

МИНИСТЕРСТВО МОНТАЖНЫХ И
СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ СССР
ВНИПИ ПРОМСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ
ГОССТРОЙ СССР
ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ
им. Н.П.МЕЛЬНИКОВА

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
РАБОТАЮЩИХ НА СДВИГ
БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ



—
МОСКВА 1990

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения	I
2. Материалы	2
3. Расчетные сопротивления соединений	2
4. Расчет соединений	4
4.1. Фрикционные соединения	4
4.2. Срезные соединения	6
4.3. Фрикционно-срезные соединения	8
5. Конструирование соединений	10
6. Требования к точности изготовления конструкций	13
7. Требования к монтажной сборке конструкций	13
Приложения: I. Расчетные сопротивления срезу и растяжению болтов ...	15
2. Площади сечения болтов согласно СТ СЭВ 180-75, СТ СЭВ 181-75 и СТ СЭВ 182-75	15
3. Расчетные усилия P (кН) предварительного натяжения болтов	15
4. Расчетные сопротивления смятию соединяемых элементов	16
5. Расчетные усилия Q_{h1} и Q_{h2} (кН), которые могут быть восприняты каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом М24 из стали 40Х "Селект"	17
6. Расчетные усилия N_{bs} (кН), которые могут быть воспри- няты одним болтом многоболтового соединения на срез с одной плоскостью среза	18
7. Расчетные усилия N_{bp} (кН), которые могут быть воспри- няты одним болтом М24 многоболтового соединения на смятие (при $R_{bp} = 1,48 R_{un}$; $a = 2d$; $b = 2,5d$) ...	18
8. Коэффициент f в зависимости от перемещений смятия соединяемых элементов u	19
9. Расчетные усилия Q_{bh} (кН), которые могут быть вос- приняты одним высокопрочным болтом М24 многоболтового фрикционно-срезного соединения при динамической на- грузке ($R_{bp} = 0,9 R_{un}$; $a = 2d$; $b = 2,5d$; $\mu = 0,35$; регулирование натяжения болтов по M) ..	20
10. Расчетные усилия Q_{bh} (кН), которые могут быть воспри- няты одним высокопрочным болтом М24 многоболтового фрикционно-срезного соединения при статической на- грузке ($R_{bp} = 1,48 R_{un}$; $a = 2d$; $b = 2,5d$; $\mu = 0,35$; регулирование натяжения болтов по M) ..	III стр. обл.

Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР

Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт
по монтажу стальных и сборных железобетонных конструкций
(ВНИПИ Промстальконструкция)

ГОССТРОЙ СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
Центральный научно-исследовательский и проектный институт
строительных металлоконструкций им. Н.П.Мельникова
(ЦНИИПроектстальконструкция им.Мельникова)

Утверждаю
директор ЦНИИПроектстальконструкции
им.Мельникова

В.В.Ларионов
20 октября 1989 г.

Утверждаю
директор ВНИПИ Промстальконструкция
В.Г.Сергеев

13 октября 1989 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ РАБОТАЮЩИХ НА СДВИГ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Москва 1990

Настоящие рекомендации составлены в дополнение к главам СНиП П-23-81* "Нормы проектирования. Стальные конструкции" и СНиП 3.03.01-87 "Несущие и ограждающие конструкции" и выпускаются с целью повышения производительности труда и сокращения сроков монтажа стальных конструкций.

В рекомендациях изложены области рационального применения болтовых соединений, работающих на сдвиг, основные положения по их расчету и конструированию, требования к точности изготовления и монтажной сборке конструкций.

При составлении рекомендаций использованы результаты экспериментально-теоретических исследований, выполненных во ВНИПИ Промстальконструкция Минмонтажспецстроя СССР и ЦНИИПроектстальконструкции им.Мельникова Госстроя СССР, а также отечественные и зарубежные материалы по исследованиям болтовых соединений, работающих на сдвиг.

Рекомендации разработаны ВНИПИ Промстальконструкция (кандидаты техн.наук В.В.Каленов, А.Б.Павлов, инж. В.В.Кармалин) и ЦНИИПроектстальконструкцией (д-р техн.наук Н.Н.Стрелецкий при участии инженеров В.М.Бабушкина и В.П.Велихова).

Коллектив разработчиков благодарит всех специалистов, принявших участие в подготовке настоящих рекомендаций.

І. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

І.І. Настоящие рекомендации распространяются на проектирование следующих видов болтовых соединений, воспринимающих сдвиговые нагрузки, в стальных строительных конструкциях различного назначения:

фрикционные, или сдвигоустойчивые соединения, в которых действующие усилия передаются через трение, возникающее по соприкасающимся плоскостям соединяемых элементов от натяжения высокопрочных болтов;

срезные, или соединения без контролируемого натяжения болтов, в которых действующие усилия передаются посредством работы болтов на срез и соединяемых элементов на смятие;

фрикционно-срезные, или соединения на несущих болтах, в которых действующие усилия передаются посредством совместной работы сил трения, среза болтов и смятия соединяемых элементов.

І.2. Группы стальных конструкций зданий и сооружений с болтовыми соединениями, воспринимающими сдвиговые нагрузки.

Группа І. Конструкции и их элементы, работающие в особо тяжелых условиях или подвергающиеся непосредственному воздействию знакопеременных, динамических, вибрационных или подвижных нагрузок, в том числе конструкции, рассчитываемые на выносливость (подкрановые балки; подкраново-подстропильные фермы; колонны с фрезерованными торцами; балки перекрытий технологических и рабочих площадок; стыки балок между собой; тормозные конструкции; узлы горизонтальных и вертикальных связей по поясам стропильных ферм; стыки растянутых поясов стропильных и подстропильных ферм на накладках; фасонки ферм; узлы крепления вертикальных связей по колоннам; элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, непосредственно воспринимающих нагрузку от подвижных составов; пролетные строения и опоры транспортных галерей и т.п.).

Группа 2. Конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке (балки перекрытий, технологических и рабочих площадок; фермы; ригели рам; стыки балок, поясов стропильных и подстропильных ферм на накладках; узлы крепления горизонтальных и вертикальных связей по поясам стропильных ферм для зданий с кранами легкого и среднего режимов работы; узлы крепления путей подвешенного транспорта и монорельсов; узлы крепления крановых рельсов, разрезных подкрановых балок между собой и к колоннам; узлы крепления стропильных ферм к колоннам и подстропильным фермам, а также подстропильных ферм к колоннам при условии передачи вертикального опорного давления через столик; косоуры лестниц; опоры ВЛ и т.п.).

