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.I. Фрикционные соединения 4
4.2. Срезные соединения 6
4.3. Фрикционно-срезные соединения 8
5. Конструирование соединений I0
6. Требования к точности изготовления конструкций I3
7. Требования к монтажной сборке конструкций I3
Приложения: I. Расчетные сопротивления срезу и растяжению болтов ...I5
2. Площади сечения болтов согласно СТ СЭВ I80-75, СТ СЭВ I8I-75 и СТ СЭВ I82-75 ..... I5
3. Расчетные усилия P (кН) предварительного натяжения болтов I5
4. Расчетные сопротивления смятию соединяемых элементов I6
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" I7
6. Расчетные усилия $N_{\beta s}$ (кН), которые могут быть восприняты одним болтом многоболтового соединения на срез с одной плоскостью среза I8
7. Расчетные усилия $N_{\beta p}$ (кН), которые могут быть восприняты одним болтом М24 многоболтового соединения на смятие (при $R_{\beta p}= I,48\,R_{un}$; $a = 2d$; $b = 2,5d$) ...I8
8. Коэффициент f в зависимости от перемещений смятия соединяемых элементов u.....I9
9. Расчетные усилия $Q_{\beta h}$ (кН), которые могут быть восприняты одним высокопрочным болтом М24 многоболтового фрикционно-срезного соединения при динамической нагрузке ($R_{\beta p}= 0,9R_{un}$; $a = 2d$; $b = 2,5d$; $\mu = 0,35$; регулирование натяжения болтов по M) .. 20
I0. Расчетные усилия $Q_{\beta h}$ (кН), которые могут быть восприняты одним высокопрочным болтом М24 многоболтового фрикционно-срезного соединения при статической нагрузке ($R_{\beta p} = I,48\,R_{un}$; $a = 2d$; $b = 2,5d$; $\mu = 0,35$; 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

УДК 693.8I4.26(083.96)

Настоящие рекомендации составлены в дополнение к главам СНиП II-23-8I* "Нормы проектирования. Стальные конструкции" и СНиП 3.03.0I-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.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. 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.

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

Группа I. 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; подкрановo-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 транспортерных 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 подвесного 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.).

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

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

I.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 перекрыто силами трения при расчете соединения как фрикционного согласно п.4.I настоящих рекомендаций с введением коэффициента уменьшения начального натяжения болта, равного 0,85.

2. МАТЕРИАЛЫ

2.I. Прокат для элементов конструкций с болтовыми соединениями, работающими на сдвиг, следует применять в соответствии с требованиями главы СНиП II-23-8I*, постановления Госстроя СССР от 2I ноября I986 г. № 28 "О сокращенном сортаменте металлопроката в строительных стальных конструкциях" и приказа Минмонтажспецстроя СССР от 28 января I987 г. № 34 "О мерах, связанных с утверждением сокращенного сортамента металлопроката для применения в строительных стальных конструкциях".

2.2. Во фрикционных и фрикционно-срезных соединениях следует применять высокопрочные болты по ГОСТ 22353-77[I], гайки и шайбы к ним - по ГОСТ 22354-77 и ГОСТ 22355-77; болты класса прочности I0.9, класса точности В, удовлетворяющие требованиям ГОСТ I759.I-82 (СТ СЭВ 265I-80), ГОСТ I759.0-87 (СТ СЭВ 4203-83), ГОСТ I759.4-87 (ИСО 898/I-78); гайки к ним класса прочности I0 по ГОСТ I759.5-87; шайбы высокопрочные - по ГОСТ 22355-77.

2.3. В срезных соединениях следует применять болты класса точности В по ГОСТ I759.I-82 (СТ СЭВ 265I-80) классов прочности 5.8, 8.8, I0.9 по ГОСТ I759.0-87 (СТ СЭВ 4203-83), ГОСТ I759.4-87 (ИСО 898/I-78)[2]. Гайки следует применять по ГОСТ I759.5-87 для болтов классов прочности 5.8; 8.8; I0.9 соответственно классов прочности 5; 8 и I0, шайбы - по ГОСТ I8I23-82. 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.I. Расчетные сопротивления болтов срезу R_{bs} и растяжению R_{bh} следует определять по формулам, приведенным в табл.I.

[I] Во фрикционных соединениях допускается применять высокопрочные болты по ТУ I4-4-I345-85.

[2] Болт класса прочности 5.8 рекомендуется применять лишь в случаях, когда затруднена поставка болтов классов прочности 8.8 и I0.9.

