение CEV (по формуле Международного института сварки) более чем на 0,03 единицы сверх значений для стали, использовавшейся для квалификации технологии сварки, требует проведения новой квалификации технологии сварки;

в) новая квалификация технологии сварки требуется при замене ковальной или прокатной стали на литую сталь или наоборот;

г) для сталей SQL I и II при любом пределе текучести и для сталей SQL III с пределом текучести выше 400 МПа при изменении состояния поставки стали (нормализованная, термомеханически обработанная и пр.) требуется новая квалификация технологии сварки;

д) при изменении в составе легирующих элементов или технологии изготовления стали с пределом текучести выше 400 МПа требуется новая квалификация технологии сварки;

е) при уменьшении угла скоса кромок более чем на 10° требуется новая квалификация технологии сварки;

ж) область квалификации технологии сварки угловых швов тавровых соединений, произведенная на толщине листа, равной или превышающей 30 мм, распространяется на все толщины листов и сварного шва. Однослойные угловые швы квалифицируют многослойные, но не наоборот;

и) область квалификации технологии сварки ручными методами (номера сварочных процессов 135 и 136 в соответствии с ГОСТ Р ИСО 4063) распространяется также на частично механизированную и механизированную сварку, но не наоборот;

к) испытание на трещиностойкость должно быть включено в квалификацию технологии сварки при толщине стали выше 50 мм для сталей SQL I и II при любом пределе текучести и для сталей SQL III с пределом текучести выше 400 МПа. Испытание на трещиностойкость должно быть включено в квалификацию технологии сварки для конструкций с толщиной стали менее 50 мм.

Испытание на трещиностойкость следует проводить для контрольных сварных соединений, сваренных при следующих условиях:

- сварка должна быть выполнена с максимально возможной (в производстве) погонной энергией;

- для аттестации должны быть использованы образцы стали и сварочные материалы, которые будут в дальнейшем применены в производстве (за исключением сварочных материалов, используемых только для корневых швов, при условии, что они будут полностью удалены механическим способом либо угольно-дуговой строжкой).

5.3.2 Сварка сталей с пределом текучести выше 500 МПа

В дополнение к положениям 5.3.1 для сварки сталей с пределом текучести выше 500 МПа применяются следующие:

- а) при смене производителя стали проводят повторную квалификацию технологии сварки;
- б) испытание на трещиностойкость должно быть проведено при толщине листа более 30 мм.

5.4 Испытания КСС

5.4.1 Общие положения

Вид и количество испытаний КСС указаны в таблице 1. Испытания следует проводить в соответствии с ГОСТ Р ИСО 15614-1 и положениями, приведенными ниже.

Сварные швы на КСС подвергают 100 %-ному неразрушающему контролю для обнаружения возможных поверхностных и объемных дефектов, вызванных воздействием сварки.

Испытательные лаборатории должны иметь систему качества в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025.

Таблица 1 — Вид и количество испытаний

Тип сварки	Толщина сварного шва	Количество образцов для механических испытаний				
		Растяжение	Статический изгиб ¹⁾	Ударный изгиб	Макроскопическое исследование и твердость ²⁾	Трещиностойкость
Стыковое соединение (листа и трубы) ³⁾	$t \leq 50$ мм $t > 50$ мм	2 2	4 4	4 6	1 1	2 2
Тавровое соединение (листы) ⁴⁾	$t \leq 50$ мм $t > 50$ мм	—	—	4 ⁵⁾ 6	2 2	6)
Угловое соединение труб ⁴⁾	$t \leq 50$ мм $t > 50$ мм	—	—	4 ⁵⁾ 6	2 2	—
Угловой шов без разделки	Все толщины	—	—	—	2	—

1) Испытания на статический изгиб следует проводить для двух образцов с гибом на лицевую сторону и для двух образцов с гибом на корневую сторону для $t < 12$ мм и четырех образцов для бокового изгиба для $t \geq 12$ мм.

2) К сварным швам на подводных конструкциях с катодной защитой предъявляются дополнительные требования по предельным значениям твердости согласно ГОСТ Р ИСО 15614-1.

3) При испытании КСС со стыковым швом должно быть подтверждено, что используемый сварочный расходный материал позволяет достичь необходимого предела прочности.

4) Квалификация, выполненная для тавровых сварных соединений, распространяется также на угловые сварные соединения труб и наоборот.

5) Если размеры КСС не позволяют проводить испытания с V-образным надрезом по Шарпи, то испытания должны быть проведены на КСС со стыковым швом, выполненным из такого же основного металла и с теми же сварочными расходными материалами, с толщиной в пределах разрешенной для процедуры аттестации сварки с V-образным надрезом по Шарпи.

6) Для тавровых соединений с толщиной основного металла $t > 50$ мм испытания на трещиностойкость должны быть выполнены на КСС со стыковым швом.

5.4.2 Испытание на ударный изгиб

Отбор образцов для испытаний на ударный изгиб с V-образным надрезом по Шарпи следует проводить в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9016.

Температура и уровни энергии для испытаний на ударный изгиб приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 — Температура и уровни энергии для испытаний на ударный изгиб

Толщина материала t , мм	Уровень качества стали							
	SQL I			SQL II			SQL III	
	Предел текучести σ_T МПа							
	$\sigma_T \leq 400$	$\sigma_T > 400$ $\sigma_T \leq 500$	$\sigma_T > 500$	$\sigma_T \leq 400$	$\sigma_T > 400$ $\sigma_T \leq 500$	$\sigma_T > 500$	$\sigma_T \geq 335$ $\sigma_T \leq 500$	$\sigma_T > 500$
	Температура проведения испытания, °C							
$t \leq 12$	0	минус 20	минус 20	0	0	минус 20	0	0
$12 < t \leq 25$	минус 20	минус 40	минус 40	0	минус 20	минус 40	0	минус 20
$25 < t \leq 50$	минус 40	минус 40	минус 40	минус 20	минус 40	минус 40	минус 20	минус 40
$50 < t$	минус 40	минус 40	минус 40	минус 40	минус 40	минус 40	минус 40	минус 40
	Минимальные значения поглощаемой энергии, Дж							
Для всех толщин ¹⁾	36	42	60	27	42	60	27	42

1) Приведены усредненные значения поглощенной энергии. Отдельные значения не должны быть ниже чем 70 % от приведенного минимального значения. Для неполноразмерных образцов высотой 7,5 мм уровень минимально допустимой поглощенной энергии составляет 5/6 от приведенного выше, а для образцов высотой 5 мм — 2/3 от приведенного.

5.4.3 Испытание на статическое растяжение (в поперечном направлении)

Испытания следует проводить в соответствии с ГОСТ Р ИСО 15614-1. Разрушение образца должно быть расположено вне материала сварного шва; максимум 20 % площади поверхности разрушения может состоять из металла сварного шва и ЗТВ.

