ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ИМЕНИ Н. П. МЕЛЬНИКОВА

ЦНИИПСК
им. МЕЛЬНИКОВА
(Основан в 1880 г.)

STAKO

УТВЕРЖДАЮ
Директор института
В.В. Ларионов
«07» 07 2003 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ

по применению в проектах монтажных соединений на болтах М16, М20 и М24 (в том числе конических) классов прочности 5.6, 8.8, 10.9 с предварительным их натяжением

Заместитель директора института — А.Б. Павлов
Заведующий ОГС — В.В. Болтрукевич
Руководитель и ответственный исполнитель работы, главный специалист ОГС — В.М. Бабушкин

Исполнители:
Главный специалист ОПГС — Ю.В. Купцов
Главный специалист ОГС — И.Г. Грудев
Главный специалист ОГС — Л.И. Гладштейн

Москва, 2003 г.

gost.e-ecolog.ru

Настоящие рекомендации разработаны в дополнение СНиП II-23-81 «Нормы проектирования. Стальные конструкции» Москва, 1991г. и «Справочника проектировщика. Металлические конструкции», ЦНИИПСК им. Мельникова, М., 1998 г. [8] с целью расширения областей применения монтажных соединений на болтах и более эффективного использования болтов классов прочности 5.6, 8.8 и 10.9 за счет предварительного их натяжения.

В рекомендациях приведены области применения и расчетные характеристики фрикционно-срезных соединений на болтах диаметром 16, 20 и 24 мм (в том числе конических), усилия предварительного натяжения, основные положения по расчету и конструированию, требования к точности образования отверстий и монтажной сборке конструкций.

При составлении рекомендаций использованы результаты экспериментальных исследований, выполненных в ЦНИИПСК им. Мельникова, ВНИПИпромстальконструкция, ЦНИИС транспортного строительства, а также материалы отечественных и зарубежных исследований соединений на болтах.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие рекомендации распространяются на расчет и проектирование стальных конструкций зданий и сооружений с фрикционно-срезными соединениями на болтах, в которых внешние усилия воспринимаются сопротивлением болтов срезу, а соединяемых элементов смятию с учетом сил трения на соприкасающихся поверхностях, возникающих от предварительного натяжения болтов.

1.2. 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.

1.3. Фрикционно-срезные соединения наиболее эффективны в конструкциях, элементы которых изготовлены из углеродистых сталей толщиной до 12÷15 мм и низколегированных толщиной до 8÷10 мм, а также при воздействии циклических нагрузок, в том числе знакопеременных воспринимаемых за счет фрикционного эффекта.

1.4. Фрикционно-срезные соединения рекомендуются к применению в стальных конструкциях, которые по эксплуатационным функциям соединяемых элементов относятся к 1 и 2 группам по классификации табл. 3.12 «Справочник проектировщика. Металлические конструкции» ЦНИИПСК им. Мельникова, М. 1998г. [8].

1.5. Фрикционно-срезные соединения рекомендуются для применения в 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 которых может быть передано только силами трения. В конструкциях в которых перемещения сдвига не ограничены, допускается принимать $\delta = 3$ мм.

1.6. Для конических болтов, изготовленных по ТУ 128001-001-011394544-01 «Болты конические высокопрочные с полукруглыми головками. Шайбы», ОАО «Спецмонтажизделие» [4] и при $\delta = 0{,}3$ мм сопротивления смятию приняты по СНиП II-23-81 как для болтов класса точности А. (приложение 2)

1.7. Расширение областей применения фрикционно-срезных соединений с предварительным натяжением болтов возможно за счет узлов балок перекрытий технологических и рабочих площадок, тормозных конструкций, горизонтальных и вертикальных связей, колонн, стыков балок между собой и других конструкций.

1.8. Фрикционно-срезные соединения на высокопрочных болтах в настоящих Рекомендациях не рассматриваются, так как методики их расчета приведены в «Справочнике проектировщика» [8] и в «Рекомендациях по проектированию работающих на сдвиг болтовых соединений стальных строительных конструкций», Москва, 1990 г. [5].