Группа 3. Вспомогательные конструкции зданий и сооружений (связи, элементы фахверка, лестницы; трапы; площадки; ограждения и т.п.).

І.3. Фрикционные соединения следует применять в конструкциях группы І и групп 2 и 3, для которых неопустимы остаточные перемещения сдвига.

І.4. Срезные соединения следует использовать в конструкциях групп 2 и 3.

1.5. Фрикционно-срезные соединения следует применять в конструкциях групп I, 2 и 3. В случае воздействия знакопеременных усилий данный вид соединений следует применять, когда меньшее по абсолютной величине усилие может быть передано силами трения при расчете соединения как фрикционного согласно п.4.1 настоящих рекомендаций с введением коэффициента уменьшения начального натяжения болта, равного 0,85.

2. МАТЕРИАЛЫ

2.1. Прокат для элементов конструкций с болтовыми соединениями, работающими на сдвиг, следует применять в соответствии с требованиями главы СНиП II-23-81^{*}, постановления Госстроя СССР от 21 ноября 1986 г. № 28 "О сокращенном сортаменте металлопроката в строительных стальных конструкциях" и приказа Минмонтажспецстроя СССР от 28 января 1987 г. № 34 "О мерах, связанных с утверждением сокращенного сортаamenta металлопроката для применения в строительных стальных конструкциях".

2.2. Во фрикционных и фрикционно-срезных соединениях следует применять высокопрочные болты по ГОСТ 22353-77¹, гайки и шайбы к ним — по ГОСТ 22354-77 и ГОСТ 22355-77; болты класса прочности 10.9, класса точности В, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 1759.1-82 (СТ СЭВ 2651-80), ГОСТ 1759.0-87 (СТ СЭВ 4203-83), ГОСТ 1759.4-87 (ИСО 898/1-78); гайки к ним — класса прочности 10 по ГОСТ 1759.5-87; шайбы высокопрочные — по ГОСТ 22355-77.

2.3. В срезных соединениях следует применять болты класса точности В по ГОСТ 1759.1-82 (СТ СЭВ 2651-80) классов прочности 5.8, 8.8, 10.9 по ГОСТ 1759.0-87 (СТ СЭВ 4203-83), ГОСТ 1759.4-87 (ИСО 898/1-78)². Гайки следует применять по ГОСТ 1759.5-87 для болтов классов прочности 5.8; 8.8; 10.9 соответственно классов прочности 5; 8 и 10, шайбы — по ГОСТ 18123-82. При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применять в срезных соединениях высокопрочные болты, гайки и шайбы по ГОСТ 22353-77, ГОСТ 22354-77 и ГОСТ 22355-77.

2.4. Параметры болтов следует определять по ГОСТ 7798-70.

3. РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. Расчетные сопротивления болтов срезу R_{bs} и растяжению R_{bh} следует определять по формулам, приведенным в табл.1.

¹ Во фрикционных соединениях допускается применять высокопрочные болты по ТУ 14-1-1345-85.

² Болт класса прочности 5.8 рекомендуется применять лишь в случаях, когда затруднена поставка болтов классов прочности 8.8 и 10.9.

Т а б л и ц а 1

Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетное сопротивление болтов классов прочности	
		5.8, 8.8	10.9, высокопрочные
Срез	R_{bs}	$0,4 R_{un}$	$0,4 R_{un}$
Растяжение	R_{bh}	—	$0,7 R_{un}$

Обозначение, принятое в табл.1:

R_{un} — нормативное сопротивление стали болтов, принимаемое равным временному сопротивлению σ_b по государственным стандартам и техническим условиям на болты.

Расчетные сопротивления срезу и растяжению болтов приведены в приложении I.

3.2. Расчетные усилия P предварительного натяжения болтов:

$$P = R_{bh} \cdot A_{bn} \quad (I)$$

где A_{bn} — площадь сечения болта нетто (принимаемая по приложению 2).

Расчетные усилия предварительного натяжения болтов класса прочности 10.9 и высокопрочных из стали 40X "Селект" приведены в приложении 3.

3.3. Расчетные сопротивления одноболтовых соединений смятию соединяемых элементов R_{br} (МПа) из стали с пределом текучести до 440 МПа (4500 кгс/см^2) следует определять по формулам, приведенным в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Группа конструкций	Расчетное сопротивление одноболтовых соединений смятию при расстояниях		
	$a \geq 3d$	$2d \leq a < 3d$	$1,5d \leq a < 2d$
1	$0,94 R_{un}$	$0,94 R_{un}$	$0,94 R_{un}$
2	$1,48 R_{un}$	$1,48 R_{un}$	$1,17 R_{un}$
3	$1,58 R_{un}$	$1,48 R_{un}$	$1,17 R_{un}$

Обозначения, принятые в табл.2:

a — расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия;

d — диаметр отверстия для болта;

R_{un} — временное сопротивление стали соединяемых элементов разрыву (МПа). Если соединяемые элементы (в том числе накладки) выполнены из сталей разных марок, в формулах следует принимать наименьшее из значений временного сопротивления R_{un} .

П р и м е ч а н и е. Расстояние вдоль усилия между центрами отверстий b должно быть больше расстояния a по крайней мере на $0,5d$. В противном случае $a = b - 0,5d$.

Расчетные сопротивления смятию соединяемых элементов приведены в приложении 4.

4. РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЙ

4.1. Фрикционные соединения

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

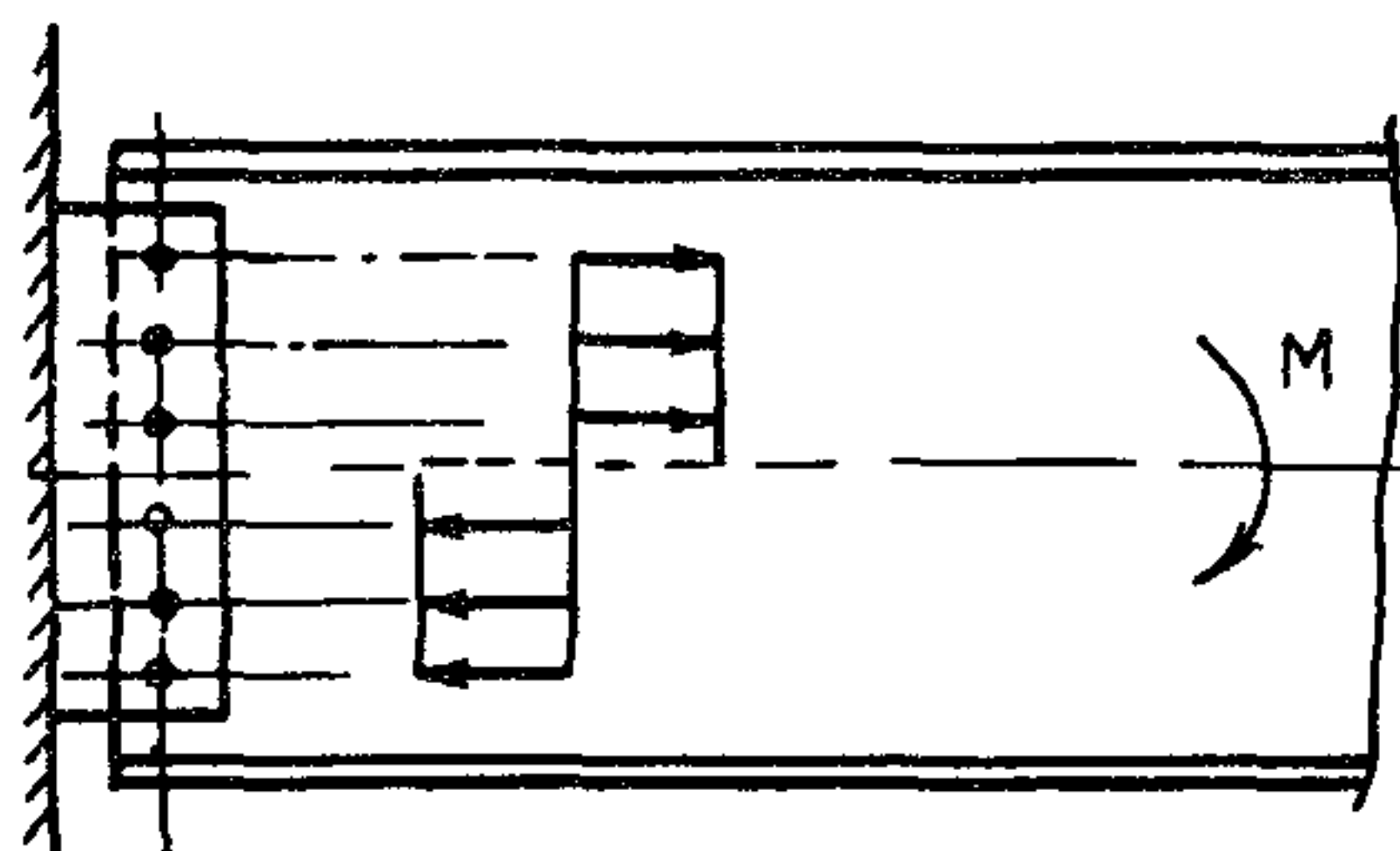


Рис. I

4.1.2. Расчетное усилие Q_h (кН), которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом, следует определять по формуле

$$Q_h = 0,1 \cdot R_{bh} \cdot \gamma_n \cdot A_{bn} \cdot \mu / \gamma_h, \quad (2)$$

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

0,8 при $n < 5$;

0,9 при $5 \leq n < 10$;

1,0 при $n \geq 10$;

μ — коэффициент трения, принимаемый по табл.3;

γ_h — коэффициент надежности, принимаемый по табл.3.

Расчетные усилия, которые могут быть восприняты каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом М24, приведены в приложении 5.

4.1.3. Количество n болтов в соединении при действии продольной силы N (кН) следует определять по формуле

$$n \geq \frac{N}{K_{тр} Q_h}, \quad (3)$$

где $K_{тр}$ — количество поверхностей трения соединяемых элементов.

Т а б л и ц а 3

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Способ регулиру- рования натяже- ния болтов	Коеф- фициент тре- ния	Кoeffициенты μ при на- грузке и при разности номи- нальных диаметров отверстий и болтов d , мм	
			динамической и при $d = 2-6$, статической и при $d = 5-6$	динамической и при $d = 1$, статической и при $d = 1-4$
1. Дробеметный или дробе- струйный двух поверх- ностей дробью без консервации	По M	0,58	1,35	1,12
	По α	0,58	1,20	1,02
2. То же с консервацией металлизацией рас- пылением цинка или алюминия	По M	0,50	1,35	1,12
	По α	0,50	1,20	1,02
3. Дробью одной поверхности с консервацией полимер- ным клеем и посыпкой карборундовым порошком; стальными щетками без консервации - другой поверхности	По M	0,50	1,35	1,12
	По α	0,50	1,20	1,02
4. Газопламенный двух по- верхностей без кон- сервации	По M	0,42	1,35	1,12
	По α	0,42	1,20	1,02
5. Стальными щетками двух поверхностей без кон- сервации	По M	0,35	1,35	1,17
	По α	0,35	1,25	1,06
6. Без обработки	По M	0,25	1,70	1,30
	По α	0,25	1,50	1,20

П р и м е ч а н и я: 1. Допускаются другие способы обработки соеди-
няемых поверхностей, обеспечивающие значения
коэффициентов трения μ не ниже указанных
в табл. 3.

2. Способ регулирования натяжения болтов по M
означает регулирование по моменту закручива-
ния, по α - углу поворота гайки.

4.1.4. Технологические требования к выполнению операций по постановке
высокопрочных болтов во фрикционных соединениях приведены в ОСТ 36-72-82
"Конструкции строительные стальные. Монтажные соединения на высокопрочных
болтах. Типовой технологический процесс" и "Рекомендациях и нормативах
по технологии постановки болтов в монтажных соединениях металлоконструкций"
(М.: ЦНТИСХ им. Мельникова, 1988).

4.1.5. Расчет на выносливость фрикционных соединений следует выполнять в соответствии с требованиями п.9.2 СНиП II-23-81^{*}, относя эти соединения к I-й группе элементов.

4.1.6. 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 производить: 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 $A_n < 0,85A$.