5.4.4 Испытание на трещиностойкость

Испытания на трещиностойкость должны быть проведены согласно ГОСТ 25.506. Для испытаний используют образцы типа 3 и типа 4 по ГОСТ 25.506 (прямоугольный параллелепипед с соотношением сторон $1 \times 2 \times 9$ для трехточечной схемы нагружения).

По три образца должны быть взяты из ЗТВ (таким образом, чтобы надрез на образцах располагался в крупнозернистой области ЗТВ) и из материала сварного шва.

Температура испытания для минимально допустимой температуры эксплуатации минус 14 °C должна составлять:

- минус 10 °C для конструкций, работающих на поверхности воды и выше;
- 0 °C для погруженных под воду конструкций.

Другая температура испытаний может быть предписана разработчиком.

Испытание на трещиностойкость образцов из ЗТВ может быть отменено, если соответствующие свойства трещиностойкости в ЗТВ задокументированы ранее в соответствии с положениями настоящего стандарта.

Испытание на трещиностойкость образцов из металла сварного шва может быть отменено, если соответствующие свойства трещиностойкости в металле шва были задокументированы ранее в соответствии с положениями настоящего стандарта.

Испытания на трещиностойкость не обязательны для конструкций с толщиной стенки менее 40 мм и с пределом текучести не выше 500 МПа, а также для конструкций с толщиной стенки ниже 25 мм и пределом текучести выше 500 МПа.

5.5 Аттестация сварщиков и сварочных процедур

5.5.1 Сварщики должны быть аттестованы аккредитованным органом в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9606-1.

5.5.2 Операторы сварки должны быть аттестованы в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14732.

5.5.3 Для сварки Т-образных тройников на трубах с углом наклона между основной и притыкаемой трубами $\beta < 70^\circ$ аттестация сварщиков должна быть произведена на образце, соответствующем реальным конструкциям с углом наклона β , равным минимальному из всех углов на изготавливаемых конструкциях.

6 Болтовые соединения. Проектирование и расчет

6.1 Расчетные сопротивления соединений

6.1.1 Для болтовых соединений должны быть использованы крепежные элементы из легированной нержавеющей стали, устойчивой к коррозии.

6.1.2 Стальные строительные конструкции оборудования подводной добычи нефти и газа, в зависимости от степени ответственности и условий их эксплуатации, разделены на три группы:

- конструкции и их элементы, работающие в особо тяжелых условиях или подвергающиеся непосредственному воздействию знакопеременных, динамических, вибрационных или подвижных нагрузок (группа 1);

- конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке (группа 2);

- вспомогательные конструкции (группа 3).

6.1.3 Расчетные сопротивления одноболтовых соединений срезу и растяжению следует определять по таблице 3.

Таблица 3 — Расчетные сопротивления одноболтовых соединений срезу и растяжению

Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетные формулы для болтов классов прочности согласно ГОСТ 1759.0	
		10.9	12.9
Срез	R_{bs}	$0,4 R_{bun}$	
Растяжение	R_{bt}	$0,4 R_{bun}$	$0,5 R_{bun}$
R_{bun} — нормативное сопротивление стали болтов, принимаемое равным временному сопротивлению σ_b по стандартам на болты.			

6.1.4 Расчетные сопротивления одноболтовых соединений смятию соединяемых элементов из стали с пределом текучести не выше 440 МПа следует определять по таблице 4.

Таблица 4 — Расчетные сопротивления одноболтовых соединений смятию

Группа конструкций	Расчетные формулы одноболтовых соединений по смятию R_{bp} при расстояниях a вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия		
	$a \geq 3d_0$	$2d_0 \leq a < 3d_0$	$1,5d_0 \leq a < 2d_0$
1	$0,94R_{un}$	$0,94R_{un}$	$0,94R_{un}$
2	$1,48R_{un}$	$1,48R_{un}$	$1,17R_{un}$
3	$1,58R_{un}$	$1,48R_{un}$	$1,17R_{un}$
R_{un} — временное сопротивление стали соединяемых элементов разрыву. d_0 — номинальный диаметр отверстия.			

6.1.5 Болты в соединениях следует размещать в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5 — Размещение болтов

Характеристика расстояния при размещении болтов	Расстояние
1 Расстояние между центрами отверстий в любом направлении для всех видов соединений:	
а) минимальное	$2d_0^{1)}$
б) максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии	$8d_0$ или $12t$
в) максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков:	
- при растяжении;	$16d_0$ или $24t$
- сжатии	$12d_0$ или $18t$

Окончание таблицы 5

Характеристика расстояния при размещении болтов	Расстояние
2 Расстояние от центра отверстия до края элемента:	—
а) минимальное вдоль усилия	—
б) то же, поперек усилия:	—
- при обрезных кромках	$1,5d_0^{2)}$
- прокатных кромках	$1,5d_0$
в) максимальное	$1,2d_0$
г) минимальное для фрикционных соединений при любой кромке и любом направлении усилия	$4d_0$ или $8t$
	$1,3d_0$
1) В соединяемых элементах из стали с пределом текучести свыше 380 МПа минимальные расстояния следует принимать между центрами отверстий.	
2) В соединяемых элементах из стали с пределом текучести свыше 380 МПа минимальные расстояния следует принимать от центра отверстия до края элемента вдоль усилия.	

6.1.6 Номинальные диаметры отверстий для болтов различных диаметров приведены в таблице 6.

Т а б л и ц а 6 — Диаметры отверстий для болтов различных диаметров

Вид соединений	Номинальные диаметры отверстий, мм, при диаметре стержня болта, мм					
	12	16	20	22	24	27
Фрикционные	13	17	21	23	25	28
	14	19	23	24	28	30
	15	20	24	26	30	33
Срезные и фрикционно-срезные	13	17	21	23	25	28
	14	18	22	24	26	29
	15	19	23	25	27	30
Фланцевые	—	—	22	—	27	30
	—	—	23	—	28	31

6.1.7 В срезных и фрикционно-срезных соединениях резьба болта должна находиться вне отверстия или в отверстии на глубине не более половины толщины прилегающего к гайке элемента.

6.2 Срезные соединения

6.2.1 При действии продольной силы, проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между болтами следует принимать равномерным. При действии на соединение изгибающего момента распределение усилий между болтами должно быть пропорционально расстояниям от центра тяжести соединения до оси рассматриваемого болта (при треугольных эпюрах распределения усилий между болтами).

6.2.2 Болты, работающие на срез от одновременного действия продольной силы и изгибающего момента, необходимо проверять на равнодействующее усилие.