2. МАТЕРИАЛЫ

2.1. Для элементов конструкций с болтовыми фрикционно-срезными соединениями следует применять стальной прокат в соответствии с требованиями главы СНиП II-23-81* [1].

2.2. Для фрикционно-срезных соединений элементов стальных конструкций следует применять болты, гайки и шайбы в соответствии с табл. 2.1.

Таблица 2.1. Болты, гайки и шайбы для фрикционно-срезных соединений.

Класс прочности, марка стали	Обозначение	Длина стержня болта, высота гайки не менее, мм	Технические требования
1	2	3	4
5.6 30, 35	М16-6gxℓ.5.6	50; 55; 60; 65; 70; 80; 90; 100	ГОСТ 1759.0-87 ГОСТ 1759.4-87 Клеймо завода-изготовителя и маркировка класса прочности. Применение болтов с диаметром гладкой части стержня, равным среднему диаметру резьбы не допускается
	М20-6gxℓ.5.6	60; 65; 70; 75; 80; 90; 100; 120; 140	
	М24-6gxℓ.5.6 ГОСТ 7798-70	70; 75; 80; 90; 100; 120; 140; 160; 180	
8.8 35, 35Х, 20Г2Р, 40Х	М16-6gxℓ.8.8	50; 55; 60; 65; 70; 80; 90; 100	
	М20-6gxℓ.8.8	60; 65; 70; 75; 80; 90; 100; 120; 140	
	М24-6gxℓ.8.8 ГОСТ 7798-70	70; 75; 80; 90; 100; 120; 140; 160; 180	
10.9 40Х	М16-6gxℓ.10.9	50; 55; 60; 65; 70; 80; 90; 100	
	М20-6gxℓ.10.9	60; 65; 70; 75; 80; 90; 100; 120; 140	
	М24-6gxℓ.10.9 ГОСТ 7798-70	70; 75; 80; 90; 100; 120; 140; 160; 180	
10.9 40Х «Селект»	Болт конический М22-6gxℓ10.9 М22-6gx ℓ10.9ХЛ1	70; 85; 100;115;130	ТУ 128001-001-1394544-01 Клеймо завода-изготовителя, маркировка класса прочности и условного обозначения номера партии (плавки)

Класс прочности, марка стали	Обозначение	Длина стержня болта, высота Гайки не менее, мм	Технические требования
5 10: 10кп; 20 Для болтов 5.6	Гайка М16-6Н.5	14,8	ГОСТ 1759.0-87 ГОСТ 1759.5-87
	Гайка М20-6Н.5	18,0	
	Гайка М24-6Н.5 ГОСТ 5915-70	21,5	
8 35; 20. Для болтов 8.8	Гайка М16-6Н.8	14,8	ГОСТ 1759.0-87 ГОСТ 1759.5-87 Закалка, отпуск
	Гайка М20-6Н.8	18,0	
	Гайка М24-6Н.8 ГОСТ 5915-70	21,5	
10 35Х; 38ХА; 20Г2Р. Для болтов 10.9	Гайка М16-6Н.10	14,8	
	Гайка М20-6Н.10	18,0	
	Гайка М24-6Н.10	21,5	
35; 40; 35Х; 40Х. Для конических болтов	Гайка М22-6Н.110 ГОСТ 22354-77*	19,0	ГОСТ 22356-77*
08; 08кп; 10; 10кп; Ст3; Ст3кп	Шайба 16.01 Шайба 20.01 Шайба 24.01 ГОСТ 11371-78	Для болтов класса прочности 5.6	ГОСТ 18123-82 Неплоскостность не более 0,3 мм для шайб М16, М20; не более 0,4 мм – для шайб М24
15; 20; 35	Шайба 16.01 Шайба 20.01 Шайба 24.01 ГОСТ 11371-78	Для болтов класса прочности 8.8	
ВСт5сп; ВСт5пс2; ВСт5Гпс2; 35; 40; 40Х Закалка, отпуск	Шайба 16. Шайба 20. Шайба 24. ГОСТ 22355-77*	Для болтов класса прочности 10.9	Технические требования по ГОСТ 22356-77*
	Шайба 22 ГОСТ 22355-77*	Для конических болтов М22х70.10.9	

3. РАСЧЕТ ФРИКЦИОННО-СРЕЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. 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 следует принимать пропорционально расстояниям от центра тяжести соединения до оси рассматриваемого болта (при треугольных эпюрах распределения усилий между болтами).