4.2. Срезные соединения

4.2.1. При действии продольной силы, проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между болтами следует принимать равномерным. При действии на соединение изгибающего момента распределение уси-

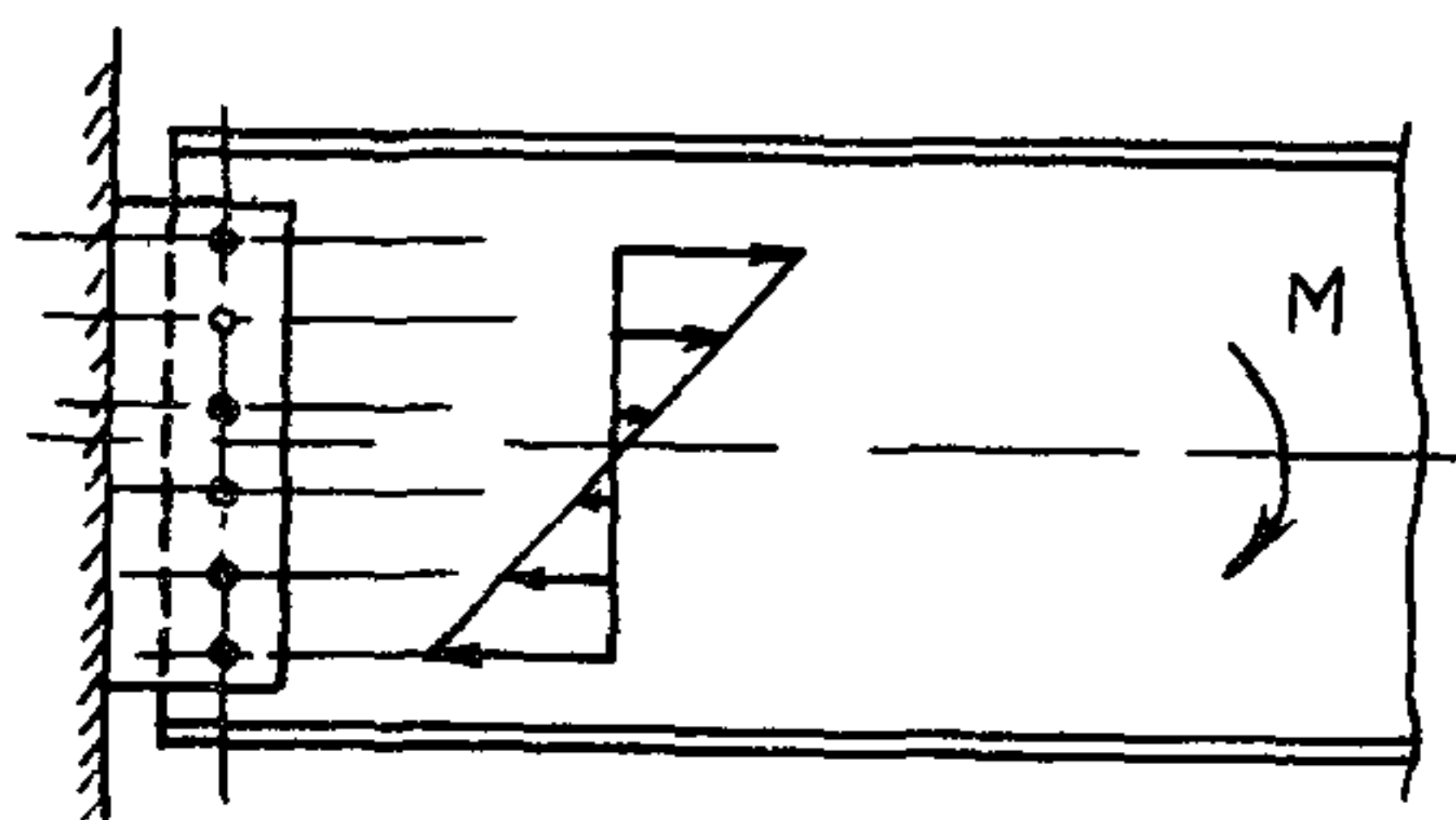


Рис. 2

лий между болтами следует принимать пропорционально расстояниям от центра тяжести соединения до рассматриваемого болта (при треугольных эпюрах распределения усилий между болтами, рис.2).

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

4.2.3. Расчетное усилие (кН), которое может быть воспринято одним болтом, следует определять по формулам:

на срез –

$$N_{bs} = 0,1 \cdot R_{bs} \cdot \gamma_{b1} \cdot A \cdot n_s, \quad (4)$$

на смятие –

$$N_{bp} = 0,1 \cdot R_{bp} \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma(t) \cdot a_b. \quad (5)$$

Обозначения, принятые в формулах (4,5):

γ_{b1} – коэффициент условий работы, учитывающий неодновременность включения болтов в работу, который следует принимать по табл.4;

γ_{b2} – коэффициент условий работы, учитывающий расстояния вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия и между центрами отверстий, который следует принимать по табл.5;

$A = \pi d^2/4$ – расчетная площадь сечения стержня болта, см²,

n_s – число расчетных срезов одного болта,

$\gamma(t)$ – коэффициент, учитывающий толщину соединяемых элементов, определяемый

$$\gamma(t) = \begin{cases} t & - \text{при } t \leq 2,0 \text{ см} \\ -0,5t^2 + 3t - 2 & - \text{при } 2,0 < t < 3,0 \text{ см} \\ 2,5 & - \text{при } t \geq 3,0 \text{ см} \end{cases} \quad (6)$$

t – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;

d_g – номинальный наружный диаметр стержня болта, см.

Т а б л и ц а 4

Характеристика соединения	Коэффициент условий работы соединения $\gamma_{\beta 1}$
Одноболтовое в расчетах на срез и смятие	1,0
Многоболтовое в расчетах на срез и смятие	0,9

Т а б л и ц а 5

Характеристика соединения	Коэффициент условий работы соединения $\gamma_{\beta 2}$
Одноболтовое и многоболтовое в расчете на смятие:	
при $1,5 d \leq a < 3 d$	$0,25 \frac{a}{d} + 0,5$
при $a \geq 3 d$	1,25

П р и м е ч а н и е. Расстояние b должно быть больше расстояния a по крайней мере на $0,5 d$. В противном случае $a = b - 0,5 d$.

Расчетные усилия, которые могут быть восприняты одним болтом многоболтового соединения на срез с одной плоскостью среза, приведены в приложении 6.

Расчетные усилия, которые могут быть восприняты одним болтом М24 многоболтового соединения на смятие (при $R_{\beta p} = 1,48 \cdot R_{un}$, $a = 2 d$, $b = 2,5 d$), приведены в приложении 7.

4.2.4. Количество n болтов в соединении при действии продольной силы N (кН) следует определять по формуле

$$n \geq \frac{N}{Q_{\beta}}, \quad (7)$$

где Q_{β} – меньшее из расчетных усилий для одного болта $N_{\beta s}$ и $N_{\beta p}$, вычисленных согласно требованиям п.4.2.3 настоящих рекомендаций.