6.2.3 Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом, следует определять по формулам:

$$\text{на срез —} \quad N_{bs} = R_{bs} \cdot \gamma_{bs} \cdot A_b \cdot n_s; \quad (2)$$

$$\text{на смятие —} \quad N_{bp} = R_{bs} \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \Sigma t \cdot d_b, \quad (3)$$

где R_{bs} — определение по таблице 3;

R_{bp} — определение по таблице 4;

γ_{bs} ; γ_1 — коэффициенты условий работы соединения, зависящие от разности номинальных диаметров отверстий и болтов δ и принимаемые равными:

γ_{bs} : 0,9 — при $\delta = 1,0—3,0$ мм,

1,0 — при $\delta \leq 0,3$ мм;

γ_1 : 0,90 — при $\delta = 3,0$ мм,

0,95 — при $\delta = 2,0$ мм,

1,00 — при $\delta = 1,0$ мм,

1,05 — при $\delta \leq 0,3$ мм;

γ_2 — коэффициент условий работы соединения, зависящий от расстояний между центрами отверстий и от края элемента до центра ближайшего отверстия и принимаемый по таблице 7;

A_b — площадь сечения болта;

n_s — количество расчетных срезов одного болта;

Σt — наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;

d_b — номинальный диаметр болта.

Т а б л и ц а 7 — Коэффициент условий работы соединения

Расстояние b между центрами отверстий	Расстояние a от края элемента до центра ближайшего отверстия	Коэффициент условий работы соединения γ_2
$2,0d_0 \leq b < 2,5d_0$	$1,5d_0 \leq a < 2,0d_0$	0,90
$2,5d_0 \leq b < 3,0d_0$	$2,0d_0 \leq a < 2,5d_0$	0,95
$3,0d_0 \leq b < 3,5d_0$	$2,5d_0 \leq a < 3,0d_0$	1,00
$b \geq 3,5d_0$	$a \geq 3,0d_0$	1,05
d_0 — номинальный диаметр отверстия.		

В многорядных (вдоль усилия) соединениях при значениях расстояний b , промежуточных между указанными в таблице 7, коэффициент γ_2 следует определять линейной интерполяцией.

6.2.4 Количество болтов в соединении при действии продольной силы N следует определять по условию

$$n \geq \frac{N}{N_{\min}}, \quad (4)$$

где $N_{\min}$ — меньшее из значений расчетных усилий и для одного болта, вычисленных по формулам (2) и (3).

6.2.5 В креплениях одного элемента к другому через прокладки, а также в креплениях с односторонней накладкой количество болтов должно быть увеличено против расчета на 10 %.

6.2.6 Расчет на прочность соединяемых элементов, ослабленных отверстиями под болты, следует выполнять с учетом полного ослабления сечений отверстиями.

6.3 Фрикционные соединения

6.3.1 Фрикционные соединения следует рассчитывать в предположении передачи действующих в стыках и прикреплении усилий через трение, возникающее по соприкасающимся плоскостям соединяемых элементов от натяжения болтов на расчетное усилие.

6.3.2 При действии продольной силы, проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между болтами следует принимать равномерным. При действии на соединение изгибающего момента распределение усилий между болтами следует принимать равномерным (при прямоугольных эпюрах распределения усилий между болтами).

6.3.3 Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом, Q_{bh} следует определять по формуле

$$Q_{bh} = \frac{\mu \cdot \gamma_b \cdot p}{\gamma_h}, \quad (5)$$

где μ — коэффициент трения, принимаемый по таблице 8;

γ_b — коэффициент условий работы соединения, зависящий от количества болтов n , необходимых для восприятия расчетного усилия, принимаемый равным:

- 0,8 — при $n < 5$,
- 0,9 — при $5 \leq n < 10$,
- 1,0 — при $n \geq 10$;

γ_h — коэффициент надежности, принимаемый по таблице 8;

p — усилие предварительного натяжения болтов, определяемое по формуле

$$p = R_{bh} \cdot A_{bn}, \quad (6)$$

где R_{bh} — расчетное сопротивление растяжению высокопрочных болтов при их предварительном натяжении, равное

$$R_{bh} = 0,7 R_{bun}, \quad (7)$$

A_{bn} — площадь сечения болта нетто.

Т а б л и ц а 8 — Коэффициенты трения и надежности

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Коэффициент трения μ	Коэффициенты γ_h при нагрузке и при разности номинальных диаметров отверстий и болтов δ , мм	
		динамической при $\delta = 3—6$; статической при $\delta = 5—6$	динамической при $\delta = 1$; статической при $\delta = 1—4$
1 Дробеметный, дробеструйный или пескоструйный двух поверхностей без консервации	0,58	1,35	1,12
2 То же, с консервацией (металлизацией распылением цинка или алюминия)	0,50	1,35	1,12
3 Газопламенный двух поверхностей без консервации	0,42	1,35	1,12
4 Дробеметный, дробеструйный или пескоструйный одной поверхности, стальными щетками — другой поверхности	0,42	1,35	1,12
5 Стальными щетками двух поверхностей без консервации	0,35	1,35	1,17
6 Без обработки или с консервацией грунтом	0,25	1,70	1,30
7 Окрашенные поверхности	0,18	1,70	1,30

После дробеметной, дробеструйной или пескоструйной обработок контактных поверхностей на заводе — изготовителе металлоконструкций повторную обработку на монтаже допускается проводить стальными щетками по истечении не более 12 мес. При этом расчетное значение коэффициента трения μ принимают равным 0,42, а коэффициента надежности γ_h — как для газопламенного способа очистки.

6.3.4 Количество болтов в соединении при действии продольной силы N следует определять по условию

$$n \geq \frac{N}{n_f \cdot Q_{bh}}, \quad (8)$$

где n_f — количество поверхностей трения соединяемых элементов.

6.3.5 Расчет на прочность соединяемых элементов, ослабленных отверстиями под болты, следует выполнять с учетом того, что половина усилия, приходящегося на каждый болт в рассматриваемом

сечении, уже передана силами трения. При этом проверку ослабленных сечений следует проводить: при динамических нагрузках — по площади сечения нетто A_n , при статических нагрузках — по площади сечения брутто A при $A_n \geq 0,85A$ либо по условной площади $A_c = 1,18A_n$ при $A_n < 0,85A$.

6.3.6 Расчет на выносливость фрикционных соединений следует выполнять в соответствии с СП 16.13330, относя эти элементы к группе конструкций 1 (таблица 4).