Таблица I

Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетное сопротивление болтов классов прочности 5.8, 8.8	Расчетное сопротивление болтов классов прочности I0.9, высокопрочные
Срез	R_{bs}	$0,4R_{bun}$	$0,4\ R_{bun}$
Растяжение	R_{bh}	–	$0,7\ R_{bun}$

Обозначение, принятое в табл.I:

R_{bun} – 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:

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

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

Расчетные усилия предварительного натяжения болтов класса прочности I0.9 и высокопрочных из стали 40Х "Селект" приведены в приложении 3.

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

Таблица 2

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

Примечание. 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.I. Фрикционные соединения

4.I.I. 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).

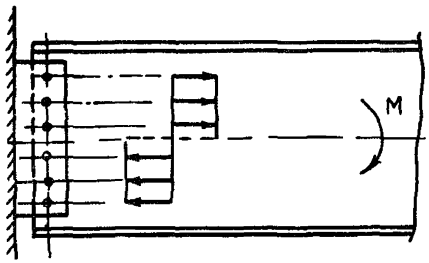

Рис. I

4.I.2. Расчетное усилие Q_h (кН), которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом, следует определять по формуле

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

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 $5 \leqslant n < 10$;

I,0 при $n \geqslant 10$;

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.I.3. Количество n болтов в соединении при действии продольной силы N (кН) следует определять по формуле

$$n \geqslant \frac{N}{K_{тр} \, Q_h} , \qquad (3)$$

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

Таблица 3

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Способ регулирования натяжения болтов	Коэффициент трения	Коэффициенты α_d при нагрузке и при разности номинальных диаметров отверстий и болтов δ, мм	
			динамической и при δ = 2-6, статической и при δ = 5-6	динамической и при δ = I, статической и при δ = I-4
I. Дробеметный или дробеструйный двух поверхностей дробью без консервации	По M	0,58	I,35	I,I2
	По α	0,58	I,20	I,02
2. То же с консервацией металлизацией распылением цинка или алюминия	По M	0,50	I,35	I,I2
	По α	0,50	I,20	I,02
3. Дробью одной поверхности с консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком; стальными щетками без консервации - другой поверхности	По M	0,50	I,35	I,I2
	По α	0,50	I,20	I,02
4. Газопламенный двух поверхностей без консервации	По M	0,42	I,35	I,I2
	По α	0,42	I,20	I,02
5. Стальными щетками двух поверхностей без консервации	По M	0,35	I,35	I,I7
	По α	0,35	I,25	I,06
6. Без обработки	По M	0,25	I,70	I,30
	По α	0,25	I,50	I,20

Примечания: I. Допускаются другие способы обработки соединяемых поверхностей, обеспечивающие значения коэффициентов трения μ не ниже указанных в табл.3.

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

4.I.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.: ЦНИИПСК им.Мельникова, I988).

4.I.5. Расчет на выносливость фрикционных соединений следует выполнять в соответствии с требованиями п.9.2 СНиП II-23-8I*, относя эти соединения к I-й группе элементов.

4.I.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 $A_n \geqslant 0{,}85A$ либо по условной площади $A_c = 1{,}18A_n$ при $A_n < 0{,}85A$.

4.2. Срезные соединения

4.2.I. 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 рассматриваемого болта (при треугольных эпюрах распределения усилий между болтами, рис.2).

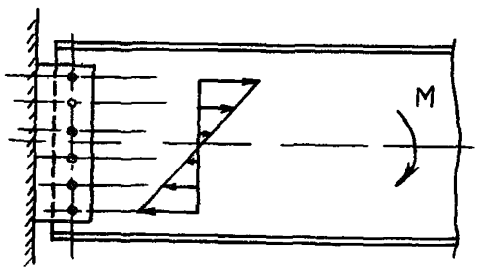

Рис. 2

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 -

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

на смятие -

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

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, см^2,

n_s - число расчетных срезов одного болта,

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

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

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

$d_в$ – номинальный наружный диаметр стержня болта, см.

Таблица 4

Характеристика соединения	Коэффициент условий работы соединения $\gamma_{в1}$
Одноболтовое в расчетах на срез и смятие	I,0
Многоболтовое в расчетах на срез и смятие	0,9

Таблица 5

Характеристика соединения	Коэффициент условий работы соединения $\gamma_{в2}$
Одноболтовое и многоболтовое в расчете на смятие:	
при I,5 $d \le a < 3d$	$0{,}25\frac{a}{d} + 0{,}5$
при $a \ge 3d$	I,25

Примечание. Расстояние $в$ должно быть больше расстояния a по крайней мере на 0,5 d. В противном случае $a = в - 0{,}5d$.