4.2.5. Возникающие при работе соединения перемещения смятия каждого элемента u от действия нормативных нагрузок следует определять:

а) при $N_{\beta p} \leq N_{\beta s}$ – по табл.6.

Т а б л и ц а 6

Расчетное сопротивление смятию $R_{\beta p}$, МПа	Перемещения смятия каждого соединяемо- го элемента u , мм, от действия норма- тивных нагрузок при $K = Q_{\text{расч}} / Q_{\text{норм}}$				
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
0,94 R_{un}	1,0	0,8	0,75	0,7	0,65
1,17 R_{un}	1,75	1,4	1,1	0,9	0,75
1,48 R_{un}	3,0	2,4	2,0	1,6	1,35
1,58 R_{un}	3,5	2,8	2,3	1,9	1,6

Обозначения, принятые в табл.6:

$Q_{\text{расч}}$ — сила, действующая на соединение от расчетных нагрузок;
 $Q_{\text{норм}}$ — то же от нормативных нагрузок.

П р и м е ч а н и е. При определении перемещений смятия каждого соеди-
няемого элемента для промежуточных значений $K = Q_{\text{расч}} / Q_{\text{норм}}$ допускается
линейная интерполяция.

Допускается принимать величины перемещений смятия каждого соединяе-
мого элемента u от действия нормативных нагрузок меньше приведенных в
табл.6, при этом расчетные сопротивления одноболтовых соединений смятию
следует определять по формуле

$$R_{\beta p} = K \cdot f \cdot R_{un}, \quad (8)$$

где f — коэффициент, равны

$$f = 1,08 \cdot u \quad \text{— при } 0 < u \leq 0,8 \text{ мм,} \quad (9)$$

$$f = 0,57 + 0,4 \cdot u - 0,032 \cdot u^2 \quad \text{— при } 0,8 < u \leq 3,5 \text{ мм} \quad (10)$$

Коэффициент f в зависимости от перемещений смятия каждого соеди-
няемого элемента u приведен в приложении 8;

б) при $N_{\beta s} < N_{\beta p}$ — по формулам 9, 10 и по приложению 8,
заменяя в формуле (5) $N_{\beta p}$ на $N_{\beta s}$.

4.2.6. Прочность элементов, ослабленных отверстиями в срезном соеди-
нении, следует проверять с учетом полного ослабления сечений отверстия-
ми.

4.3. Фрикционно-срезные соединения

4.3.1. Распределение усилий между болтами во фрикционно-срезных
соединениях аналогично распределению усилий в срезном соединении (см.
п.4.2.1).

4.3.2. Расчетное усилие (N), которое может быть воспринято одним
болтом, следует определять по формулам

на срез — см. (4),

на смятие и трение –

$$N_{bh} = N_{bp} + K_u \cdot Q_h \quad , \quad (II)$$

где N_{bp} – расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом по смятию, определяемое по формуле (5);

K_u – коэффициент уменьшения предварительного натяжения болтов, который следует определять по табл.7.

Т а б л и ц а 7

Расчетное сопротивление смятию R_{bp} , МПа	Коэффициент снижения пред- варительного натяжения болтов K_u
–	0,85
0,94 R_{un}	0,826
1,17 R_{un}	0,808
1,48 R_{un}	0,778
1,58 R_{un}	0,766

П р и м е ч а н и е. Если расчетные сопротивления смятию приняты как отличающиеся от приведенных в табл.7, коэффициент уменьшения предварительного натяжения болтов следует определять линейной интерполяцией.

Q_h – расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, **стянутых** одним болтом, **определяемое** по формуле (2).

Расчетные усилия, которые могут быть восприняты одним высокопрочным болтом М24 фрикционно-срезного соединения при динамической ($R_{bp} = 0,94 R_{un}$) и статической ($R_{bp} = 1,48 R_{un}$) нагрузках (при $\alpha = 2d$; $\beta = 2,5d$; $\mu = 0,35$; регулировании натяжения болтов по M), приведены в приложениях 9 и 10.

4.3.3. Количество n болтов в соединении при действии продольной силы N (кН) следует определять по формуле

$$n \geq \frac{N}{Q_{bh}} \quad , \quad (I2)$$

где Q_{bh} – меньшее из расчетных усилий для одного болта N_{bs} и N_{bh} , вычисленных согласно требованиям п.4.3.2 настоящих рекомендаций.

4.3.4. Возникающие при работе соединений перемещения смятия каждого элемента u от действия нормативных нагрузок следует определять:

- при $N_{bh} \leq N_{bs}$ – по табл.6;
- при $N_{bs} < N_{bh}$ – по формулам 9, 10 и по приложению 8, заменяя в формуле (II) N_{bh} на N_{bs} , учитывая зависимость между коэффициентом

уменьшения предварительного натяжения болтов и перемещениями смятия каждого соединяемого элемента u , мм:

$$K_u = 0,85 - 0,024 \cdot u. \quad (13)$$

4.3.5. Технологические требования к выполнению операций по постановке высокопрочных болтов во фрикционно-срезных соединениях аналогичны требованиям к постановке высокопрочных болтов во фрикционных соединениях (см. п. 4.1.4).

4.3.6. Расчет на выносливость фрикционно-срезных соединений следует выполнять в соответствии с требованиями п. 9.2 СНиП II-23-81^{*}, относя соединения с элементами из стали с временным сопротивлением разрыву более 420 МПа (4300 кгс/см²) к 2-й группе элементов, менее 420 МПа (4300 кгс/см²) — к 3-й группе.

4.3.7. Прочность элементов, ослабленных отверстиями во фрикционно-срезных соединениях, следует проверять с учетом полного ослабления сечений отверстиями.

5. КОНСТРУИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ

5.1. Рекомендуемая область применения болтовых соединений, работающих на сдвиг, и разность номинальных диаметров отверстий и болтов приведены в табл. 8; номинальные диаметры стержней болтов и соответствующие им номинальные диаметры отверстий приведены — в табл. 9. При назначении диаметров отверстий необходимо учитывать влияние остаточных перемещений сдвига на поведение конструкций и обеспечивать полную собираемость соединений на монтаже. В тех случаях, когда не обеспечивается полная собираемость двух-срезных фрикционных соединений, допускается назначение номинальных диаметров отверстий средних стыкуемых элементов, превышающих указанные в табл. 9. При этом разность номинальных диаметров отверстий и болтов должна быть не более 12 мм, в числитель формулы (2) вводится коэффициент $K_\delta = 0,9$, а толщина накладок должна быть не менее 20 мм.