6.3.7 В двухсрезных фрикционных соединениях, воспринимающих статические нагрузки, допускается применение средних элементов, увеличенных до $d_{oh} < d_{oc} \leq 1,3d_{oh}$ или с овальными отверстиями с большой осью овала до $2,5d_{oh}$, при этом расчетное усилие Q_{bh} следует определять по формуле

$$Q_{bh} = \frac{\mu \cdot \gamma_b \cdot P \cdot \gamma_F \cdot \gamma_\delta}{\gamma_h}, \quad (9)$$

где γ_F — коэффициент, зависящий от формы и размеров отверстий, принимаемый равным:

- 0,87 — при $d_{oc} \leq 1,3d_{oh}$ или овальных отверстий с большой осью овала до $1,45d_{oh}$,
- 0,70 — при овальных отверстиях с большой осью овала до $2,5d_{oh}$;

где d_{oh} — номинальный диаметр отверстий в накладках;

d_{oc} — номинальный диаметр отверстий в средних элементах;

γ_δ — коэффициент, зависящий от толщины накладок в двухсрезных соединениях, принимаемый равным:

- 1,0 — при толщине накладок $t \geq 0,7d_{oh}$,
- 0,95 — при $0,6d_{oh} < t < 0,7d_{oh}$,
- 0,84 — при $0,4d_{oh} < t < 0,6d_{oh}$.

6.4 Фрикционно-срезные соединения

6.4.1 Фрикционно-срезные соединения применяют в тех конструкциях, в которых перемещения сдвига в соединениях регламентированы разностью номинальных диаметров отверстий и болтов $\delta \leq 2$ мм в случае воздействия усилий одного знака с коэффициентом асимметрии напряжений $\rho > 0$, а также при воздействии знакопеременных усилий, когда меньшее из них может быть передано только силами трения. В тех конструкциях, в которых перемещения сдвига не ограничены, допускается принимать $\delta = 3$ мм.

6.4.2 Расчет фрикционно-срезных соединений предусмотрен с учетом критерия деформативности исходя из условия ограничения жесткости соединений величиной пластических деформаций соединяемых элементов, не превышающих 1,0 мм при воздействии динамических и 3,5 мм — статических нагрузок.

6.4.3 Распределение усилий между болтами аналогично распределению усилий в срезных соединениях.

6.4.4 Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом, следует определять по формулам:

- на срез — по формуле (2);
- на смятие с учетом трения

$$N_{bh} = N_{bp} + K_u \cdot Q_{bh} \cdot n_f \quad (10)$$

где N_{bp} — расчетное усилие на смятие, определяемое по формуле (3);

Q_{bh} — расчетное усилие, воспринимаемое силами трения, определяемое по формуле (5);

K_u — коэффициент, учитывающий снижение предварительного натяжения болтов после общего сдвига в соединении, принимаемый равным:

- 0,9 — при разности номинальных диаметров отверстий и болтов $\delta \leq 0,3$ мм,
- 0,85 — при $\delta = 1,0$ мм,
- 0,80 — при $\delta = 2,0$ мм,
- 0,75 — при $\delta = 3,0$ мм;

n_f — количество поверхностей трения соединяемых элементов.

6.4.5 Количество болтов n в соединении при действии продольной силы N следует определять по формуле

$$n \geq \frac{N}{N_{\min}}, \quad (11)$$

где $N_{\min}$ — меньшее из значений расчетных усилий N_{bs} и N_{bh} для одного болта, вычисленных по формулам (2) и (10).

6.4.6 Прочность элементов, ослабленных под болты, следует проверять с учетом полного ослабления сечений отверстиями под болты.

6.4.7 В односрезных соединениях количество болтов должно быть увеличено против расчета на 10 %.

6.4.8 Расчет на выносливость фрикционно-срезных соединений следует выполнять в соответствии с СП 16.13330, относя соединения с элементами из стали с временным сопротивлением разрыву более 420 МПа ко 2-й группе конструкций, менее 420 МПа — к 3-й группе (таблица 4).

6.5 Фланцевые соединения

6.5.1 Рекомендации настоящего раздела следует соблюдать при проектировании, изготовлении и монтажной сборке фланцевых соединений элементов открытого профиля (двутавров, тавров, швеллеров и т. п.) стальных конструкций, подверженных растяжению, растяжению с изгибом при однозначной эпюре растягивающих напряжений $\sigma_{\min}/\sigma_{\max} \geq 0,5$, а также действию местных поперечных усилий.

Рекомендации не распространяются на фланцевые соединения: воспринимающие знакопеременные нагрузки, а также многократно действующие подвижные, вибрационные или другого вида нагрузки с числом циклов свыше 10^5 при коэффициенте асимметрии напряжений в соединяемых элементах $\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} \leq 0,8$, эксплуатируемые в сильноагрессивной среде.

6.5.2 Фланцевые соединения следует выполнять только с предварительно напряженными высокопрочными болтами. Предварительное натяжение болтов B_0 для расчетов следует принимать равным

$$B_0 = 0,9B_p = 0,9R_{bh} \cdot A_{bn}, \quad (12)$$

где B_p — расчетное усилие растяжения болта;

$R_{bh} = 0,7R_{bun}$ — расчетное сопротивление растяжения болтов;

R_{bun} — нормативное сопротивление стали болтов;

A_{bn} — площадь сечения болта нетто.

6.5.3 При конструировании фланцевых соединений болты следует располагать безмоментно относительно центра тяжести соединяемого элемента с учетом неравномерности распределения внешних усилий между болтами наружной и внутренней зон в соответствии с таблицей 9. Предельное усилие на один болт внутренней зоны следует принимать $N_i = 0,9B_p$.

Т а б л и ц а 9 — Распределение усилий между болтами

Диаметр болта	Толщина фланца, мм	Отношение внешнего усилия на один болт внутренней зоны к внешнему усилию на один болт наружной зоны $k = N_i/N_e$
M20	16	2,5
	20	1,7
	25	1,4
	30	1,2
M24	20	2,6
	25	1,8
	30	1,5
	40	1,1
M27	25	2,1
	30	1,7
	40	1,2

Болты следует располагать как можно ближе к элементам присоединяемого профиля, при этом

$$k_f + \frac{d_s}{2} + 2 \leq b_1 \leq 3,5d, \text{ мм}; \quad (13)$$

где k_f — ширина катета углового шва шейки фланца, мм;

d_s — наружный диаметр шайбы, мм;

b_1 — расстояние от оси болта до шейки фланца, мм;

d — наружный диаметр стержня болта, мм.

6.5.4 Количество болтов внутренней зоны определяет конструктивная форма соединения, а наружной зоны предварительно назначается исходя из условия

$$n_e \geq k \left(\frac{N}{N_i} - n_i \right), \quad (14)$$

где n_e, n_i — количество болтов соответственно наружной и внутренней зон;

N — внешнее усилие на фланцевое соединение.

6.5.5 Фланцевые соединения растянутых элементов конструкций проверяют расчетом на прочность: болтов; фланцев на изгиб; соединения при воздействии поперечных усилий; сварного соединения фланца с профилем.