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 $R_{вр} = I{,}48 \cdot R_{un}$, $a = 2d$, $в = 2{,}5d$), приведены в приложении 7.

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

$$n \ge \frac{N}{Q_в}, \qquad (7)$$

где $Q_в$ – меньшее из расчетных усилий для одного болта $N_{вs}$ и $N_{вр}$, вычисленных согласно требованиям п.4.2.3 настоящих рекомендаций.

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

а) при $N_{вр} \le N_{вs}$ – по табл.6.

Таблица 6

Расчетное сопротивление смятию R_{bp}, МПа	Перемещения смятия каждого соединяемого элемента u, мм, от действия нормативных нагрузок при $K = Q_{расч} / Q_{норм}$				
	I,0	I,I	I,2	I,3	I,4
0,94 R_{un}	I,0	0,8	0,75	0,7	0,65
I,I7 R_{un}	I,75	I,4	I,I	0,9	0,75
I,48 R_{un}	3,0	2,4	2,0	I,6	I,35
I,58 R_{un}	3,5	2,8	2,3	I,9	I,6

Обозначения, принятые в табл.6:

$Q_{расч}$ – сила, действующая на соединение от расчетных нагрузок;

$Q_{норм}$ – то же от нормативных нагрузок.

Примечание. При определении перемещений смятия каждого соединяемого элемента для промежуточных значений $K = Q_{расч} / Q_{норм}$ допускается линейная интерполяция.

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

$$R_{bp} = K \cdot f \; R_{un} , \qquad (8)$$

где f – коэффициент, равный

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

$$f = 0,57+0,4 \cdot u - 0,032 \cdot u^2 \quad \text{– при } 0,8 < u \leq 3,5 \text{ мм} \qquad (I0)$$

Коэффициент f в зависимости от перемещений смятия каждого соединяемого элемента u приведен в приложении 8;

б) при $N_{bs} < N_{bp}$ – по формулам 9, I0 и по приложению 8, заменяя в формуле (5) N_{bp} на N_{bs}.

4.2.6. Прочность элементов, ослабленных отверстиями в срезных соединениях, следует проверять с учетом полного ослабления сечений отверстиями.

4.3. Фрикционно-срезные соединения

4.3.I. Распределение усилий между болтами во фрикционно-срезных соединениях аналогично распределению усилий в срезных соединениях (см. п.4.2.I).

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

на срез – см. (4),

на смятие и трение –

$$N_{bh} = N_{bp} + K_u \cdot Q_h \quad , \qquad (11)$$

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.

Таблица 7

Расчетное сопротивление смятию R_{bp}, МПа	Коэффициент снижения предварительного натяжения болтов K_u
–	0,85
0,94 R_{un}	0,826
I,I7 R_{un}	0,808
I,48 R_{un}	0,778
I,58 R_{un}	0,766

Примечание. 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 ($R_{bp} = I,48 R_{un}$) нагрузках (при $a = 2d$; $b = 2,5d$; $\mu = 0,35$; регулировании натяжения болтов по M), приведены в приложениях 9 и I0.

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

$$n \geq \frac{N}{Q_{bh}} \quad , \qquad (12)$$

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:

а) при $N_{bh} \leq N_{bs}$ – по табл.6;

б) при $N_{bs} < N_{bh}$ – по формулам 9, I0 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:

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

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/см^2) к 2-й группе элементов, менее 420 МПа (4300 кгс/см^2) - 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 двухсрезных 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.

Таблица 8

Условия работы соединения	Фрикционные соединения	Фрикционно-срезные соединения	Срезные соединения
	Разность номинальных диаметров отверстий и болтов, мм		
	1-6	1-3	1 | 2-3
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	+*	+	+** -

Продолжение табл. 8

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.

Таблица 9

Вид соединений	Номинальные диаметры отверстий, мм при диаметре стержней болтов				
	I6	20	24	27	30
Фрикционные	I7	2I	25	28	3I
	I9	23	28	30	33
	20	25	30	33	36
Срезные	I7[x]	2I[x]	25[x]	28[x]	3I[x]
	I8	22	26	29	32
	I9	23	27	30	33
Фрикционно-срезные	I7	2I	25	28	3I
	I8	22	26	29	32
	I9	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, I0.9 следует устанавливать круглые шайбы по ГОСТ II37I-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/см^2), допускается установка одной шайбы под гайку.