Т а б л и ц а 8

Условия работы соединения	Фрикцион-но-срезные соединения		
	Разность номинальных диаметров отверстий и болтов, мм		
	I-6	I-3	I-3
	+	+	жж
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	*		

I	2	3	4	5
В конструкциях, работающих при статической нагрузке, для которых недопустимы остаточные перемещения сдвига	+	-	-	-
В конструкциях, работающих при статической нагрузке, в которых могут возникать остаточные перемещения сдвига	-	+	-	+
В конструкциях опор ВЛ	-	-	+	-

* Рекомендуемая область применения.

** Нерекомендуемая область применения.

Т а б л и ц а 9

Вид соединений	Номинальные диаметры отверстий, при диаметре стержней болтов				
	мм				
	16	20	24	27	30
Фрикционные	17	21	25	28	31
	19	23	28	30	33
	20	25	30	33	36
Срезные	17 ^x	21 ^x	25 ^x	28 ^x	31 ^x
	18	22	26	29	32
	19	23	27	30	33
Фрикционно-срезные	17	21	25	28	31
	18	22	26	29	32
	19	23	27	30	33

^x Применять только для опор ВЛ.

5.2. Болты, имеющие по длине ненарезанной части участки с различными диаметрами, допускается применять только во фрикционных соединениях.

5.3. Под гайки болтов классов прочности 5.8, 8.8, 10.9 следует устанавливать круглые шайбы по ГОСТ 11371-78^{*}, под гайки и головки высокопрочных болтов — шайбы по ГОСТ 22355-77. Для высокопрочных болтов по ГОСТ 22353-77 с увеличенными размерами головок и гаек и при разности номинальных диаметров отверстия и болта, не превышающей 3 мм и до 4 мм — в конструкциях, изготовленных из стали с временным сопротивлением не ниже 440 МПа (45 кгс/см²), допускается установка одной шайбы под гайку.

5.4. В срезных и фрикционно-срезных соединениях резьба болта должна находиться на глубине не менее половины толщины прилегающего к гайке элемента.

5.5. Болты следует размещать в соответствии с табл.10.

Соединительные болты должны размещаться, как правило, на максимальных расстояниях; в стыках и узлах следует размещать болты на минимальных расстояниях.

При размещении болтов в шахматном порядке расстояние между их центрами вдоль усилия следует принимать не менее $C+1,5d$, где C — расстояние между рядами поперек усилия; d — диаметр отверстия для болта. При таком размещении площадь сечения элемента определяется с учетом ослабления его отверстиями, расположенными только в одном сечении поперек усилия (не по "зигзагу").

Т а б л и ц а 10

Расстояние при размещении болтов	Величина расстояния
Расстояние между центрами болтов в любом направлении для всех видов соединений:	
минимальное	$2d^*$
максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии	$8d$ или $12t$
максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков:	
при растяжении	$16d$ или $24t$
при сжатии	$12d$ или $18t$
<u>Срезные и фрикционно-срезные соединения</u>	
Расстояние от центра болта до края элемента:	
минимальное вдоль усилия	$1,5d^*$
то же поперек усилия при $1,5d \leq a \leq 2,0d$ и $2d \leq b \leq 2,5d$	
при обрезных кромках	$1,5d$
при прокатных кромках	$1,2d$
то же поперек усилия при $a > 2,0d$ и $b > 2,5d$:	
при обрезных кромках	$1,8d$
при прокатных кромках	$1,5d$
максимальное	$4d$
<u>Фрикционные соединения</u>	
Расстояние от центра болта до края элемента:	
минимальное при любой кромке и любом направлении	$1,3d$
максимальное	$4d$

* В соединяемых элементах из стали с пределом текучести свыше 380 МПа (3900 кгс/см²) минимальное расстояние между центрами болтов следует принимать равным $3d$, а минимальное расстояние от центра болта до края элемента вдоль усилия — $2,5d$

Обозначения, принятые в табл.10:

d – диаметр отверстия для болта;

t – толщина наиболее тонкого элемента;

a – расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия;

b – то же между центрами отверстий.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

6.1. Все монтажные отверстия должны быть выполнены по проекту на предприятии-изготовителе в соответствии с требованиями, определяемыми технологией монтажных работ.

Образование заводских и монтажных отверстий меньшего диаметра с последующей рассверловкой по проекту производится только в случае, если это указано в чертежах КМ.

6.2. Предельные отклонения диаметров отверстий для болтов должны быть 0; +1,0 мм.

6.3. Разметку центров отверстий следует производить откладыванием нарастающей цепочки размеров от начальной точки.

Разметка центров отверстий последовательным откладыванием расстояний между центрами соседних отверстий не допускается.

6.4. Отверстия в расчетных болтовых соединениях следует выполнять по шаблону с втулками, на поточных линиях или станках с ЧПУ. При этом предельное отклонение расстояния между центрами отверстий в группе должно быть $\pm 1,0$ мм.

6.5. Для нерасчетных конструктивных болтовых соединений допускается образование отверстий по наметке.

7. ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖНОЙ СБОРКЕ КОНСТРУКЦИЙ

7.1. Монтажную сборку конструкций с болтовыми соединениями, работающими на сдвиг, необходимо осуществлять в соответствии с требованиями главы СНиП 3.03.01-87 "Несущие и ограждающие конструкции".

7.2. В собранном пакете фрикционного соединения, зафиксированном пробками, допускается "чернота" (несовпадение отверстий в смежных деталях) не препятствующая свободной, без перекоса, постановке болтов.

Калибр диаметром на 0,5 мм больше номинального диаметра болта должен пройти в 100% отверстий каждого соединения.

Допускается прочистка отверстий плотно стянутых пакетов фрикционных соединений сверлом, диаметр которого равен номинальному диаметру отверстия, при условии, что "чернота" не превышает разницы номинальных диаметров отверстия и болта.

Применение воды, эмульсий и масла при прочистке отверстий запрещается.

7.3. В собранном пакете срезного и фрикционно-срезного соединений болты заданного в проекте диаметра **должны** пройти в 100% отверстий. Допускается прочистка 20% отверстий сверлом, диаметр которого равен диаметру отверстия, указанному в чертежах. При этом допускается "чернота" до 1 мм — в 50% отверстий, до 1,5 мм — в 10% отверстий.

В случае несоблюдения этого требования с разрешения организации — разработчика проекта отверстия следует рассверлить на ближайший **бóльший** диаметр с установкой болта соответствующего диаметра.

В срезных соединениях, где болты установлены конструктивно, "чернота" не должна превышать разности диаметров отверстия и болта.

7.4. Решения по предупреждению самоотвинчивания гаек должны быть **указаны в рабочих чертежах.**

Применение пружинных шайб не допускается, если в элементах, прилегающих к головкам болтов или гайкам, имеются овальные отверстия или при разности диаметров отверстий и болтов в них **более 3 мм**, а также при совместной установке с круглой шайбой (ГОСТ 11371-78).

Запрещается стопорение гаек путем забивки резьбы высокопрочного болта или приварка их к стержню **высокопрочного болта.**

Приложение I

РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕЗУ И РАСТЯЖЕНИЮ БОЛТОВ

Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетное сопротивление, МПа (кгс/см ²), болтов классов прочности			
		5.8	8.8	10.9	Высокопрочные
Срез	R_{bs}	200(2000)	320(3200)	400(4000)	440(4400)
Растяжение	R_{bh}	-	-	700(7000)	770(7700)

Приложение 2

ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ БОЛТОВ СОГЛАСНО СТ СЭВ 180-75, СТ СЭВ 181-75 И СТ СЭВ 182-75

d_b , мм	16	20	24	27	30
A , см ²	2,01	3,14	4,52	5,72	7,06
A_{bh} , см ²	1,57	2,55	3,52	4,59	5,60

Приложение 3

РАСЧЕТНЫЕ УСИЛИЯ P (кН) ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ БОЛТОВ

Класс прочности болтов, мм	Номинальный диаметр болта, мм				
	16	20	24	27	30
10.9	110	172	246	321	392
Высокопрочные	-	189	271	353	431

РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СМЯТИЮ СОЕДИНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Временное сопротивление стали соединяе- мых элементов, МПа (кгс/мм ²)	Расчетное сопротивление, МПа (кгс/см ²), смятию элемен- тов, определяемое по формулам			
	$0,94 R_{un}$	$1,17 R_{un}$	$1,48 R_{un}$	$1,58 R_{un}$
345(35)	325(3300)	405(4150)	510(5200)	545(5550)
355(36)	335(3400)	415(4250)	525(5350)	560(5700)
365(37)	340(3450)	430(4400)	540(5500)	575(5850)
370(38)	345(3500)	435(4450)	550(5600)	585(5950)
380(39)	355(3600)	445(4550)	565(5750)	600(6100)
390(40)	365(3700)	455(4650)	580(5900)	615(6250)
400(41)	375(3800)	470(4800)	595(6050)	630(6400)
410(42)	385(3950)	480(4900)	610(6200)	645(6600)
420(43)	395(4050)	490(5000)	620(6300)	665(6800)
430(44)	405(4150)	505(5150)	635(6500)	680(6950)
440(45)	415(4250)	515(5250)	650(6650)	695(7100)
450(46)	420(4300)	525(5350)	665(6800)	710(7250)
460(47)	430(4400)	540(5500)	680(6950)	725(7400)
470(48)	440(4500)	550(5600)	695(7100)	740(7550)
480(49)	450(4600)	565(5750)	710(7250)	755(7700)
490(50)	460(4700)	575(5850)	725(7400)	775(7900)
500(51)	470(4800)	585(5950)	740(7550)	790(8050)
510(52)	480(4900)	600(6100)	755(7700)	805(8200)
520(53)	490(5000)	610(6200)	770(7850)	820(8350)
530(54)	495(5050)	620(6300)	785(8000)	835(8500)
540(55)	505(5150)	635(6500)	800(8150)	850(8650)
550(56)	515(5250)		815(8300)	870(8850)
560(57)	525(5350)		830(8450)	885(9000)
570(58)	535(5450)		845(8600)	900(9200)
580(59)	545(5550)		860(8750)	915(9350)

РАСЧЕТНЫЕ УСИЛИЯ Q_{h1} и Q_{h2} (кН), КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВОСПРИНЯТЫ
КАЖДОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ТРЕНИЯ СОЕДИНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
СТЯНУТЫХ ОДНИМ ВЫСОКОПРОЧНЫМ БОЛТОМ М24 ИЗ СТАЛИ 40Х "СЕЛЕКТ"

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Способ регулиру- вания натяжения болтов	Q_{h1} и Q_{h2} (кН) при числе болтов					
		в соединении					
		$n \leq 4$	$5 \leq n \leq 9$	$n \geq 10$	Q_{h1}	Q_{h2}	Q_{h2}
Дробеметный или дробеструй- ный двух поверхностей дробью без консервации	По М	93	112	104	126	116	140
	По α	105	123	118	139	131	154
То же с консервацией метал- лизацией распылением цинка или алюминия	По М	80	97	90	109	100	121
	По α	90	106	102	120	113	133
Дробью одной поверхности с консервацией полимерным клеем и посыпкой карборун- довым порошком; стальными щетками без консервации - другой поверхности	По М	80	97	90	109	100	121
	По α	90	106	102	120	113	133
Газопламенный двух поверхнос- тей без консервации	По М	67	82	76	92	84	102
	По α	76	90	86	101	95	112
Стальными щетками двух поверх- ностей без консервации	По М	56	65	63	73	70	81
	По α	61	72	68	81	76	90
Без обработки	По М	32	42	36	47	40	52
	По α	38	45	41	50	45	56

Принятые обозначения:

Q_{h1} - расчетные усилия, которые могут быть восприняты каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом М24, при динамической нагрузке и $\delta = 2-6$ мм, при статической нагрузке и $\delta = 5-6$ мм;

Q_{h2} - то же при динамической нагрузке и $\delta = 1$ мм, статической нагрузке и $\delta = 1-4$ мм;

δ - разность номинальных диаметров отверстий и болтов.

Приложение 6

РАСЧЕТНЫЕ УСИЛИЯ N_{bs} (кН), КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВОСПРИНЯТЫ
ОДНИМ БОЛТОМ МНОГОБОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ НА СРЕЗ С ОДНОЙ ПЛОСКОСТЬЮ СРЕЗА

Класс прочности болтов	N_{bs} (кН) при номинальных диаметрах болтов, мм				
	16	20	24	27	30
5.8	36	57	81	103	127
8.8	58	90	130	164	203
10.9	72	113	163	206	255
Высокопрочные из стали 40Х "Селект"	79	124	179	226	280

Приложение 7

РАСЧЕТНЫЕ УСИЛИЯ N_{bp} (кН), КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВОСПРИНЯТЫ
ОДНИМ БОЛТОМ М24 МНОГОБОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ НА СМЯТИЕ
(при $R_{bp} = 1,48 R_{un}$, $a = 2d$, $b = 2,5d$)

Временное сопротивление стали соединяемых элементов, МПа (кгс/см ²)	N_{bp} (кН) при толщинах соединяемых элементов, мм															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	30 и более
345(35)	44	55	66	77	88	99	110	121	132	154	176	198	220	240	261	275
355(36)	45	57	68	79	91	102	113	125	136	159	181	204	227	247	270	284
365(37)	47	58	70	82	93	105	117	128	140	163	187	210	233	254	277	292
370(38)	48	59	71	83	95	107	119	131	143	166	190	214	238	258	282	297
380(39)	49	61	73	85	98	110	122	134	146	171	195	220	244	265	290	305
390(40)	50	63	75	88	100	113	125	138	150	175	200	226	251	273	297	313
400(41)	51	64	77	90	103	116	129	141	154	180	206	231	257	280	305	321
410(42)	53	66	79	92	105	119	132	145	158	184	211	237	264	287	313	329
420(43)	54	67	80	94	107	121	134	147	161	187	214	241	268	292	318	335
430(44)	55	69	82	96	110	123	137	151	165	192	219	247	274	299	326	343
440(45)	56	70	84	98	112	126	140	154	168	197	225	253	281	306	333	351
450(46)	57	72	86	101	115	129	144	158	172	201	230	259	287	313	341	359
460(47)	59	73	88	103	118	132	147	162	176	206	235	264	294	320	349	367
470(48)	60	75	90	105	120	135	150	165	180	210	240	270	300	327	356	375
480(49)	61	77	92	107	123	138	153	169	184	215	245	276	307	334	364	383
490(50)	63	78	94	110	125	141	157	172	188	218	251	282	313	342	372	392

Временное сопротивле- ние стали соединяемых элементов, МПа (кгс/см ²)	N_{br} (кН) при толщинах соединяемых элементов, мм															30 и более
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	
500(51)	64	80	96	112	128	144	160	176	192	224	256	288	320	348	380	400
510(52)	65	82	98	114	130	147	163	179	196	228	261	294	326	355	388	408
520(53)	67	83	100	116	133	150	166	183	200	233	266	299	333	362	395	416
530(54)	68	85	102	119	136	153	170	187	203	237	271	305	339	369	403	424
540(55)	69	86	104	121	138	156	173	190	207	242	276	311	346	376	410	432
550(56)	70	88	106	123	141	158	176	194	211	246	282	317	352	383	418	440
560(57)	72	90	108	125	143	161	179	197	215	251	287	323	359	390	426	448
570(58)	73	91	110	128	146	164	183	201	219	256	292	329	365	398	433	456
580(59)	74	93	111	130	149	167	186	204	223	260	297	334	372	405	441	464

Приложение 8

КОЭФФИЦИЕНТ f В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
СМЯТИЯ СОЕДИНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

μ , мм	f	μ , мм	f
0,1	0,10	1,8	1,19
0,2	0,22	1,9	1,21
0,3	0,32	2,0	1,24
0,4	0,43	2,1	1,27
0,5	0,54	2,2	1,30
0,6	0,65	2,3	1,32
0,7	0,76	2,4	1,35
0,8	0,86	2,5	1,37
0,9	0,90	2,6	1,39
1,0	0,94	2,7	1,42
1,1	0,97	2,8	1,44
1,2	1,00	2,9	1,46
1,3	1,04	3,0	1,48
1,4	1,07	3,1	1,50
1,5	1,10	3,2	1,52
1,6	1,13	3,3	1,54
1,7	1,16	3,4	1,56
1,75	1,17	3,5	1,58

РАСЧЕТНЫЕ УСИЛИЯ Q_{bh} (кН), КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВОСПРИНЯТЫ
ОДНИМ ВЫСОКОПРОЧНЫМ БОЛТОМ М24 МНОГОБОЛТОВОГО ФРИКЦИОННО-
СРЕЗНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ ($R_{bp} = 0,94R_{un}$;
 $a = 2d$; $b = 2,5d$; $\mu = 0,35$; регулирование натяжения
болтов по М)

Тол- щина эле- мен- тов, мм	Q_{bh} (кН) для элементов из стали											
	ВСтЗсп5-I при d , мм						09Г2С - гр. I при d , мм					
	2-3			I			2-3			I		
	при числе болтов в соединении											
	2-4	5-9	10 и более	2-4	5-9	10 и более	2-4	5-9	10 и более	2-4	5-9	10 и более
4	77	83	89	85	91	98	86	92	98	94	100	107
5	84	90	96	92	98	105	96	102	108	104	110	117
6	92	98	104	100	106	113	106	112	118	114	120	127
7	100	106	112	108	114	121	116	122	128	124	130	137
8	107	114	119	115	121	128	125	131	137	133	139	146
9	115	121	127	123	129	136	135	141	147	143	149	156
10	123	129	135	131	137	144	145	151	157	153	159	166
11	128	134	140	136	142	149	150	157	163	159	165	179
12	135	141	147	143	149	156	159	166	172	168	179	179
14	150	156	162	158	164	171	175	179	179	179	179	179
16	165	171	179	173	179	179	179	179	179	179	179	179
18 и более	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179

РАСЧЕТНЫЕ УСИЛИЯ Q_{bh} (кН), КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВОСПРИНЯТЫ
ОДНИМ ВЫСОКОПРОЧНЫМ БОЛТОМ М24 МНОГОБОЛТОВОГО ФРИКЦИОННО-
СРЕЗНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ ($R_{bp} = 1,48_{un}$,
 $a = 2d$; $b = 2,5d$; $\mu = 0,35$; регулирование натяжения
болтов по М)

Тол- щина эле- мен- тов, мм	Q_{bh} (кН) для элементов из стали					
	ВСтЗсп5-I при $\delta = 1-3$ мм			09Г2С - гр. I при $\delta = 1-3$ мм		
	при числе болтов в соединении					
	2-4	5-9	10 и более	2-4	5-9	10 и более
4	100	106	112	114	120	126
5	112	118	124	129	135	141
6	124	130	136	145	151	157
7	136	142	148	161	167	172
8	149	156	161	173	179	179
9	161	167	173	179	179	179
10	173	179	179	179	179	179
11 и более	179	179	179	179	179	179