6.5.6 Прочность фланца и болтов, относящихся к внутренней зоне, следует считать обеспеченной, если толщина фланца находится в пределах от 20 до 40 мм, болты расположены в соответствии с 6.5.3, а нагрузка на болт от действия внешних усилий не превышает $0,9B_p$.

6.5.7 При расчете на прочность болтов и фланца, относящихся к наружной зоне, выделяют участки фланца, которые рассматривают как Т-образные фланцевые соединения шириной ω .

Прочность соединения следует считать обеспеченной, если

$$N \leq n_i N_i + \sum_{j=1}^{n_e} N_j, \quad (15)$$

где N_j — расчетное усилие на j -й болт наружной зоны, равное

$$N_j = \min(N_{bj}, N_{fj}), \quad (16)$$

где N_{bj} — расчетное усилие на j -й болт, определяемое из условия прочности соединения по болтам по формуле

$$N_{bj} = (\alpha - \beta \lg \chi_j) B_p, \quad (17)$$

α, β — коэффициенты, принимаемые по таблице 10;

χ_j — параметр жесткости болта, определяемый по формуле

$$\chi_j = \frac{d^2}{\omega_j \left(t + \frac{d}{2} \right)} \left(\frac{b_j}{t} \right)^3 L, \quad (18)$$

где ω_j — ширина j -го участка фланца;

t — толщина фланца;

b_j — расстояние от оси j -го болта до края сварного шва;

N_{fj} — расчетное усилие на j -й болт, определяемое из условия прочности фланца на изгиб

$$N_{fj} = 1,3 \frac{1 + \frac{1}{\mu_j} \gamma_j}{\mu_j} B_p, \quad (19)$$

μ_j — параметр, определяемый по формуле

$$\mu_j = \frac{5,4 B_p b_j}{R_y \omega_j t^2}; \quad (20)$$

γ_j — параметр, определяемый по таблице 11 или по уравнению

$$1,4 \chi_j (\gamma_j - 1)^3 - \gamma_j^2 + \mu_j \gamma_j (\gamma_j - 1) = 0; \quad (21)$$

R_y — расчетное сопротивление стали фланца.

Таблица 10 — Коэффициенты прочности соединения

Отношение толщины фланца к диаметру болта t/d	Коэффициенты	
	α	β
0,83	0,336	0,207
1,04	0,388	0,257
1,25	0,425	0,278
1,46	0,470	0,270
1,67	0,527	0,239

Таблица 11 — Параметры жесткости болта

Параметр жесткости болта χ_i	Значения γ_i при μ_i равном									
	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	4,0	5,0
0,02	3,252	2,593	2,221	1,986	1,826	1,710	1,586	1,499	1,333	1,250
0,06	2,960	2,481	2,171	1,962	1,812	1,702	1,582	1,497	1,333	1,250
0,1	2,782	2,398	2,130	1,939	1,799	1,694	1,578	1,494	1,332	1,249
0,5	2,186	2,036	1,908	1,776	1,711	1,636	1,545	1,475	1,327	1,248
1,0	1,949	1,860	1,780	1,707	1,643	1,586	1,514	1,454	1,321	1,246
2,0	1,757	1,704	1,653	1,607	1,564	1,524	1,470	1,424	1,312	1,242
3,0	1,660	1,621	1,584	1,548	1,515	1,483	1,440	1,402	1,303	1,238
4,0	1,599	1,568	1,537	1,508	1,480	1,454	1,417	1,384	1,296	1,235
5,0	1,555	1,529	1,503	1,478	1,454	1,431	1,399	1,370	1,289	1,232
6,0	1,522	1,498	1,476	1,454	1,433	1,413	1,384	1,357	1,283	1,230
8,0	1,473	1,454	1,436	1,418	1,401	1,384	1,360	1,337	1,273	1,224
10	1,438	1,422	1,406	1,391	1,377	1,362	1,341	1,322	1,264	1,219
15	1,381	1,369	1,358	1,346	1,335	1,324	1,308	1,293	1,247	1,210

6.5.8 Прочность фланцевого соединения на действие местной поперечной силы Q_{loc} следует проверять по условию

$$Q_{loc} \leq \mu \sum_{j=1}^n R_j, \quad (22)$$

где μ — коэффициент трения соединяемых поверхностей фланцев, принимаемый по таблице 8;

n — количество болтов наружной зоны для фланцевых соединений элементов открытого профиля или общее количество болтов для соединений элементов замкнутого профиля;

R_j — контактные усилия, принимаемые равными $0,1B_0$ для фланцевых соединений элементов замкнутого профиля, а для элементов открытого профиля определяемые по формуле

$$R_j = B_p - 1,2N_{bj}. \quad (23)$$

При отсутствии местной поперечной силы в расчет вводят условное значение $Q_{loc} = 0,1\mu N$. Расчет сварного соединения фланца с профилем следует проводить в соответствии с СП 16.13330.

7 Изготовление и монтаж конструкций с болтовыми соединениями

7.1 Изготовление

7.1.1 Прокат перед запуском в производство должен быть проверен на соответствие сопроводительной документации, отсутствие недопустимых прогибов, местных вмятин, трещин, расслоений, отклонений от геометрических размеров.

7.1.2 Резка заготовок фасонного и листового прокатов допускается как механическим, так и термическим способом. При этом кромки элементов конструкций, работающих на растяжение, а также выполненных из стали с нормативным пределом текучести свыше 350 МПа, должны быть подвергнуты механической обработке на глубину не менее 20 % от толщины элемента.

7.1.3 Все отверстия для болтовых монтажных соединений должны быть образованы на проектный диаметр на предприятии — изготовителе стальных конструкций, за исключением оговоренных в проектной документации.

7.1.4 Образование отверстий следует производить сверлением на поточных линиях, станках с числовым программным управлением (ЧПУ), по кондукторам, а в случае отсутствия оборудования — по шаблонам с обеспечением точности в соответствии с заданной в проекте изделия или настоящем стандарте. Для нерасчетных конструктивных болтовых соединений допускается образование отверстий по наметке.

7.1.5 В нерасчетных соединениях допускается образование отверстий продавливанием для сталей с нормативным пределом текучести не выше 350 МПа при соотношении толщины металла t и диаметра отверстия d_0 не более 0,7 при $t \leq 20$ мм.

7.1.6 В расчетных соединениях допускается продавливание отверстий на меньший диаметр, но не более $0,75d_0$, при толщине металла не более чем $0,8d_0$ с последующим рассверливанием на проектный диаметр d_0 .

7.1.7 Предельное отклонение диаметра отверстий — не более 0,6 мм для отверстий диаметром до 28 мм и не более 0,9 мм — свыше 28 мм.