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

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

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").

Таблица IO

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 $18t$
Срезные и фрикционно-срезные соединения	
Расстояние от центра болта до края элемента:	
минимальное вдоль усилия	$1,5d$*
то же поперек усилия при $1,5d \le a \le 2,0d$ и $2d \le b \le 2,5d$	
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	$4d$
Фрикционные соединения	
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/см^2) 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.IO:

d – диаметр отверстия для болта;

t – толщина наиболее тонкого элемента;

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

β – то же между центрами отверстий.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

6.I. 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; +I,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 $\pm$ I,0 мм.

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

7. ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖНОЙ СБОРКЕ КОНСТРУКЦИЙ

7.I. Монтажную сборку конструкций с болтовыми соединениями, работающими на сдвиг, необходимо осуществлять в соответствии с требованиями главы СНиП 3.03.0I-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 I00% 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 больший 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	I0.9	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 I80-75, СТ СЭВ I8I-75 И СТ СЭВ I82-75

d_b, мм	I6	20	24	27	30
A, см^2	2,0I	3,I4	4,52	5,72	7,06
A_{bn}, см^2	I,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				
	I6	20	24	27	30
I0.9	II0	I72	246	32I	392
Высокопрочные	-	I89	27I	353	43I

РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СМЯТИЮ СОЕДИНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Временное сопротивление стали соединяемых элементов, МПа (кгс/мм^2)	Расчетное сопротивление, МПа (кгс/см^2), смятию элементов, 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_{h_1} и Q_{h_2} (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 регулирования натяжения болтов	Q_{h_1} и Q_{h_2} (кН) при числе болтов в соединении					
		$n \leq 4$		$5 \leq n \leq 9$		$n \geq 10$	
		Q_{h_1}	Q_{h_2}	Q_{h_1}	Q_{h_2}	Q_{h_1}	Q_{h_2}
Дробеметный или дробеструйный двух поверхностей дробью без консервации	По М	93	II2	I04	I26	II6	I40
	По α	I05	I23	II8	I39	I3I	I54
То же с консервацией металлизацией распылением цинка или алюминия	По М	80	97	90	I09	I00	I2I
	По α	90	I06	I02	I20	II3	I33
Дробью одной поверхности с консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком; стальными щетками без консервации – другой поверхности	По М	80	97	90	I09	I00	I2I
	По α	90	I06	I02	I20	II3	I33
Газопламенный двух поверхностей без консервации	По М	67	82	76	92	84	I02
	По α	76	90	86	I0I	95	II2
Стальными щетками двух поверхностей без консервации	По М	56	65	63	73	70	8I
	По α	6I	72	68	8I	76	90
Без обработки	По М	32	42	36	47	40	52
	По α	36	45	4I	50	45	56

Принятые обозначения:

Q_{h_1} – расчетные усилия, которые могут быть восприняты каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним болтом М24, при динамической нагрузке и δ = 2–6 мм, при статической нагрузке и δ = 5–6 мм;

Q_{h_2} – то же при динамической нагрузке и δ = I мм, статической нагрузке и δ = I–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				
	I6	20	24	27	30
5.8	36	57	8I	I03	I27
8.8	58	90	I30	I64	203
I0.9	72	II3	I63	206	255
Высокопрочные из стали 40Х "Селект"	79	I24	I79	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	I0	II	I2	I4	I6	I8	20	22	25	30 и более
345(35)	44	55	66	77	88	99	II0	I2I	I32	I54	I76	I98	220	240	26I	275
355(36)	45	57	68	79	9I	I02	II3	I25	I36	I59	I8I	204	227	247	270	284
365(37)	47	58	70	82	93	I05	II7	I28	I40	I63	I87	2I0	233	254	277	292
370(38)	48	59	7I	83	95	I07	II9	I3I	I43	I66	I90	2I4	238	258	282	297
380(39)	49	6I	73	85	98	II0	I22	I34	I46	I7I	I95	220	244	265	290	305
390(40)	50	63	75	88	I00	II3	I25	I38	I50	I75	200	226	25I	273	297	3I3
400(4I)	5I	64	77	90	I03	II6	I29	I4I	I54	I80	206	23I	257	280	305	32I
4I0(42)	53	66	79	92	I05	II9	I32	I45	I58	I84	2II	237	264	287	3I3	329
420(43)	54	67	80	94	I07	I2I	I34	I47	I6I	I87	2I4	24I	268	292	3I8	335
430(44)	55	69	82	96	II0	I23	I37	I5I	I65	I92	2I9	247	274	299	326	343
440(45)	56	70	84	98	II2	I26	I40	I54	I68	I97	225	253	28I	306	333	35I
450(46)	57	72	86	I0I	II5	I29	I44	I58	I72	20I	230	259	287	3I3	34I	359
460(47)	59	73	88	I03	II8	I32	I47	I62	I76	206	235	264	294	320	349	367
470(48)	60	75	90	I05	I20	I35	I50	I65	I80	2I0	240	270	300	327	356	375
480(49)	6I	77	92	I07	I23	I38	I53	I69	I84	2I5	245	276	307	334	364	383
490(50)	63	78	94	II0	I25	I4I	I57	I72	I88	2I8	25I	282	3I3	342	372	392