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

3.3. Проверку прочности болтов на срез следует выполнять без учета влияния трения, а расчетное усилие одного болта на срез N_{bs} в соединении определяется по формуле:

$$N_{bs} = \gamma_{bs} \cdot R_{bs} \cdot A_{bs} \cdot n_s, \qquad (1)$$

где γ_{bs} - коэффициент условий работы соединения, принимаемый по табл. 3.1;

R_{bs} - расчетное сопротивление болтов срезу, принимаемое по табл. 3.2 (см. табл. 58* [1];

A_b - расчетная площадь сечения болта в плоскости среза, принимаемая по прил.1(см. табл.62* [1];

n_s - число расчетных срезов одного болта.

3.4. Расчетное усилие предварительного натяжения болта P принимается по табл. 3.3 или по следующей формуле:

$$P = K_p \cdot R_{bun} \cdot A_{bn}, \qquad (2)$$

где:
$$K_p = \begin{cases} 0{,}55 \text{ для болтов класса прочности } 5.6 \\ 0{,}65 \quad \text{- " -} \quad 8.8 \\ 0{,}7 \quad \text{- " -} \quad 10.9 \end{cases}$$

R_{bun} - наименьшее временное сопротивление болта разрыву, принимаемое по приложению 1;

A_{bn} - площадь сечения болта нетто, принимаемая по приложению 1 (см. табл. 62* [1]).

3.5. Расчетное усилие от трения Q_{bh}, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом, вычисляется по формуле:

$$Q_{bh} = \frac{\mu \cdot \gamma_b \cdot P}{\gamma_h} \qquad (3)$$

где: μ - коэффициент трения, принимаемый по табл. 3.4;

γ_b - коэффициент условий работы соединения, зависящий от количества болтов n, принимаемый равным 0,8 при $n < 5$

0,9 при $5 \le n < 10$

1,0 при $n \ge 10$

γ_h - коэффициент надежности, принимаемый по табл. 3.4;

P - усилие предварительного натяжения болта, принимаемое по табл. 3.3 и рассчитанное по формуле (2).

3.6. Расчетное усилие смятия соединяемых элементов N_{bp} на один болт вычисляется по формуле:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \Sigma t \cdot d_b, \qquad (4)$$

где: R_{bp} - расчетное сопротивление болтового соединения смятию, принимаемое по табл. 3.5;

γ_1 - коэффициент условий работы, зависящий от разности номинальных диаметров отверстий и болтов и принимаемый по табл. 3.1;

Σt - наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении;

d_b - номинальный диаметр стержня болта, расположенного в плоскости среза;

γ_2 - коэффициент условий работы, учитывающий расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия и между центрами отверстий, принимаемый по табл.3.6.

3.7. Несущая способность одного болта Q_{bn} с учетом одновременно действующих в соединении смятия и трения, вычисляется по формуле:

$$Q_{bn} = Ku \cdot Q_{bh} \cdot n_f + N_{bp} \qquad (5)$$

где K_u - коэффициент, учитывающий снижение предварительного натяжения болтов после общего сдвига в соединении, принимаемый по табл. 3.1;

Q_{bh} - расчетное усилие воспринимаемое трением и вычисляемое по формуле (3);

n_f - число расчетных плоскостей трения;

N_{bp} - расчетное усилие смятия, вычисляемое по формуле (4).

3.8. Количество болтов n в соединении при действии продольной силы N следует определять по формуле:

$$n \ge N/N_{min} \qquad (6)$$

где: N_{min} – меньшее из расчетных усилий для одного болта Q_{bn} и N_{bs}, вычисленных по формулам (5) и (1).

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

Допускается применять в проектах соединения на болтах без контролируемого натяжения болтов. Расчет таких соединений следует производить по формуле (5) без учета влияния трения ($Q_{bn} = N_{bp}$) при условии выполнения п.п. 4.11 ÷ 4.19 СНиП 3.03.01-87.

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

3.9.Предельные усилия на болты по срезу N_{bs}, смятию N_{bp}, трению K_u $Q_{bh} \cdot n_f$ и смятию с учетом трения в двух срезных фрикционно-срезных соединениях при μ=0,35, δ = 2,0 мм, Σt = 10 мм, числе болтов в соединении n = 10, при статической нагрузке, приведены в приложении 2, по трению и смятию в приложениях 3 и 4.

Таблица 3.1. Коэффициенты условий работы γ_1, зависящий от разности номинальных диаметров отверстий и болтов, K_u, учитывающий снижение предварительного натяжения болтов после общего сдвига в соединении и γ_{bs}.

Условное Обозначение	Разность номинальных диаметров отверстий и болтов δ, мм				Применяется в расчетной формуле
	до 0,3	1,0	2,0	3,0	
γ_1	1,1	1,05	1,00	0,90	(4)
K_u	0,90	0,85	0,80	0,75	(5)
γ_{bs}	1,00	0,90			(1)

Таблица 3.2. Расчетные сопротивления болтов срезу

Условное Обозначение	Напряженное состояние	Расчетные сопротивления болтов, МПа (кгс/см^2) классов прочности		
		5.6	8.8	10.9
R_{bs}	Срез	190 (1900)	320(3200)	400(4000)

Таблица 3.3. Усилия предварительного натяжения болтов

Диаметры болтов мм	Усилия предварительного натяжения болтов P ,кН (тс) классов прочности		
	5.6	8.8	10.9
М16	43 (4,4)	82 (8,3)	114 (11,7)
М20	67 (6,8)	132 (13,4)	178 (18,2)
М24	97 (9,9)	190 (19,4)	256 (26,1)

Таблица 3.4. Коэффициенты трения и надежности

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Способ регулирования натяжения болтов по моменту закручивания	Коэффициент трения, μ	Коэффициент надежности γ_h при нагрузке и при разности номинальных диаметров отверстий и болтов δ, мм	
			динамической и при δ = 3	динамической и при δ = 1÷2; статической и при δ = 1÷3
1. Дробеметный или дробеструйный двух поверхностей без консервации	по М	0,58	1,35	1,12
2. То же, с консервацией (металлизацией) распылением цинка или алюминия	- " -	0,50	1,35	1,12
3. Дробью одной поверхности с консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком, стальными щетками без консервации – другой поверхности	- " -	0,50	1,35	1,12
4. Газопламенный двух поверхностей без консервации	- " -	0,42	1,35	1,12
5. Стальными щетками двух поверхностей без консервации	- " -	0,35	1,35	1,17
6. Без обработки	- " -	0,25	1,70	1,30
7. Окрашенные поверхности	- " -	0,18	1,70	1,30

Примечание: Допускаются другие способы обработки соединяемых поверхностей, обеспечивающие значения коэффициента трения μ не ниже указанных в таблице.

Таблица 3.5. Расчетные сопротивления R_{bp} болтовых соединений смятию.

Нагрузка (см.табл.5.1)	Расчетные сопротивления R_{bp} при расстояниях от центра болта до края элемента		
	$1{,}5do \le a < 2do$	$2do \le a < 3do$	$a > 3do$
Динамическая, для конструкций 1 группы	0,94 R_{un}	0,94 R_{un}	0,94 R_{un}
Статическая, для конструкций 2 группы	1,17 R_{un}	1,48 R_{un}	1,48 R_{un}
Статическая, для конструкций 3 группы	1,17 R_{un}	1,48 R_{un}	1,58 R_{un}

Обозначения, принятые в табл. 3.5: a – расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия, do-номинальный диаметр отверстия, R_{un} – временное сопротивление стали соединяемых элементов разрыву.

Таблица 3.6.

Расстояние от края элемента до центра ближайшего отверстия и между центрами отверстий	Коэффициент условий работы соединения γ_2
1,5 do	0,8
2,0 do	0,9
2,5 do	1,0
3,0 do	1,1

4. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ОТВЕРСТИЙ

4.1. Все монтажные отверстия должны быть выполнены в соответствии с проектом КМ на предприятии-изготовителе металлоконструкций с учетом требований ГОСТ 23118-99 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия», СП 53-101-98 «Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций», дополнительных технических требований монтажной организации и настоящих рекомендаций.

4.2. Образование отверстий меньшего диаметра с последующей рассверловкой допускается в случае, если это указано в проекте КМ.

4.3. Отверстия в расчетных болтовых соединениях следует выполнять по шаблону со втулками, на поточных линиях или станках с ЧПУ. При этом предельные отклонения диаметров и расстояний между центрами отверстий в группе не должны превышать указанных в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Предельные отклонения отверстий

Разность номинальных диаметров отверстий и болтов δ, мм	0,3 (конические болты)	1,0	2,0	3,0
Предельное отклонение диаметров отверстий	± 0,2	+ 0,6	+ 1,0	+ 1,0
Предельное отклонение расстояний между центрами отверстий в группе	± 0,2	± 0,5	± 1,0	± 1,0

4.4. Допускается прочистка 20% отверстий сверлом, диаметр которого равен номинальному диаметру отверстия. Калибр диаметром на 0,5 мм меньше номинального диаметра отверстий, должен проходить в 100% отверстий соединяемых элементов при контрольной сборке конструкций (кроме отверстий под конические болты).

5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.1. Рекомендуемые области применения фрикционно-срезных соединений при разности номинальных диаметров отверстий и болтов до 3 мм приведены в табл.5.1.

5.2. При назначении диаметров отверстий необходимо учитывать влияние остаточных перемещений сдвига на поведение конструкций (см. п.1.5).

Таблица 5.1. Области применения фрикционно-срезных соединений

Группа конструкций	Условия работы соединения	Разность номинальных диаметров δ, мм		
		до 1,0	2,0	3,0
		классы прочности болтов 5,6; 8.8; 10.9		
1	В конструкциях, работающих в особо тяжелых условиях или подвергающихся непосредственному воздействию знакопеременных, динамических, вибрационных или подвижных нагрузок, в том числе в конструкциях, рассчитываемых на выносливость	+	–	–
2	В конструкциях, работающих при статической нагрузке, для которых допустимы ограниченные перемещения сдвига	+	+	–
3	В конструкциях, в которых перемещения сдвига в соединениях не ограничены	+	+	+

Условные обозначения:
«+» – допускается;
«-» – не допускается.

5.3. Номинальные диаметры отверстий приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Номинальные диаметры болтов, мм	Номинальные диаметры отверстий, мм
16	17; 18; 19
20	21; 22; 23
24	25; 26; 27
22 (конические)	22,3

5.4. Резьба болта, воспринимающего сдвигающее усилие, как правило не должна находиться в плоскости среза и отстоять от нее на расстоянии, равном не менее половины толщины прилегающего к гайке элемента.

5.5. Болты следует размещать в соответствии с табл. 5.3.

Таблица 5.3. Условия размещения болтов

Характеристики расстояний	Расстояния при размещении болтов
1. Минимальное расстояние между центрами болтов в любом направлении:	
а) в соединяемых элементах из стали с пределом текучести до 380 МПа (3900 кгс/мм^2)	$2{,}0d_o$
б) то же, свыше 380 МПа (3900 кгс/мм^2)	$3{,}0d_o$
2. Минимальное расстояние от центра болта до края элемента:	
а) вдоль усилия	$1{,}5\ d_o$
б) поперек усилия	$1{,}2d_o$
3. Максимальное расстояние от центра болта до края элемента	$4{,}0d_o$ или 8,0t
4. Максимальное между центрами отверстий	
в крайних рядах	$8{,}0d_o$ или 12,0t
в средних рядах:	
а) при растяжении	$16d_o$ или 24t
б) при сжатии	$12d_o$ или 18t

d_o – диаметр отверстия для болта
t– толщина наиболее тонкого наружного элемента.

6. ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖНОЙ СБОРКЕ КОНСТРУКЦИЙ

6.1. Монтажную сборку конструкций с расчетными фрикционно-срезными соединениями необходимо осуществлять в соответствии с требованиями настоящих рекомендаций и СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции» п.п. 4.20÷4.35.Заданное усилие натяжения болтов следует обеспечивать затяжкой гаек до расчетного момента закручивания (п. 4.28 СНиП 3.03.01-87).

6.2. Выполнение соединений и их приемку следует производить под руководством лица, назначенного ответственным за выполнение этого вида соединений приказом по организации, производящей эти работы.

6.3. К выполнению соединений допускается персонал, прошедший соответствующую подготовку и имеющий удостоверение о допуске к указанным работам.

6.4. Технологический процесс выполнения соединений [7] включает следующие операции:

- подготовку контактных поверхностей элементов;
- подготовку болтов, гаек и шайб;
- сборку соединений;
- натяжение болтов на проектное усилие;
- контроль качества выполнения соединений с занесением результатов контроля в журнал (приложение 5 СНиП 3.03.01-87);
- герметизацию соединений.

6.5. Расконсервацию метизов и нанесение смазки на резьбу болтов и гаек рекомендуется производить путем кипячения их в воде (не менее 10 минут) с добавлением моющего средства, с последующей промывкой в горячем виде в смеси, состоящей из 15÷25% неэтилированного бензина и 75÷85% машинного масла.

6.6. В собранном пакете фрикционно-срезного соединения, зафиксированном пробками, допускается чернота, не препятствующая свободной, без перекоса, постановке болтов в 100% отверстий каждого соединения. Допускается прочистка 20% отверстий сверлом, диаметр которого равен номинальному диаметру отверстия.

6.7. Под головки болтов и гайки следует устанавливать по одной круглой шайбе (см. табл. 2.1).

6.8. Закрепления гаек от самоотвинчивания при натяжении болтов на усилия, указанные в табл. 3.3, не требуется.

Приложение 1

Площадь сечения болтов согласно СНиП II-23-81
и минимальное временное сопротивление болтов разрыву
согласно ГОСТ 1759.4-87

Диаметр болта, мм	16	20	24
Площадь сечения болта брутто, $Ав$, см^2	2,01	3,14	4,52
Площадь сечения болта нетто, $Ав_п$, см^2	1,57	2,45	3,52
Класс прочности болтов	5.6	8.8	10.9
Минимальное временное сопротивление болтов разрыву, Rbun,н/мм^2	500	830 800*	1040

* - для болтов диаметром 16 мм.

Предельные усилия на болты по срезу N_{bs}, смятию N_{bp}, трению $Ku \cdot Q_{bh} \cdot hf$ и смятию с учетом трения Q_{bn} в двухсрезных ($n_s=n_f=2$) фрикционно-срезных соединениях при $\mu = 0,35$, $\delta = 2$ мм, $\Sigma t = 10$ мм, $a=2,0d_o$ числе болтов в соединении $n \geq 10$ при статической нагрузке

Диаметры болтов	Классы прочности болтов	Усилия среза болтов Nbs кН (тс)	Составляющая по трению $Ku \cdot Q_{bh} \cdot n_f$ кН (тс)	Предельные усилия болтовых соединений из стали с временным сопротивлением, кН (тс)			
				390 МПа (4000 кгс/см^2)		500 МПа (5100 кгс/см^2)	
				N_{bp}, кН(тс)	Q_{bn}, кН (тс)	$\gamma_{bp} \cdot N_{bp}$,кН(тс)	Q_{bn}, кН (тс)
М16	5.6	68 (6,9)	25,8 (2,6)	66 (6,7)	92 (9,31)	84 (8,6)	110 (11,2)
	8.8	116 (11,8)	49,0 (5,0)		115 (11,7)		133 (13,6)
	10.9	150 (15,3)	68,2 (7,0)		134 (13,7)		152 (15,6)
М20	5.6	105 (10,7)	40,0 (4,01)	82 (8,4)	122 (12,4)	105 (10,7)	145 (14,7)
	8.8	180 (18,4)	79,0 (8,0)		161 (16,4)		184 (18,7)
	10.9	235 (24,0)	106,4 (10,8)		188 (19,2)		211 (21,5)
М24	5.6	152 (15,5)	58,0 (6,0)	98 (10,0)	156 (16,01)	126 (12,9)	184 (18,9)
	8.8	260 (26,0)5	113,6 (11,4)		211 (21,4)		240 (24,3)
	10.9	338 (34,5)	153,2 (15,6)		251 (25,6)		279 (28,5)
М22 конические при δ=0,3 мм	10.9	268 (27,3)	129 (13,2)	100 (10,2)	229 (23,4)	128 (13,0)	257 (26,2)

Приложение 3

Расчетные усилия Q_{bh} которые могут быть восприняты одной поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом при μ=0,35 и δ=1÷2 мм

Диаметры болтов	Классы прочности болтов	Q_{bh} при числе болтов в соединении, кН (тс)		
		n<5	5≤n<10	n≥10
М16	5.6	10,3 (1,1)	11,6 (1,2)	12,9 (1,3)
	8.8	19,6 (2,0)	22,1)2,3)	24,5 (2,5)
	10.9	27,3 (2,8)	30,7 (3,1)	34,1 (3,5)
М20	5.6	16,0 (1,6)	18,0 (1,8)	20,0 (2,0)
	8.8	31,6 (3,2)	35,6 (3,6)	39,5 (4,0)
	10.9	42,6 (4,3)	47,9 (4,9)	53,2 (5,4)
М24	5.6	23,2 (2,4)	26,1 (2,7)	29,0 (3,0)
	8.8	45,4 (4,6)	51,1 (5,2)	56,8 (5,7)
	10,9	61,3 (6,3)	68,9 (7,0)	76,6 (7,8)

Приложение 4

Расчетные усилия N_{bp}, которые могут быть восприняты одним болтом М20 на смятие при Σt = 10 мм, $a = 2d_o$ и R_{un} = 390 МПа (4000 кг/см^2)

Характеристика нагрузок и группа конструкций	Расчетные усилия N_{bp} при δ, мм кН (тс)			
	0,3	1,0	2,0	3,0
Динамическая для конструкций 1 группы	73 (7,4)	70 (7,1)	66 (6,8)	60 (6,1)
Статическая для конструкций 2 и 3 группы	90 (9,2)	86 (8,8)	82 (8,4)	74 (7,5)

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-23-81* «Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Стальные конструкции», Москва, 1991.

2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*), Москва, 1989.

3. Отчет по НИР выпуск 4151 «Проведение исследований болтовых монтажных соединений, работающих на срез, растяжение и смятие и разработка предложений по изменению и дополнению СНиП II-23-81" ЦНИИПСК, Москва, 1985.

4. СТП 20.22100111-2001 «Устройство соединений на конических высокопрочных болтах в стальных конструкциях мостов», НИЦ «Мосты», ЦНИИС, Москва, 2001.

5. «Рекомендации по проектированию работающих на сдвиг болтовых соединений стальных строительных конструкций» ВНИПИПСК, ЦНИИПСК, Москва, 1990.

6. СП 53-101-98 «Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций», Госстрой РФ, Москва, 1999.

7. «Рекомендации и нормативы по технологии постановки болтов в монтажных соединениях металлоконструкций», ЦНИИПСК им. Мельникова, Москва, 1988.

8. «Справочник проектировщика. Металлические конструкции» ЦНИИПСК им. Мельникова, М., 1998г.

9. «Экспериментально-теоретическое исследование и совершенствование методов проектирования болтовых монтажных соединений стальных строительных конструкций». Каленов В.В., диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, М., 1995г.

10.Specification for Structural Joints Usinq ASTM A325 and A490 Bolts, 1972.

11.СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».

gost.e-ecolog.ru