7.1.8 Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий, при отсутствии указаний в проектной документации: между центрами отверстий в группе назначают равными $\pm 1,0$ мм, в том числе по диагонали; между группами — $\pm 0,5$ мм на каждый метр расстояния между ними.

7.1.9 Предельное отклонение размеров соединяемых элементов l должно составлять не более $\pm 3,0$ мм при $l \leq 6$ м и $\pm 0,5$ мм на каждый метр длины при $l > 6$ м.

7.1.10 Толщины накладок не должны превышать для болтов по ГОСТ 7798:

- M12 — 12 мм;
- M16 — 16 мм;
- M20 — 20 мм;
- M24 — 25 мм;
- M27 — 30 мм.

При необходимости применения накладок большей толщины следует применять двухслойные накладки или болты большего диаметра.

7.1.11 Не рекомендуется применение соединений, в которых суммарная толщина элементов превышает для болтов по ГОСТ 7798:

- M12 — 40 мм;
- M16 — 50 мм;
- M20 — 60 мм;
- M24 — 100 мм;
- M27 — 140 мм.

7.1.12 Для фланцевых соединений необходимо, как правило, применять следующие сочетания диаметров болтов и толщин фланцев по ГОСТ 7798:

- M20 — 20 мм;
- M24 — 25 мм;
- M27 — 30 мм.

7.1.13 Сборку элементов конструкций с фланцевыми соединениями следует выполнять в кондукторах. Базовые поверхности кондукторов и внешние поверхности фланцев после сварки должны быть подвергнуты фрезерованию. Тангенс угла отклонения поверхности фланца не должен превышать 0,0007 в каждой из двух плоскостей.

7.1.14 Отправочные марки конструкций должны быть огрунтованы или окрашены (по соглашению с заказчиком), за исключением контактных поверхностей фрикционных и фрикционно-срезных соединений, а также контактных поверхностей фланцев в том случае, если это указано в проектной документации.

7.2 Контрольная сборка

7.2.1 Контрольную сборку конструкций осуществляют в соответствии с проектной и технологической документацией. Несовпадение отверстий (чернота) проверяют калибром диаметром на 0,5 мм больше номинального диаметра болта. Калибр должен проходить в 100 % отверстий каждого соединения.

7.2.2 Зазоры между соединяемыми элементами контролируют щупом толщиной 0,3 мм, между фланцами — щупом толщиной 0,1 мм. Щуп не должен проникать в зону, ограниченную радиусом $1,3d_0$ от оси болта после затяжки всех болтов соединения на проектное усилие.

7.3 Монтажная сборка соединений

7.3.1 Работы по возведению зданий и сооружений с соединениями на болтах следует проводить в соответствии с утвержденным проектом производства работ, рабочей документацией и СП 70.13330.

7.3.2 Данные о производстве монтажных работ следует ежедневно вносить в журналы работ по монтажу и выполнению соединений на болтах с контролируемым натяжением.

7.3.3 Применяемые конструкции должны соответствовать рабочим чертежам, а метизы — стандартам или техническим условиям, приведенным в ГОСТ 1759.0. Каждая партия болтов, гаек и шайб должна быть снабжена сертификатом качества с указанием результатов механических испытаний.

7.3.4 Качество резьбы болтов и гаек контролируют резьбовыми калибрами.

7.3.5 Крепежные изделия следует хранить в защищенном от атмосферных осадков месте, рассортированными по классам прочности, диаметрам и длинам, а высокопрочные болты и гайки — дополнительно по партиям.

7.3.6 При сборке монтажных элементов должны быть обеспечены устойчивость и неизменяемость их положения в пространстве на всех стадиях монтажа.

7.3.7 Выполнение соединений на болтах с контролируемым натяжением (фрикционные, фрикционно-срезные и фланцевые соединения) и их приемку следует проводить под руководством лица, назначенного ответственным за выполнение этого вида соединений приказом по организации, производящей эти работы. К выполнению соединений допускается персонал, прошедший соответствующую подготовку и имеющий удостоверение о допуске к указанным работам.

7.3.8 Технологический процесс выполнения соединений предусматривает следующие операции:

- подготовку болтов, гаек и шайб;
- подготовку контактных поверхностей элементов и деталей;
- сборку соединений;
- натяжение болтов на проектное усилие;
- контроль качества выполнения соединений;
- герметизацию соединений и огрунтовку стыков;
- установку клейма бригадира и ответственного лица;
- занесение результатов выполнения и контроля качества соединений в журнал выполнения монтажных соединений на болтах с контролируемым натяжением.

7.4 Подготовка болтов, гаек и шайб

7.4.1 Технологический процесс подготовки болтов, гаек и шайб, предназначенных для соединений с контролируемым натяжением болтов, включает расконсервацию, очистку от грязи и ржавчины, прогонку резьбы отбракованных болтов и гаек и нанесение смазки.

7.4.2 Расконсервацию болтов, гаек и шайб и нанесение смазки на болты и гайки следует проводить кипячением в воде (10—15 мин) с последующей промывкой в горячем состоянии в смеси, состоящей из неэтилированного бензина от 70 % до 75 % и минерального масла от 30 % до 25 % по ГОСТ 20799. Применяемое соотношение бензина и масла должно обеспечивать на поверхности болтов и гаек тонкий слой смазки.

7.4.3 Подготовленные метизы следует хранить в закрытых ящиках без доступа атмосферных осадков не более 10 дней, так как при более длительном хранении смазка испаряется, увеличивается трение в резьбе и снижается усилие натяжения болтов.

7.4.4 Для прогонки резьбы отбракованных болтов и гаек рекомендуется применять соответствующим образом оборудованные пневматические или электрические гайковерты, а также метчики и плашки соответствующего диаметра.

7.4.5 В случае превышения срока хранения, а также после прогонки резьбы метизы должны быть обработаны повторно.

7.4.6 В качестве смазки резьбы допускается применение твердых сортов парафина по ГОСТ 23683. Очистку болтов, гаек и шайб от заводской консервирующей смазки в данном случае осуществляют кипячением в воде с добавлением моющего средства. Парафин можно наносить на весь комплект (болт, гайка и две шайбы) или только на гайки.

7.5 Подготовка контактных поверхностей

7.5.1 Способ обработки контактных поверхностей фрикционных, фрикционно-срезных и фланцевых соединений указывают в чертежах металлических конструкций.

7.5.2 Контактные поверхности элементов соединений на болтах без контролируемого натяжения должны быть очищены от загрязнений металлическими щетками.

7.5.3 Обработанные поверхности следует предохранять от попадания на них грязи, масла и краски, а также от образования льда. Грязь удаляют металлическими щетками, масло — растворителями, краску и лед — нагревом.

7.5.4 В случае превышения срока с момента подготовки контактных поверхностей до сборки соединения более 3 сут следует проводить повторную обработку способом, применявшимся при первичной обработке.