Продолжение

Временное сопротивление стали соединяемых элементов, МПа (кгс/см²)	$N_{вр}$ (кН) при толщинах соединяемых элементов, мм															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	30 и более
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	19С	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

u, мм	f	u, 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 $Q_{вh}$ (кН), КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВОСПРИНЯТЫ ОДНИМ ВЫСОКОПРОЧНЫМ БОЛТОМ М24 МНОГОБОЛТОВОГО ФРИКЦИОННО-СРЕЗНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ ($R_{вр} = 0{,}94R_{ун}$; $a = 2d$; $в = 2{,}5d$; $\mu = 0{,}35$; регулирование натяжения болтов по M)

Толщина элементов, мм	$Q_{вh}$ (кН) для элементов из стали ВСтЗСп5-I при δ, мм						09Г2С - гр.I при δ, мм					
	2-3			I			2-3			I		
	при числе болтов в соединении											
	2-4	5-9	I0 и более	2-4	5-9	I0 и более	2-4	5-9	I0 и более	2-4	5-9	I0 и более
4	77	83	89	85	9I	98	86	92	98	94	I00	I07
5	84	90	96	92	98	I05	96	I02	I08	I04	II0	II7
6	92	98	I04	I00	I06	II3	I06	II2	II8	II4	I20	I27
7	I00	I06	II2	I08	II4	I2I	II6	I22	I28	I24	I30	I37
8	I07	II4	II9	II5	I2I	I28	I25	I3I	I37	I33	I39	I46
9	II5	I2I	I27	I23	I29	I36	I35	I4I	I47	I43	I49	I56
I0	I23	I29	I35	I3I	I37	I44	I45	I5I	I57	I53	I59	I66
II	I28	I34	I40	I36	I42	I49	I50	I57	I63	I59	I65	I79
I2	I35	I4I	I47	I43	I49	I56	I59	I66	I72	I68	I79	I79
I4	I50	I56	I62	I58	I64	I7I	I75	I79	I79	I79	I79	I79
I6	I65	I7I	I79	I73	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79
I8 и более	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79	I79

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

Толщина элементов, мм	Q_{bh}(кН) для элементов из стали ВСт3сп5-I при δ=I-3 мм при числе болтов в соединении			Q_{bh}(кН) для элементов из стали 09Г2С - гр.I при δ = I-3 мм при числе болтов в соединении		
	2-4	5-9	I0 и более	2-4	5-9	I0 и более
4	I00	I06	II2	II4	I20	I26
5	II2	II8	I24	I29	I35	I4I
6	I24	I30	I36	I45	I5I	I57
7	I36	I42	I48	I6I	I67	I72
8	I49	I56	I6I	I73	I79	I79
9	I6I	I67	I73	I79	I79	I79
I0	I73	I79	I79	I79	I79	I79
II и более	I79	I79	I79	I79	I79	I79

Редактор Л.П.Злобина
Технический редактор Г.С.Волкова
Корректор Н.М.Кареева

Подписано к печати 30.04.90. Формат 60x84 1/16
Офсетная Ротапринт Усл.печ.л. 1,16 Усл.кр.-отт. 1,28
Уч.-изд.л. 1,57 Изд. № 4155 Тираж 1553 Зак. №365
Адрес редакции: 117049, Москва, ул. Димитрова, д. 38а. Тел. 238-17-55

Ротапринт ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР
117049, Москва, ул. Димитрова, д. 38 а