7.5.5 Положения о выполнении повторной обработки не распространяются на налет ржавчины, образующийся на контактных поверхностях после их очистки, а также в случае попадания на них атмосферных осадков в виде влаги или конденсации водяных паров.

7.5.6 Допускается повторная огневая обработка взамен пневматической, при этом в качестве горючего газа может быть использован пропан.

7.6 Сборка соединений

7.6.1 Технологический процесс сборки соединений предусматривает:

- осмотр конструкций и проверку соответствия геометрических размеров, указанных на рабочих чертежах;
- совмещение отверстий и фиксацию в проектом положении элементов и деталей соединения с помощью монтажных оправок;
- постановку болтов в свободные от оправок отверстия;
- натяжение поставленных болтов на усилие, предусмотренное в проекте;
- извлечение оправок, постановку в освободившиеся отверстия болтов и натяжение их на расчетное усилие.

Не допускается установка болтов в отверстия, образованные ручной газовой резкой или сваркой.

7.6.2 Перепад толщин перекрываемых накладками элементов, определяемый до постановки накладок с помощью линейки и щупа, не должен превышать 0,5 мм.

7.6.3 При перепаде плоскостей соединяемых элементов от 0,5 до 3,0 мм для обеспечения плавного изгиба накладки кромку выступающего элемента следует удалить наждачным камнем на расстоянии не менее 30 мм от края. При перепаде более 3,0 мм следует применять прокладки, что должно быть согласовано с разработчиком проекта.

7.6.4 Чернота (несовпадение отверстий в отдельных деталях собранного пакета) не должна превышать разности номинальных диаметров отверстий и болтов и не препятствовать свободной, без перекоса, постановке болтов в отверстия.

7.6.5 В собранном пакете болты заданного в проекте диаметра должны проходить в 100 % отверстий. Допускается прочистка 20 % отверстий сверлом или коническим райбером, диаметр которого на 1,0 мм превышает номинальный диаметр болта.

7.6.6 Запрещается применение в расчетных соединениях болтов, не имеющих клейма предприятия-изготовителя и маркировки, обозначающей класс прочности.

7.6.7 Каждый болт устанавливают в соединение с двумя круглыми шайбами (одну ставят под головку болта, другую — под гайку). Высокопрочные болты с увеличенным размером головки под ключ при разности номинальных диаметров отверстий и болтов до 4 мм допускается устанавливать с одной шайбой под вращаемым элементом (гайкой или головкой болта).

7.6.8 В срезных соединениях допускается установка под гайкой двух шайб.

7.6.9 В момент установки болтов гайки должны свободно, от руки, навинчиваться по резьбе, в противном случае гайку или болт следует заменить, а отбракованные болты и гайки отправить на прогонку резьбы и повторную подготовку.

7.6.10 При расчете соединений на действие монтажных нагрузок работу оправок и болтов допускается учитывать совместно. Количество оправок и болтов на каждой стадии устройства соединений следует определять по расчету на действие монтажных нагрузок.

7.6.11 Количество оправок по условию совмещения отверстий должно составлять 10 % от количества отверстий в соединении, но не менее 2 шт., а количество стяжных болтов — от 15 % до 20 %.

7.6.12 Освобождение оправок допускается после установки во все свободные отверстия болтов и натяжения их на усилие не менее 30 % от проектного. Освобождение оправок ведут поочередно с постановкой заменяющих их болтов.

7.6.13 Места и стадии установки оправок указывают в проекте производства работ.

7.6.14 Длины болтов фрикционных и фланцевых соединений назначают в зависимости от суммарной толщины собираемого пакета в соответствии с таблицей 12. При этом выступающая над гайкой резьба должна иметь не менее одного витка, а под гайкой оставаться не менее двух витков с полным профилем.

Таблица 12 — Толщина болтов и шайб

Длина болта, мм	Толщина пакета при условии установки двух шайб для болтов диаметром, мм									
	12	16	20	22	24	27	30	36	42	48
30	0—10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	13—20	0—16	0—12	—	—	—	—	—	—	—
50	23—30	16—26	8—22	0—18	0—14	0—11	—	—	—	—
60	33—40	26—36	18—32	15—28	11—24	6—21	0—18	—	—	—
70	43—50	36—46	28—42	25—38	21—34	16—31	10—28	0—20	—	—
80	53—60	46—56	38—52	35—48	31—44	26—41	20—38	8—30	0—24	—
90	63—70	56—66	48—62	45—58	41—54	36—51	30—48	18—40	8—34	0—30
100	73—80	66—76	58—72	55—68	51—64	46—61	40—58	28—50	18—44	6—40
120	93—100	86—96	78—92	75—88	71—84	66—81	60—78	48—70	38—64	20—60
140	—	106—116	98—112	95—108	81—104	86—101	80—98	68—90	58—84	40—80
160	—	126—136	118—132	115—128	111—124	106—121	100—118	88—110	78—104	60—100
180	—	—	138—152	135—149	131—144	126—141	120—138	108—130	98—124	80—120
200	—	—	—	155—168	151—164	146—161	140—158	128—150	108—144	100—140
220	—	—	—	—	171—184	166—181	160—178	148—170	128—164	120—160

7.6.15 Длины болтов фрикционно-срезных и срезных соединений подбирают таким образом, чтобы резьба не попадала в плоскости среза и отстояла от ближайшей из них на расстоянии не менее 5 мм или не менее половины толщины элемента, прилегающего к гайке.

7.6.16 Натяжение болтов на проектное усилие производят после выверки в пространстве и проверки геометрических размеров собираемых конструкций.

7.7 Натяжение болтов

7.7.1 Натяжение болтов на проектное усилие обеспечивают регулированием усилий по моменту закручивания.

7.7.2 Натяжение болтов следует производить от середины соединения или от наиболее жесткой его части по направлению к свободным краям. Если суммарная толщина соединяемых элементов превышает два диаметра болта, количество обходов должно быть не менее двух.

7.7.3 Если при натяжении болта поворот гайки происходит без увеличения крутящего момента, то болт и гайка подлежат замене.

7.7.4 Натяжение болтов допускается как за гайку, так и за головку болта. Гайки или головки болтов в соединении, затянутом на проектное усилие, отмечают краской или мелом.

7.7.5 Регулирование усилий натяжения болтов осуществляют в следующем порядке:

- плотно стягивают пакет посредством натяжения от 15 % до 20 % поставленных болтов (стяжных) до усилия от 80 % до 100 % от проектного усилия, равномерно их распределяя по полю соединения, при этом расположение стяжных болтов в непосредственной близости от оправок обязательно;
- все поставленные болты, включая стяжные, затягивают на проектное усилие;
- оправки заменяют болтами и затягивают их на проектное усилие.

7.7.6 Предварительное натяжение болтов до 80 %—90 % от проектного выполняют гайковертами с последующей дотяжкой динамометрическими тарированными ключами. При числе болтов в соединении не более четырех и в труднодоступных местах натяжение болтов динамометрическими ключами допускается за один прием.

7.7.7 Передаваемый ключом момент закручивания необходимо регистрировать во время движения ключа в направлении, увеличивающем натяжение болта. Затяжку следует производить плавно, без рывков.

7.7.8 Динамометрические ключи должны быть пронумерованы и протарированы. Тарировку ключей следует проводить перед началом смены с применением стенда СТП-2000 или другого типа прибора либо контрольными грузами (гирями) в соответствии с ГОСТ Р 8.752—2011 (пункт 4.1.1). Результаты тарировки должны быть занесены в журнал тарировки ключей.

7.7.9 Отклонение фактической величины момента закручивания от расчетной — не более 15 %. Недотяжка болтов не допускается.

7.8 Соединения на болтах без контролируемого натяжения

7.8.1 При выполнении соединений на болтах без контролируемого натяжения болты, гайки и шайбы устанавливают в соединения без удаления заводской консервирующей смазки, а при ее отсутствии резьбу болтов и гаек смазывают минеральным маслом по ГОСТ 20799.

7.8.2 Контактные поверхности элементов и деталей перед сборкой соединений должны быть осмотрены и очищены от заусенцев, грязи, рыхлой ржавчины, отстоящей окалины и льда. Очистку проводят в соответствии с 7.5. Заусенцы удаляют электрическими или пневматическими шлифовальными машинами.

7.8.3 Сборку соединений выполняют в соответствии с 5.4. Болты затягивают до отказа монтажными ключами с усилием 294 Н (30 кгс) — 343 Н (35 кгс) и длиной рукоятки: 200—250 мм — для болтов М12; 300—350 мм — М16; 350—400 мм — М20; 400—450 мм — М22; 500—550 мм — М24; 550—600 мм — М27.

7.8.4 Для предотвращения самоотвинчивания гайки дополнительно закрепляют постановкой специальных шайб или контргаек. Для болтов, работающих на растяжение, закрепление гаек следует осуществлять исключительно постановкой контргаек. Запрещены приварка гаек к резьбе болтов и к элементам соединений, а также забивка выступающей из гайки резьбы.

7.8.5 В конструкциях, воспринимающих статические нагрузки, гайки болтов, затянутых на усилие свыше 50 % от расчетного предела прочности, допускается дополнительно не закреплять.

7.8.6 Гайки и головки болтов, в том числе фундаментных, после натяжения должны плотно (без зазоров) соприкасаться с плоскостями шайб или элементов конструкций, а стержни болтов выступать из гаек (контргаек) не менее чем на один виток резьбы с полным профилем. Плотность стяжки собранного пакета надлежит проверке щупом толщиной 0,3 мм, который не должен проникать в зону, ограниченную радиусом $1,3d_0$ от центра болта, где d_0 — номинальный диаметр отверстия.

Фундаментные (анкерные) болты должны быть затянуты в соответствии с СП 43.13330.

7.8.7 Качество затяжки болтов без контролируемого натяжения проверяют остукиванием их молотком массой 0,4 кг, при этом болты не должны смещаться. Затяжку болтов и контроль натяжения допускается производить предельными динамометрическими ключами.

7.9 Контроль качества, приемка и герметизация соединений

7.9.1 Качество выполнения соединений на болтах проверяют посредством проведения пооперационного контроля. При приемке работ контролируют качество подготовки контактных поверхностей, точность натяжения болтов, плотность стянутого пакета, а также соответствие геометрических размеров собираемых конструкций размерам, указанным в рабочих чертежах.

7.9.2 Качество подготовки контактных поверхностей соединяемых элементов и деталей (накладок, прокладок) контролируют визуальным осмотром непосредственно перед сборкой соединений. Не допускаются деформации, отклонения от плоскости контактных поверхностей.

7.9.3 Способ контроля фактической величины осевого усилия натяжения болтов назначают таким же, как и при регулировании усилий их натяжения.

7.9.4 Независимо от способа регулирования усилий контролер должен прежде всего произвести наружный осмотр всех поставленных болтов и убедиться в том, что: все болты соединения имеют установленную маркировку и одинаковую длину; под все головки болтов и гайки поставлены шайбы (за исключением 7.6.7, 7.6.8); выступающие за пределы гайки части болтов имеют не менее одного витка резьбы с полным профилем над гайкой или двух витков резьбы под гайкой (внутри пакета); осевые усилия натяжения болтов соответствуют указанному в проекте; на собранном узле имеется клеймо бригады, выполнявшей эти работы, а результаты занесены в журнал выполнения соединений на болтах с контролируемым натяжением.

7.9.5 Количество болтов, подлежащих контролю осевого усилия (момента закручивания), должно составлять:

- при числе болтов в соединении до 5 шт. — все болты;
- 6 и более — 15 %, но не менее 5 шт.

7.9.6 При контроле фактическое значение момента закручивания должно быть не менее расчетной и не превышать ее более чем на 15 %.

7.9.7 Представитель авторского надзора, если это предусмотрено договором, осуществляет выборочный контроль одного-двух болтов в соединении.

7.9.8 Представителю заказчика, ведущему приемку выполненных работ, предоставляется право дополнительного контроля 10 % болтов динамометрическим ключом.

7.9.9 При несоответствии результатов контроля минимум для одного болта проводят контроль удвоенного количества болтов. Если и в этом случае будет выявлен недотянутый болт, контролируют все болты данного соединения. Натяжение всех болтов должно быть доведено до расчетного значения.

7.9.10 Плотность стяжки пакета контролируют щупом толщиной 0,3 мм напротив затянутого болта. При этом щуп не должен проникать в зону, ограниченную радиусом $1,3d_0$ от оси болта, где d_0 — номинальный диаметр отверстия.

7.9.11 Результаты контроля, независимо от способа регулирования усилий натяжения болтов, должны быть занесены в журнал.

7.9.12 В случае отсутствия замечаний рядом с клеймом бригады устанавливают клеймо бригады. Если болты или гайки подготовлены методом парафинирования, дополнительно ставится клеймо «П». Типы и размеры клейм должны соответствовать требованиям ГОСТ 25726.

7.9.13 После приемки соединений контролером все поверхности стыков, включая головки болтов, гайки и шайбы, в том числе контуры накладок, должны быть огрунтованы, а зазоры заполнены герметиком или монтажной пеной. Место установки клейм следует обозначить белой краской размером не менее 100 × 100 мм.

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность; системы подводной добычи; изготовление, стальные конструкции

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 17.07.2023. Подписано в печать 02.08.2023. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,23.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru