

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительные технологии и конструкции»

В. Д. ПРАСОЛ

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В ЗАДАЧАХ И ПРИМЕРАХ

Часть II

СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Одобрено методической комиссией факультета ПГС  
в качестве учебно-методического пособия*

Гомель 2018

УДК 624.014(075.8)

ББК 30.4

П82

Р е ц е н з е н т – ведущий эксперт ДРУП «Госстройэкспертиза» по Гомельской области *Т. В. Гуцева*

**Прасол, В. Д.**

П82      Металлические конструкции в задачах и примерах. В 4 ч. Ч. II. Соединения металлических конструкций : учеб.-метод. пособие / В. Д. Прасол ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 37 с.  
ISBN 978-985-554-730-4 (ч. 2)

Изложены основы расчета стыковых и угловых сварных и болтовых соединений. Даются краткие теоретические сведения для расчета, примеры расчета и набор разнообразных задач с исходными данными для вариантов. Соответствует действующим нормам СНиП II–23–81\* «Стальные конструкции».

Предназначено для студентов специальности "Промышленное и гражданское строительство", может быть использовано при дипломном проектировании и в проектной практике для самостоятельного изучения и проведения контроля знаний.

**УДК 624.014(075.8)**

**ББК 30.4**

**ISBN 978-985-554-730-4 (ч. 2)**

**ISBN 978-985-554-654-3**

© Прасол В. Д., 2018

© Оформление. БелГУТ, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1 Сварные соединения</b> .....	4
1.1 Расчет стыковых и угловых сварных соединений.....	4
1.2 Примеры расчета сварных соединений.....	7
1.3 Задачи по расчету сварных соединений.....	12
<b>2 Болтовые соединения</b> .....	19
2.1 Расчет болтовых соединений.....	19
2.2 Примеры расчета болтовых соединений.....	22
2.3 Задачи по расчету болтовых соединений.....	24
<b>Приложения</b> .....	
А Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального и фасонного проката по ГОСТ 27772–88 для стальных конструкций зданий и сооружений.....	29
Б Справочные данные для расчета сварных соединений.....	31
В Справочные данные для расчета болтовых соединений.....	35
<b>Список литературы</b> .....	37

# 1 СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

## 1.1 Расчет стыковых и угловых сварных соединений

Конструктивно сварные соединения бывают двух видов: стыковые и угловые (рисунок 1.1, а, б), исполненные автоматической, полуавтоматической или ручной сваркой, с проплавлением и без проплавления корней углового шва (рисунок 1.1, в).

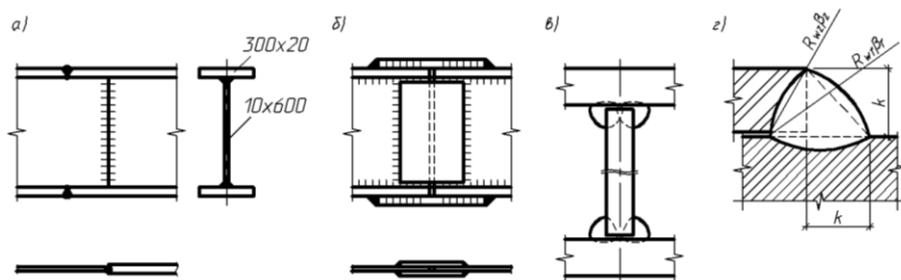


Рисунок 1.1 – Сварные соединения

Напряжения в стыковом шве для всех деформаций (растяжение, сжатие, изгиб, срез) определяют так же, как и для сечения основного металла. Поэтому при расчете стыковых соединений используют те же формулы, что и для сечения по основному металлу:

$$\frac{N}{AR_{wy}\gamma_c} \leq 1; \quad \frac{M}{WR_{wy}\gamma_c} \leq 1; \quad \frac{QS}{I_x t R_{ws}\gamma_c} \leq 1.$$

Различия будут лишь в определении геометрических характеристик ( $A$ ,  $W$ ,  $I_x$ ) и в расчетных сопротивлениях ( $R_{y\gamma_c}$ ,  $R_{s\gamma_c}$ ) (приложение А).

Угловые сварные швы от любого силового воздействия ( $M$ ,  $N$ ,  $Q$ ) работают на условный срез.

Согласно действующим нормам [1] расчет угловых швов следует производить по двум сечениям (см. рисунок 1.1, в) по металлу шва, характеризуемого параметрами ( $R_w$ ,  $\beta$ ), и по металлу границы сплавления, характеризу-

мого параметрами ( $R_{wz}, \beta_z$ ). Значения указанных параметров зависят от типа электродов, типа сварочной проволоки, вида сварки, катета сварного шва (приложения А, Б). При этом катетом (толщиной) шва является катет равнобедренного прямоугольного треугольника, вписанного в профиль шва (см. рисунок 1.1, з). В идеальном случае материалы и вид сварки можно подобрать так, что  $\frac{R_{wf}\beta_f}{R_{wz}\beta_z} = 1$ , но обычно характеристики прочности сварки не

совпадают. Поэтому при расчетах, прежде всего, устанавливают, какое из сечений (металл шва или металл границы сплавления) является расчетным.

Если  $\frac{R_{wf}\beta_f}{R_{wz}\beta_z} \leq 1$ , расчетным является сечение по металлу шва, его следует

использовать в расчетах (иначе – наоборот). За расчетную длину углового шва принимают  $l_w = l - 1$  см, где  $l$  – длина сварного участка.

Как правило, в сварном шве действуют изгибающий момент и срезающие силы. Сварные швы могут быть расположены в плоскости, перпендикулярной плоскости действия изгибающего момента (рисунок 1.2, а), как при поперечном изгибе, и в параллельной плоскости (рисунок 1.2, б), как при кручении.

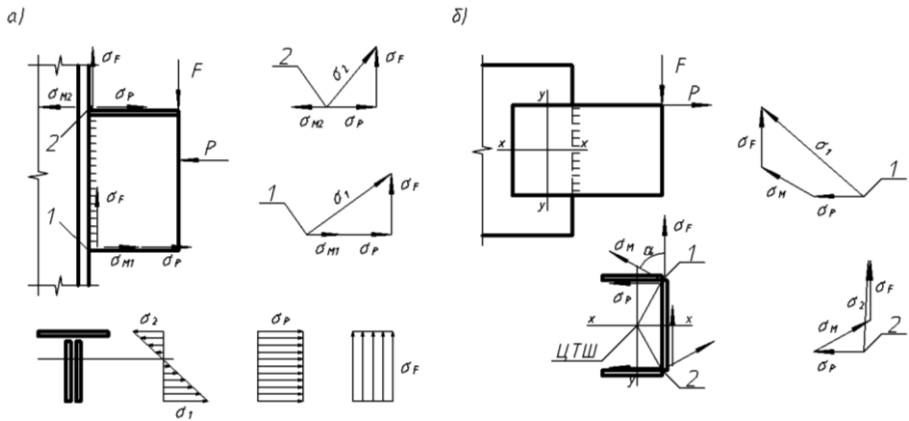


Рисунок 1.2 – Сварные швы

При поперечном изгибе сварной шов расположен перпендикулярно плоскости действия момента (см. рисунок 1.2, а). Напряжения от изгибающего момента и средние от срезающих сил в этом случае находят по формулам сопротивления материалов:

$$\sigma_M = \frac{M}{W_w}; \sigma_F = \frac{F}{A_w}; \sigma_P = \frac{P}{A_w}. \quad (1.1)$$

Отложив значения этих напряжений в характерных точках сечения (обычно крайних) в сторону, обратную внешним воздействиям ( $M$ ,  $F$ ,  $P$ ), получим векторную диаграмму компонентов напряжений, которая позволяет без расчетов установить наиболее напряженную точку шва и вычислить для нее суммарные (результатирующие) напряжения. Например, для шва на рисунке 1.2, *a* по диаграммам напряжений видно, что более напряженной точкой шва является точка 1, так как для нее суммарное напряжение будет больше, чем для точки 2.

Суммарные напряжения можно вычислить аналитически и графически (см. рисунок 1.2, *a*):

$$\vec{\sigma} = \vec{\sigma}_M + \vec{\sigma}_F + \vec{\sigma}_P . \quad (1.2)$$

Если направления составляющих ортогональны, применяют формулу Пифагора. Тогда условие прочности для точки 1 (см. рисунок 1.2, *a*)

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_M + \sigma_P^2 + \sigma_F} \leq R_{wf} \gamma_c . \quad (1.3)$$

Используя это выражение, можно решить известные три вида задач: находить катет или длину сварного шва, определять величину внешней предельной силы на консоль или проверять прочность шва.

Для вычисления геометрических характеристик сечения шва его изображают отдельно и проставляют необходимые размеры.

При расчете угловых швов, расположенных в плоскости действия момента (см. рисунок 1.2, *b*), компоненты (составляющие) средних напряжений от срезающих сил и их направление определяют, как и в случае поперечного изгиба швов, по формулам (1.1). Напряжения от момента определяют в предположении поворота консоли на малый угол вокруг центра тяжести сварных швов (ЦТШ) по формуле

$$\sigma_M = \frac{M\rho}{I_{wx} + I_{wy}} , \quad (1.4)$$

где  $M$  – изгибающий момент всех внешних сил относительно центра тяжести сварных швов;  $\rho$  – расстояние от ЦТШ до рассматриваемой точки шва;  $I_{wx}$ ,  $I_{wy}$  – осевые моменты инерции сварных швов.

Напряжение от момента действует перпендикулярно плечу  $\rho$ , направлено в сторону, обратную изгибающему моменту. Составляющие напряжений от срезающих внешних сил также направлены в сторону, обратную действию внешних сил.

Суммарное максимальное напряжение в точке определяют по общей формуле (1.2) после анализа диаграмм напряжений в крайних точках шва.

Разложив напряжение от момента на взаимно перпендикулярные направления (см. рисунок 1.2, б), условие прочности в аналитической форме примет вид

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_M \cos \alpha + \sigma_F}^2 + \sigma_M \sin \alpha + \sigma_F}^2 \leq R_{wf} \gamma_c. \quad (1.5)$$

Возможности этого выражения такие же, как и (1.3), т. е. по нему можно найти размеры сварных швов, предельную силу или проверить прочность сварки.

На рисунке 1.2, б приведено решение задачи в графической форме.

## 1.2 Примеры расчета сварных соединений

**Пример 1.1.** Проверить прочность стыкового сварного соединения ригеля рамы (рисунок 1.3), выполненного из стали С255;  $R_y = 230$  МПа,  $R_s = 135$  МПа. Усилия в стыковом сечении:  $M = 1100$  кН·м;  $N = 230$  кН,  $Q = 930$  кН. Сварка полуавтоматическая, способ контроля – визуальный.

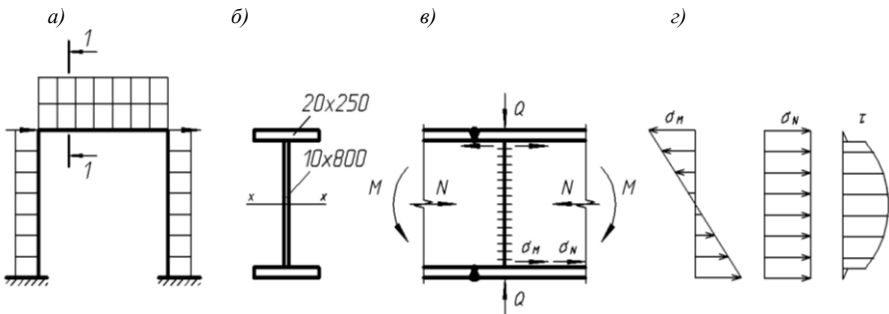


Рисунок 1.3 – К примеру 1.1

*Решение.* В стыке возникают нормальные напряжения от усилий  $M$  и  $N$  и касательные от  $Q$ . Вычисляем геометрические характеристики сечения (рисунок 1.3, б).

Момент инерции относительно центральной оси  $I_{wx} = \frac{1 \cdot 80^3}{12} + 2 \cdot 2,2 \cdot 25 \cdot 41^2 = 227577 \text{ см}^4$ . Момент сопротивления  $W_{wx} = 227577/42,2 = 5393 \text{ см}^3$ ; статический момент площади полусечения  $S_{wx} = 2,2 \cdot 25 \cdot 41 + 1 \cdot 40 \cdot 20 = 3055 \text{ см}^3$ ; площадь сечения шва  $A = 2,2 \cdot 25 \cdot 2 + 80 \cdot 1 = 190 \text{ см}^2$ .

Проверяем прочность по нормальным напряжениям от усилий  $M$  и  $N$  по формулам, изложенным в п. 1.1. Эпюры напряжений приведены на рисунке 1.3, г.

$$\sigma_M = \frac{M}{W_{wx}} = \frac{1100 \cdot 10^3}{5393} = 204 \text{ МПа}; \quad \sigma_N = \frac{N}{A_w} = \frac{220 \cdot 10}{190} = 12 \text{ МПа}.$$

Наибольшие результирующие напряжения будут в нижней точке стыкового шва (см. рисунок 1.3, в):  $\sigma = \sigma_M + \sigma_N = 204 + 12 = 216 \text{ МПа} > R_{wy} = 0,85R_y = 195 \text{ МПа}$ .

Прочность стыкового шва пояса при визуальном (не физическом) способах контроля качества сварки не обеспечивается. Необходим или физический способ контроля (тогда  $R_{wy} = R_y$ ), или смещение стыка в менее напряженное сечение ближе к нулевой моментной точке.

Проверяем прочность стыка по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{QS}{I_x t} = \frac{930 \cdot 3055 \cdot 10}{227577 \cdot 1} = 125 \text{ МПа} < R_{ws} \gamma_c = 130 \text{ МПа}.$$

Прочность по касательным напряжениям обеспечена.

**Пример 1.2.** На примере расчета консоли (рисунок 1.4) проиллюстрируем решение трех часто встречаемых типов задач: 1) проверка прочности сварного шва; 2) определение катета углового шва; 3) определение грузоподъемности консоли из условия прочности шва.

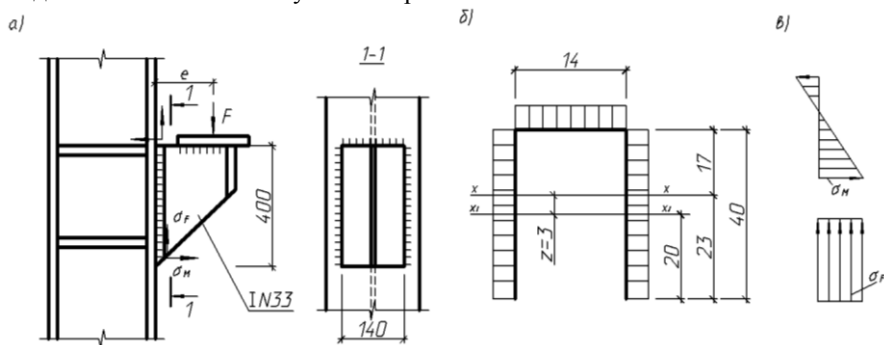


Рисунок 1.4 – К примеру 1.2

*Решение.* Поскольку сечение шва расположено в плоскости, перпендикулярной плоскости изгиба, имеем случай поперечного изгиба.

1 При проверке прочности сварного соединения задано:  $F = 240 \text{ кН}$ ;  $e = 180 \text{ мм}$ ; катет шва  $k_f = 8 \text{ мм}$ ; сталь С235; сварка ручная, электроды типа Э-42. По таблицам 34\* и 56 [1] или Б.6 имеем  $R_{wf} = 180 \text{ МПа}$ ;  $\beta_f = 0,7$ ;  $R_{wz} = 165 \text{ МПа}$ ;

$\beta_z = 1$ . Поскольку  $\frac{R_{wf} \beta_f}{R_{wz} \beta_z} = \frac{126}{165} = 0,76 < 1$ , то расчет ведем по металлу шва.

Усилия:  $M = 240 \cdot 0,18 = 43,2 \text{ кН}\cdot\text{м}$ ;  $Q = F = 240 \text{ кН}$ . Вычисляем необходимые геометрические характеристики сечения шва. При катете  $k_f \beta_f = 0,8 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ см}$



площадь сечения шва  $A_w = 0,56(2 \cdot 40 + 14) = 52,6 \text{ см}^2$ . Координата центра тяжести от оси, проходящей через середину вертикальных швов,

$$z = \frac{S_{wxl}}{A_w} = \frac{14 \cdot 0,56 \cdot 20}{52,6} = 3 \text{ см}; \quad I_x = \frac{2 \cdot 0,56 \cdot 40^3}{12} + 2 \cdot 40 \cdot 0,56 \cdot 3^2 + 14 \cdot 0,56 \cdot 17^2 = 8642 \text{ см}^4;$$

$$W_{wx,\min} = \frac{8642}{23} = 376 \text{ см}^3. \quad \text{Эпюры напряжений изображены на рисунке 1.4, в.}$$

$$\text{Компоненты напряжений: } \sigma_M = \frac{43 \cdot 2 \cdot 10^3}{376} = 115 \text{ МПа}; \quad \sigma_F = \frac{240 \cdot 10^3}{52,6} = 45,6 \text{ МПа.}$$

Наибольшее напряжение будет в нижней точке:  $\sigma_w = \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_F^2} = \sqrt{115^2 + 45,6^2} = 125 \text{ МПа} \leq R_{wf} \gamma_c = 180 \text{ МПа}$ . Прочность обеспечена.

2 Катет шва определим, используя исходные данные примера. Расчет ведем по сечению металла шва при  $\beta_f = 0,7$ . Геометрические характеристики в этом случае запишем в форме  $A_w = 52,6 k_f / 0,8 = 65,8 k_f \text{ см}^2$ ;

$$W_{wx} = 376 k_f / 0,8 = 470 k_f \text{ см}^3.$$

Катет шва находим из условия прочности  $\sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_F^2} = R_{wf} \gamma_c$ , которое после подстановки значений примет вид  $\sqrt{\left(\frac{43,2 \cdot 10^3}{470 k_f}\right)^2 + \left(\frac{240 \cdot 10}{65,8 k_f}\right)^2} = 180 \text{ МПа}$ .

Решение дает  $k_f = 0,55 \text{ см}$ . С учетом таблиц 38\* [1] или Б.6 для толщины более толстого листа 16 мм принято  $k_f = 6 \text{ мм}$ .

3 Для определения грузоподъемности консоли (предельной силы  $F$ ) необходимы следующие данные: размеры сварных швов, вид сварки, материал. Значения исходных данных приняты по примеру 1.1.

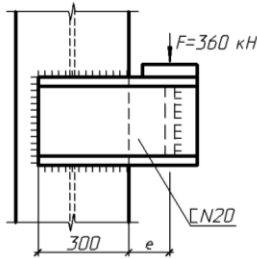
Для решения задачи используем условие прочности для самой напряженной в данном случае точки сварного шва:

$$\sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_F^2} = \sqrt{\left(\frac{F \cdot 0,18 \cdot 10^3}{376}\right)^2 + \left(\frac{F \cdot 10^3}{52,6}\right)^2} = R_{wf} \gamma_c = 180 \text{ МПа.}$$

Решение уравнения дает:  $F = 349 \text{ кН}$ .

**Пример 1.3.** Проверить прочность прикрепления консоли к колонне ручной сваркой (рисунок 1.5). Сила  $F = 360 \text{ кН}$ , электроды – типа Э-46, сталь – С255,  $\beta_f = 0,7$ ;  $e = 200 \text{ мм}$ ; расчетным является сечение по металлу шва  $R_{wf} \gamma_c = 200 \text{ МПа}$ ; катет шва  $k_f = 6 \text{ мм}$ .

а)



б)

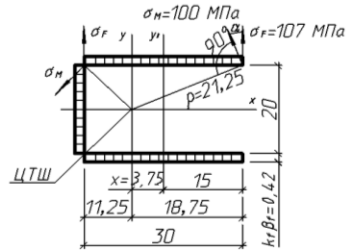
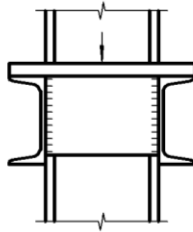


Рисунок 1.5 – К примеру 1.3

*Решение.* Швы работают на срез от действия силы  $F$  и изгибающего момента. Из конструкции видно, что сварные швы размещены в плоскости действия изгибающего момента, поэтому напряжения от изгибающего момента будем определять по формуле (1.4). Геометрические характеристики шва: катет шва  $k_f \beta_f = 0,6 \cdot 0,7 = 0,42$  см, площадь сечения шва  $A_w = 0,42 \cdot 2 \cdot 30 + 20 = 33,6$  см.

Вычислим координату центра тяжести сварных швов (см. рисунок 1.5, б):

$$x = \frac{S_{wy0}}{A_w} = \frac{20 \cdot 0,42 \cdot 15}{33,6} = 3,75 \text{ см.}$$

Определим осевые моменты инерции:  $I_{wx} = \frac{0,42 \cdot 20^3}{12} + 30 \cdot 0,42 \cdot 2 \cdot 10^2 =$

$$= 2800 \text{ см}^4; \quad I_{wy} = \frac{2 \cdot 0,42 \cdot 30^3}{12} + 2 \cdot 30 \cdot 0,42 \cdot 3,75^2 + 20 \cdot 0,42 \cdot 11,25^2 = 26784 \text{ см}^4.$$

Расстояние до наиболее удаленной точки  $\rho = \sqrt{10^2 + 18,75^2} = 21,25$  см.

Усилия  $M = 360(0,2 + 0,1875) = 139,5$  кН·м;  $Q = F = 360$  кН. Напряжения в наиболее удаленной точке от изгиба вычислим по формуле (1.4):

$$\sigma_M = \frac{139,5 \cdot 10^3 \cdot 21,25}{2800 + 26784} = 100 \text{ МПа.}$$

Средние напряжения от среза  $\sigma_F = \frac{360 \cdot 10}{33,6} = 107 \text{ МПа.}$

Направление компонентов напряжений  $\sigma_M$  и  $\sigma_F$  показаны на рисунке 1.5, б. Суммарное напряжение определим по теореме Пифагора, разложив вектор на составляющие. При значениях  $\sin \alpha = 10/21,25 = 0,47$  и  $\cos \alpha = 18,75/21,25 = 0,88$ , получим  $\sigma_w = \sqrt{107 + 100 \cdot 0,88^2 + 100 \cdot 0,47^2} = 201 \approx R_{wf} \gamma_c = 200 \text{ МПа.}$

Прочность консоли обеспечена.

**Пример 1.4.** Проверить прочность прикрепления связей к колонне, выполненного на сварке (рисунок 1.6). Сварка полуавтоматическая, катет шва – 6 мм;  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ ; сварочная проволока – типа Св-08ГА ( $R_{wf} = 210$  МПа), сталь С245 ( $R_{wz} = 200$  МПа). Усилия, действующие на швы, показаны на рисунке 1.6.

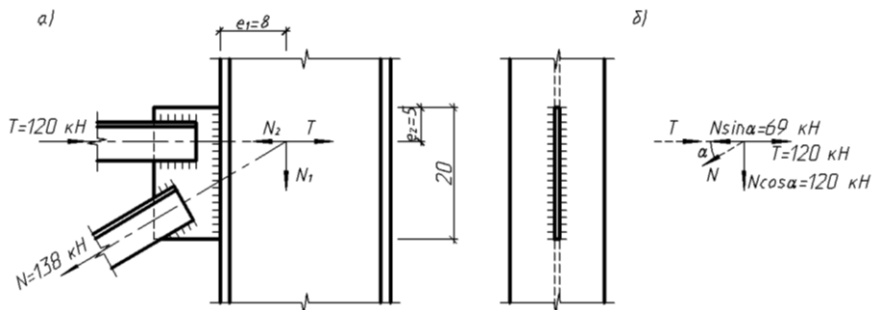


Рисунок 1.6 – К примеру 1.4

*Решение.* Поскольку  $\frac{R_{wf}\beta_f}{R_{wz}\beta_z} = \frac{189}{200} = 0,945 < 1$ , то расчет ведем лишь по

металлу шва. Усилия  $T$  и  $N$  относительно центра тяжести шва (ЦТШ) действует с эксцентриситетами. Разложим силу  $N$  на два ортогональных направления (см. рисунок 1.6, б), тогда прочность шва будем проверять на усилия:

- горизонтальное  $H = T - N \sin \alpha = 120 - 69 = 51$  кН;
- вертикальное  $V = N \cos \alpha = 120$  кН.

Изгибающий момент всех сил ( $H, V$ ) относительно ЦТШ  $M = 0,08 \cdot 120 + 0,05 \cdot 51 = 12,15$  кН·м.

Строим диаграмму напряжений для крайних точек шва (см. рисунок 1.6, а) и замечаем, что наиболее напряженной является верхняя точка. Геометрические характеристики шва: расчетная толщина  $k_f\beta_f = 0,9 \cdot 0,6 = 0,54$  см, площадь сечения –  $A_w = 2 \cdot 20 \cdot 0,54 = 21,5$  см момент сопротивления –  $W_w = 2 \cdot 0,54 \cdot 20^2/6 = 72$  см<sup>3</sup>.

Компоненты напряжений:  $\sigma_H = 51 \cdot 10/21,6 = 23,6$  МПа;  $\sigma_V = 120 \cdot 10/21,6 = 55,6$  МПа;  $\sigma_M = 12,15 \cdot 10^3/72 = 168,6$  МПа.

Суммарные напряжения для верхней точки шва (см. рисунок 1.6, а)

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_H + \sigma_M^2 + \sigma_V^2} = \sqrt{23,6 + 168,8^2 + 55,6^2} = 200,2 \text{ МПа} > R_{wf}\gamma_c = 189 \text{ МПа.}$$

Прочность сварного шва не обеспечена.

$$\text{Для нижней точки } \sigma_w = \sqrt{168,8 - 23,6^2 + 55,6^2} = 155,5 \text{ МПа} < R_{wf}\gamma_c = 189 \text{ МПа.}$$

**Пример 1.5.** Для конструкций сварных узлов (рисунок 1.7), не производя расчетов, установить усилия, а по анализу составляющих напряжений в характерных точках шва установить более напряженную точку шва и написать значения суммарных напряжений для этой точки.

Умение решать подобные задачи "на ходу" на основе анализа работы силовой схемы конструкции – признак зрелости специалиста.

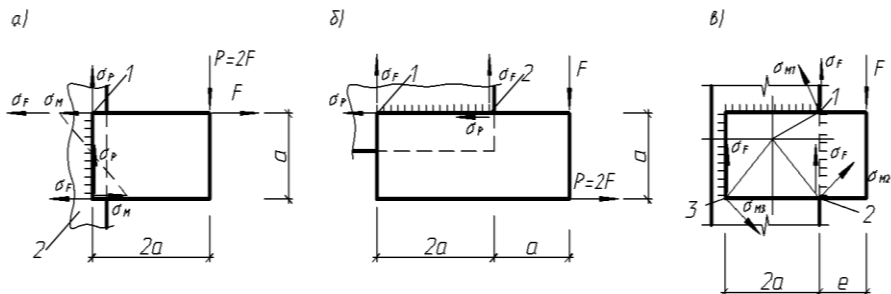


Рисунок 1.7 – К примеру 1.5

*Решение.* На узел сварного соединения на рисунке 1.7, а действуют усилия: изгибающий момент  $M = 4,5F$ ; срезающие силы  $P$  и  $F$ . Векторы напряжений для крайних точек показаны на рисунке 1.7, а. Они направлены в сторону, обратную направлению внешних сил.

Из рисунка 1.7 видно, что наибольшее напряжение в верхней точке шва.

Его величина по теореме Пифагора  $\sigma_w = \sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_M^2 + \sigma_P^2}$ .

Для сварного соединения на рисунке 1.7, б рассматриваем усилия:  $M = 0$ , срезающие силы  $P$  и  $F$ . Векторы напряжений  $\sigma_P$  и  $\sigma_F$  для характерных точек показаны на рисунке 1.7, б.

Суммарное напряжение  $\overline{\sigma_w} = \overline{\sigma_P} + \overline{\sigma_F}$ , или  $\sigma_w = \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_F^2}$ .

Для сварного соединения на рисунке 1.7, в имеем случай кручения сварных швов. Усилия:  $M = F e + a$ , срезающая сила  $F$ . Вектор напряжений от изгибающего момента направлен нормально плечу, соединяющему ЦТШ с крайними точками шва. Из анализа диаграмм напряжений в точках 1 и 2 видим, что более напряженной является точка 2, поскольку для нее  $\sigma_{M2} > \sigma_{M1}$  вследствие  $\rho_2 > \rho_1$ .

### 1.3 Задачи по расчету сварных соединений

1.1. В сварном стыке стенки рамной конструкции (рисунок 1.8, а) определить наибольшие нормальные и касательные напряжения. Сварка ручная,

контроль качества сварки – визуальный, усилия:  $M = 2Fl$ ,  $N = 4F$ ,  $Q = 0,5F$ . Значения  $F$  и  $l$  принять по таблице 1.1.

1.2. В угловом сварном соединении (см. рисунок 1.8, б) определить наибольшие и наименьшие напряжения. Сварка ручная, катет шва – 8 мм, сталь С235 ( $R_{wz} = 165$  МПа,  $R_{wf} = 180$  МПа). Внешние воздействия  $Q = 4F$ , значения  $F$  принять по таблице 1.1. Катет шва – 8 мм.

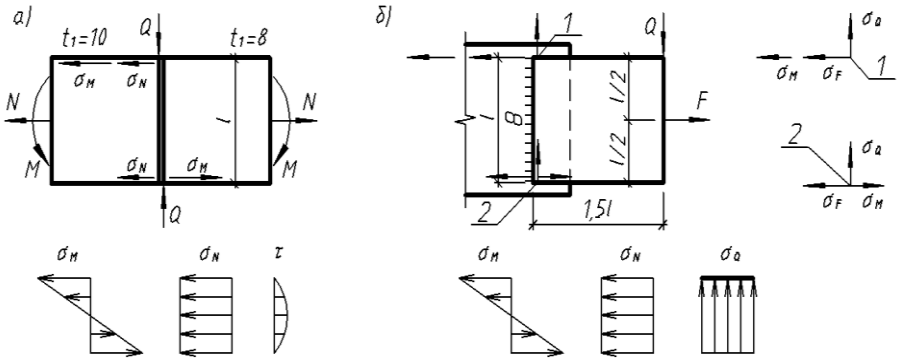


Рисунок 1.8 – К задачам 1.1–1.2

1.3. Определить величину и направление максимального напряжения в сварном шве (рисунок 1.9, а). Сварка – ручная, катет шва – 10 мм. Значения  $F$  и  $l$  принять по таблице 1.1. Сталь С235,  $R_{wz} = 165$  МПа,  $R_{wf} = 180$  МПа.

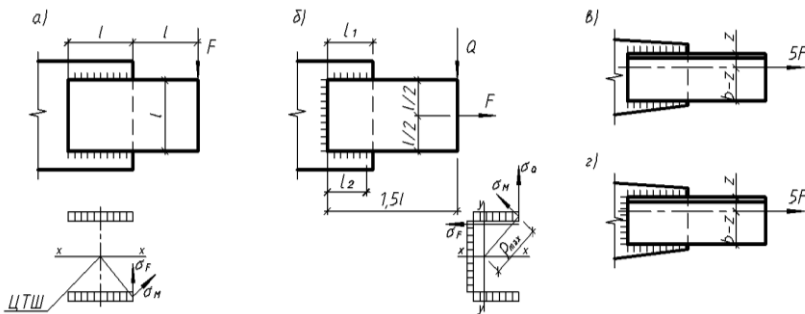


Рисунок 1.9 – К задачам 1.3–1.11

1.4. Определить катет шва в сварном соединении (см. рисунок 1.9, а). Сталь С255, сварка ручная, толщина соединяемых листов по 16 мм. Значения  $F$  и  $l$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ .

Т а б л и ц а 1.1 – **Варианты заданий к задачам**

Вариант	$F$ , кН	$l$ , мм	Профиль уголка, мм	$h$ , мм	Вариант	$F$ , кН	$l$ , мм	Профиль уголка, мм	$h$ , мм
1	200	140	50×5	180	36	320	240	70×5	270
2	210	150	56×5	210	37	320	260	70×6	276
3	220	160	63×5	240	38	330	260	80×6	282
4	230	170	70×5	270	39	340	260	80×7	288
5	240	180	75×5	300	40	350	270	90×7	300
6	250	190	80×6	330	41	380	270	90×8	315
7	260	200	90×7	360	42	360	290	100×7	330
8	270	210	100×7	390	43	370	280	100×8	339
9	280	220	63×6	420	44	380	300	100×10	345
10	290	230	80×7	420	45	390	310	110×8	351
11	300	240	100×8	390	46	420	290	125×8	360
12	310	260	125×8	360	47	430	320	125×9	390
13	320	280	140×9	330	48	400	330	125×10	396
14	310	300	63×6	300	49	440	340	140×9	420
15	305	290	70×6	270	50	450	345	125×12	426
16	295	280	75×6	240	51	470	350	140×10	405
17	280	270	80×7	210	52	480	340	100×10	420
18	270	260	80×7	180	53	460	360	110×8	436
19	265	250	90×8	186	54	500	320	125×8	465
20	255	240	100×8	216	55	520	380	125×10	480
21	245	230	63×5	246	56	530	400	140×12	495
22	235	220	56×5	276	57	620	390	160×10	525
23	225	210	63×6	306	58	580	420	80×7	510
24	215	200	63×5	336	59	560	430	90×7	540
25	235	220	70×5	366	60	600	450	100×7	555
26	255	230	70×6	396	61	620	460	100×10	570
27	255	240	63×6	366	62	630	480	125×8	585
28	245	250	70×6	336	63	650	490	100×10	600
29	225	240	63×6	306	64	670	510	125×12	615
30	205	230	63×5	276	65	720	550	160×10	630
31	210	240	50×5	246	66	700	560	160×12	645
32	220	250	56×5	216	67	740	580	180×11	660
33	215	240	70×6	186	68	770	590	180×12	675
34	200	220	70×5	216	69	780	600	200×12	690
35	180	250	50×4	246	70	800	640	200×13	705

1.5. Определить величину и направление максимального напряжения в комбинированном шве (см. рисунок 1.9, б). Сварка ручная, катет швов – 10 мм. Как будет меняться величина наибольшего напряжения в случае приложения силы  $F$  по верхнему (нижнему) канту полосы? Значения  $F$  и  $l$  принять по таблице 1.1.

1.6. Определить катет шва в соединении (см. рисунок 1.9, б). Сталь С375, толщина обоих листов по 14 мм. Сварка ручная. Значение  $F$  и  $l$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ .

1.7. Уголок из стали С345 прикреплен ручной сваркой к листу (см. рисунок 1.9, а). Катеты швов по перу и обушку одинаковы и равны  $k_f = t - 2$  мм, где  $t$  – толщина уголка. Найти длины сварных швов по перу и обушку уголка, при которых в сварных швах не возникают напряжения от изгибающего момента. Значение  $F$  и профиль уголка принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 0,75$ .

1.8. Уголок из стали С235 прикреплен ручной сваркой к листу по контуру (см. рисунок 1.9, з). Катет шва  $k_f = t - 2$  мм, где  $t$  – толщина уголка. Найти длины сварных швов по перу и обушку, при которых в сварных швах не возникают напряжения от изгибающего момента. Значение  $F$  и профиль уголка принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 0,75$ .

1.9. Уголок из стали С235 приварен ручной сваркой к листу (см. рисунок 1.9, а). Катет шва  $k_f = t - 2$  мм, где  $t$  – толщина уголка. Длины швов: по перу уголка  $l_n = 0,3b$ , по обушку  $l_o = 0,7b$  ( $b$  – ширина полки уголка). Найти предельную силу  $F$  из условия прочности сварного соединения. Профиль уголка принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 0,75$ , электроды типа Э-42.

1.10. Определить катет сварного шва, которым опорный столик из стали С345 приваривается ручной сваркой к колонне (см. рисунок 1.9, а). Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,6h$ , электроды типа Э50.

1.11. Найти предельную силу  $F$  на консоль, выполненную из стали С285 (см. рисунок 1.9, а). Сварка ручная, катет шва – 8 мм,  $\gamma_c = 1$ . Значение  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,4h$ , электроды типа Э46.

1.12. Опорный столик из стали С245 приварен ручной сваркой к колонне (рисунок 1.10, а). Проверить прочность сварного соединения, если катет сварного шва равен 10 мм. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,5h$ .

1.13. Консоль из стали С345 (см. рисунок 1.10, б) приварена к колонне ручной сваркой по контуру ( $k_f = 8$  мм). Проверить прочность сварного соединения. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,4h$ , электроды типа Э46А.

1.14. Определить катет сварного шва, которым консоль из стали С345 приваривается ручной сваркой к стальной колонне (см. рисунок 1.10, б). Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,5h$ , электроды типа Э46.

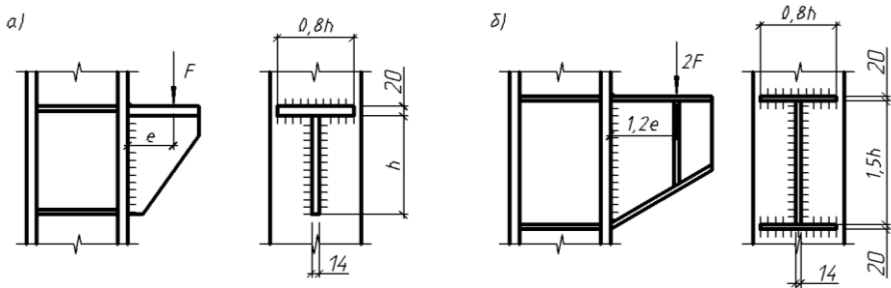


Рисунок 1.10 – К задачам 1.12–1.15

1.15. Вычислить предельную силу  $N$  на консоль из стали С245 (см. рисунок 1.10, б). Сварка полуавтоматическая, сварочная проволока Св-08, катет шва – 10 мм,  $\gamma_c = 1$ . Значение  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,4h$ .

1.16. Консоль, выполненная из двутавра, приварена к колонне ручной сваркой по контуру (рисунок 1.11, а). Проверить прочность сварного шва. Катет шва – 8 мм, материал – сталь С375. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1,05$ ,  $e = 0,4h$ , электроды типа Э46.

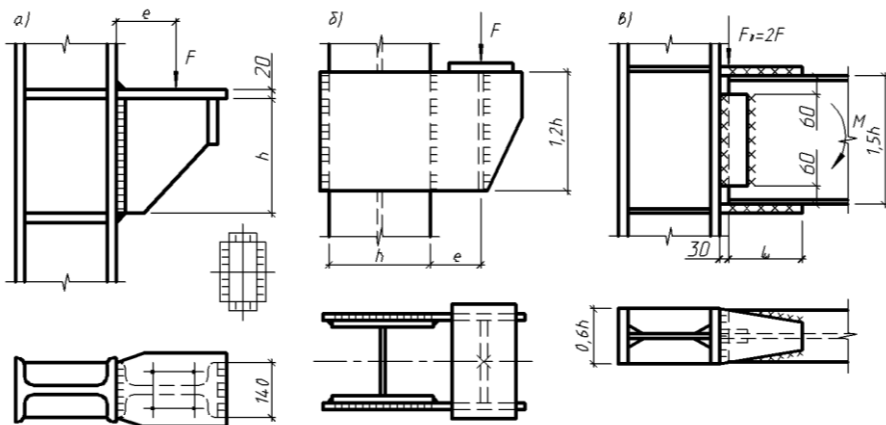


Рисунок 1.11 – К задачам 1.16–1.22

1.17. Консоль, выполненная из прокатного двутавра, приварена ручной сваркой к колонне по контуру (см. рисунок 1.11, а). Определить катет шва, если материал консоли – сталь С345. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,3h$ , электроды типа Э46.

1.18. Вычислить предельную силу  $F$  на консоль, выполненную из прокатного двутавра и приваренную к стальной колонне ручной сваркой по контуру катетом шва – 8 мм (см. рисунок 1.11, а). Сталь С285,  $\gamma_c = 1$ . Значение  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,4h$ , сварочная проволока марки Св-08А.



1.19. Проверить прочность крепления консоли к колонне (см. рисунок 1.11, б). Сварка ручная ( $k_f = 10$  мм), сталь С285,  $\gamma_c = 1$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,6h$ , сварочная проволока марки Св-08А.

1.20. Консоль из листовой стали С285 приварена к стальной колонне ручной сваркой (см. рисунок 1.11, б). Определить катет сварного шва. Значение  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,4h$ , электроды типа Э46.

1.21. Определить предельную силу  $F$  на консоль из листовой стали С345, приваренную ручной сваркой к колонне (см. рисунок 1.11, б). Катет шва – 8 мм,  $\gamma_c = 1$ . Значение  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,5h$ .

1.22. Жесткое сопряжение ригеля с колонной (см. рисунок 1.11, в) осуществлено с помощью ручной сварки и накладок. Задавшись катетом шва ( $k_f = 8 \dots 10$  мм), определить длины поясных накладок и проверить прочность вертикальных и горизонтальных лобовых сварных швов. Сталь С345, поясные накладки к колонне приварены угловыми швами с разделкой кромок и подваркой корня шва. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $M = F_0h$ .

1.23. Найти предельную силу на консоль (рисунок 1.12, а) из условия прочности сварных швов. Сварка ручная, катет швов – 10 мм, сталь С375. Значения  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,4h$ , электроды типа Э46А.

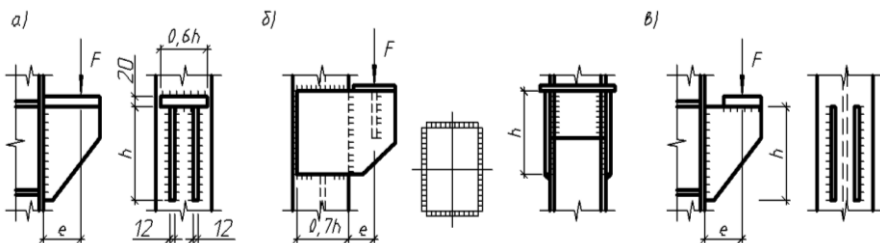


Рисунок 1.12 – К задачам 1.23–1.28

1.24. Опорная консоль из стали С285 приваривается к колонне ручной сваркой (см. рисунок 1.12, а). Определить катет сварного шва. Значение  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,3h$ ,  $\gamma_c = 1$ . Сварочная проволока марки Св-08А.

1.25. Определить предельную силу, действующую на консоль (см. рисунок 1.12, б), из условия прочности сварных швов, соединяющих консоль с колонной. Сталь – С345, сварка ручная, катет швов 8 мм. Значения  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,3h$ ,  $\gamma_c = 1$ , электроды – типа Э46.

1.26. Определить катет сварного шва консоли из листовой стали толщиной 14 мм (см. рисунок 1.12, б). Сталь С345, сварка ручная. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,35h$ ,  $\gamma_c = 1,05$ . Сварочная проволока марки Св-08Г2С.

1.27. Вычислить силу, которую может воспринять консоль (см. рисунок 1.12, а) из условия прочности сварных швов, соединяющих колонну с консолью. Сварка ручная, катет шва – 10 мм. Сталь С275, значения  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ ,  $e = 0,5h$ , электроды типа Э46.

1.28. Определить катет сварного шва консоли, выполненной из вертикальных листов толщиной 12 мм, сталь С245 (см. рисунок 1.12, в). Сварка ручная, электроды типа Э42. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $e = 0,45h$ ,  $\gamma_c = 1,1$ .

1.29. К оголовку колонны ручной сваркой прикреплены связи (рисунок 1.13, а). Катет шва – 8 мм, сталь С245, электроды типа Э42. Проверить прочность сварного шва. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ .

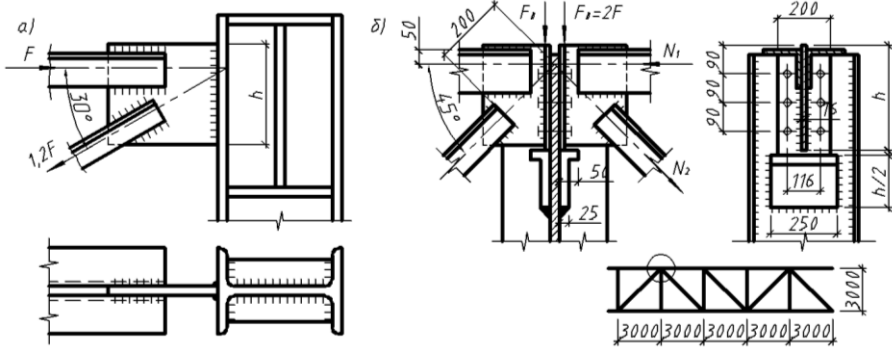


Рисунок 1.13 – К задачам 1.29–1.33

1.30. Определить катет сварного шва, с помощью которого опорная фасонка связи прикрепляется к колонне (см. рисунок 1.13, а). Сварка полуавтоматическая под слоем флюса, сварочная проволока марки Св-10ГА ( $R_{wf} = 215$  МПа,  $\beta_f = 0,9$ ). Сталь С345 ( $R_{wf} = 205$  МПа,  $\beta_f = 1,05$ ). Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ .

1.31. Подстропильная ферма передает давление  $F_0$  на колонну через опорный столик (см. рисунок 1.13, б). Определить усилия  $N_1$  и  $N_2$ . Вычислить длины швов по перу и обушке уголка для прикрепления верхнего пояса к опорной фасонке при  $k_f = 8$  мм. Найти катет шва для прикрепления опорного столика к колонне. Материал – сталь С345. Значения  $F$ ,  $h$  и номер уголка принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ .

1.32. В узле крепления фермы к колонне (см. рисунок 1.13, б) определить усилия  $N_1$  и  $N_2$  в опорных стержнях фермы и вычислить катет сварного шва, соединяющего опорный лист с узловой фасонкой. Материал – сталь С345,  $\gamma_c = 1,05$ , сварка – полуавтоматическая, сварочная проволока Св-08,  $\beta_f = 0,9$ , значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ .

1.33. Вертикальная связь прикрепляется к колонне двумя сварными швами (см. рисунок 1.13, а). Определить напряжение в этих швах, если катет шва равен 6 мм, сварка – полуавтоматическая под слоем флюса. Сварочная проволока – марки Св-10ГА2 ( $R_{wf} = 240$  МПа,  $\beta_f = 0,9$ ). Сталь С245 ( $R_{wf} = 190$  МПа,  $\beta_f = 1,05$ ). Значение  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1,  $\gamma_c = 1$ .

## 2 БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 2.1 Расчет болтовых соединений

Болтовые соединения бывают на обычных и высокопрочных болтах. Усилия в соединениях на обычных болтах, работающих на сдвиг, передаются через срез болтов и смятие листа (рисунок 2.1, а). В соединениях на высокопрочных болтах усилия сдвига передаются через силы трения (см. рисунок 2.1, б) за счет обжатия листов преднапряженными болтами. Такие соединения иногда называют фрикционными. Сами же болты при этом работают на растяжение. Разработан способ расчета соединений на высокопрочных болтах, учитывающих помимо сил трения и их работу на срез и смятие. Известны также клееболтовые соединения. По конструкции болтовые соединения бывают: нахлесточные, на накладках, тавровые, фланцевые (см. рисунок 2.1, в).

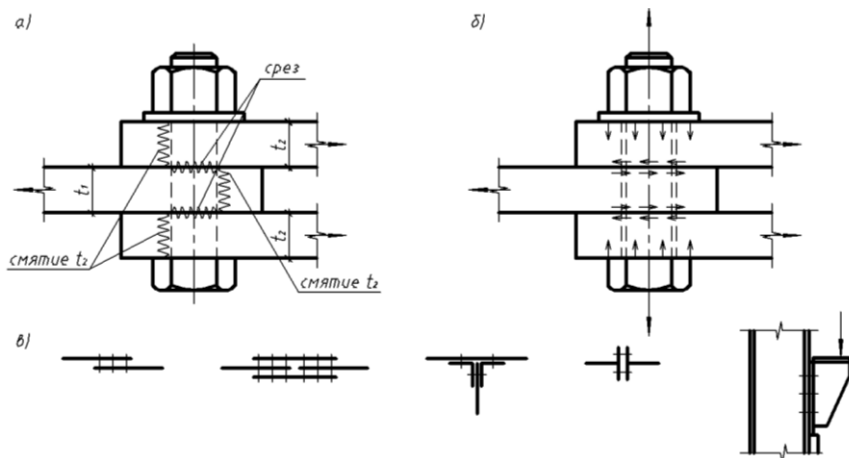


Рисунок 2.1 – Болтовые соединения

Как и в сварных соединениях, болты (болтовое поле) могут размещаться в плоскости, перпендикулярной плоскости действия усилия (пример, фланцевые соединения) и в плоскости, параллельной плоскости усилия (соединения с накладками). Обычные болты в зависимости от технологии изготовления могут быть грубой (ГОСТ 15589–70\*), нормальной (ГОСТ 7798–70\*) и повышенной (ГОСТ 7805–70\*) точности. Высокопрочные болты поставляются по ГОСТ 22353–77\* и ГОСТ 22356–77\*, их механические свойства определяются ГОСТ 22356–77\*.

Обычные болты имеют несколько классов прочности: 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.6, 8.8, 10.9 (первое число, умноженное на 100, определяет минимальное временное сопротивление болтов, МПа; произведение чисел, умноженное на 10, равно пределу текучести, МПа).

Выбор класса прочности болта производят по таблице 57\* [1] в зависимости от климатического района строительства и условий работы болтов.

Условие прочности болтовых соединений:

– на обычных болтах –

$$N_{\max} \leq N_{b,\min}; \quad (2.1)$$

– высокопрочных болтах –

$$N_{\max} \leq Q_{bh}, \quad (2.2)$$

где  $N_{\max}$  – наибольшее расчетное усилие, зависящее от величины и вида усилия, а также от геометрии болтового соединения (числа болтов и расстояния между ними);  $N_{b,\min}$  – минимальная несущая способность болта, зависящая от прочности материала соединения, диаметра болта, толщины листов и числа срезов;  $Q_{bh}$  – несущая способность высокопрочного болта, зависящая от усилия предварительного напряжения болта и способа обработки поверхностей.

Несущая способность одного болта при работе соединения на сдвиг принимается меньшей из двух:

– болта на срез –

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c; \quad (2.3)$$

– листа на смятие –

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \sum t \gamma_b \gamma_c. \quad (2.4)$$

Несущая способность болта на растяжение

$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn} \gamma_c. \quad (2.5)$$

Несущая способность одного высокопрочного болта одной плоскости трения

$$Q_{bh} = R_{bh} A_{bn} \mu / \gamma_h, \quad (2.6)$$

где  $R_{bs}$ ,  $R_{bp}$ ,  $R_{bt}$  – расчетное сопротивление болтов на срез, смятие, растяжение;  $R_{bh}$  – расчетное сопротивление высокопрочного болта на растяжение;  $R_{bh} = 0,7R_{bun}$ ;  $\gamma_b$ ,  $\gamma_h$  – коэффициенты условий работ болтов и соединений на высокопрочных болтах, принимаемое по таблице 36\* [1];  $A_b$ ,  $A_{bn}$  – площадь поперечного сечения болта соответственно брутто и нетто (с учетом ослабления болта резьбой);  $n_s$  – число срезов болта, равное числу соединяемых листов без одного ( $n_s = n - 1$ );  $n$  – число плоскостей трения;  $\sum t$  – минимальная толщина сминаемых листов соединений в одном направлении;  $\mu$  – коэффициент трения, принимаемый по таблице 36\* [1] в зависимости от марки стали и способа обработки соединяемых поверхностей.

В приложении В даны необходимые данные для расчета болтовых соединений.

Расчетное усилие в болте  $N_{\max}$  (наиболее нагруженный болт) устанавливается, как и для сварных швов, из анализа диаграммы усилий в крайних болтах. Так, при простом растяжении соединения (рисунок 2.2, а), принимая равномерное распределение усилия между болтами

$$N_{\max} = F/n, \quad (2.7)$$

где  $n$  – число болтов.

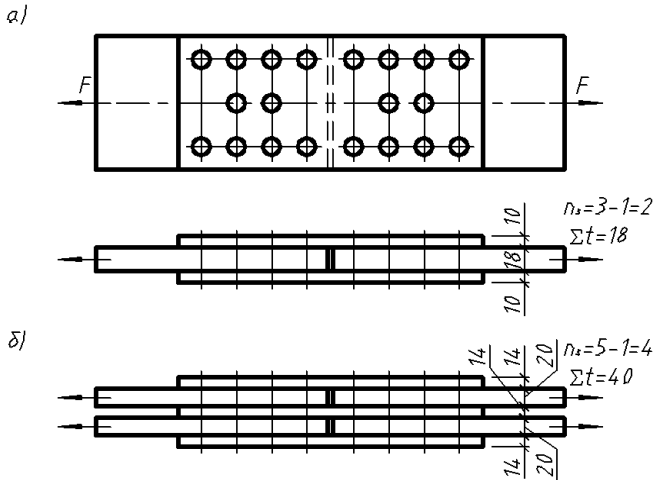


Рисунок 2.2 – Болтовые соединения

При работе болтов на растяжение в случае стесненного поворота сечения (рисунок 2.3, в) наибольшее растягивающее усилие

$$N_{\max} = M_{y1} / \sum y_i^2. \quad (2.8)$$

В общем случае при действии  $M, N, Q$  (рисунок 2.3, б) расчетное усилие в одном болте равно геометрической сумме составляющих усилий:

$$\vec{N}_{\max} = \vec{N}_M + \vec{N}_F + \vec{N}_Q, \quad (2.9)$$

где  $N_M = M \rho_{\max} / \sum \rho_i^2$ ;  $N_F = F/n$ ;  $N_Q = Q/n$ .

Суммарное усилие (см. рисунок 2.3, б) может быть определено и аналитически:

$$N_{\max} = \sqrt{N_M \cos \alpha + N_F^2 + N_M \sin \alpha + N_Q^2}. \quad (2.10)$$

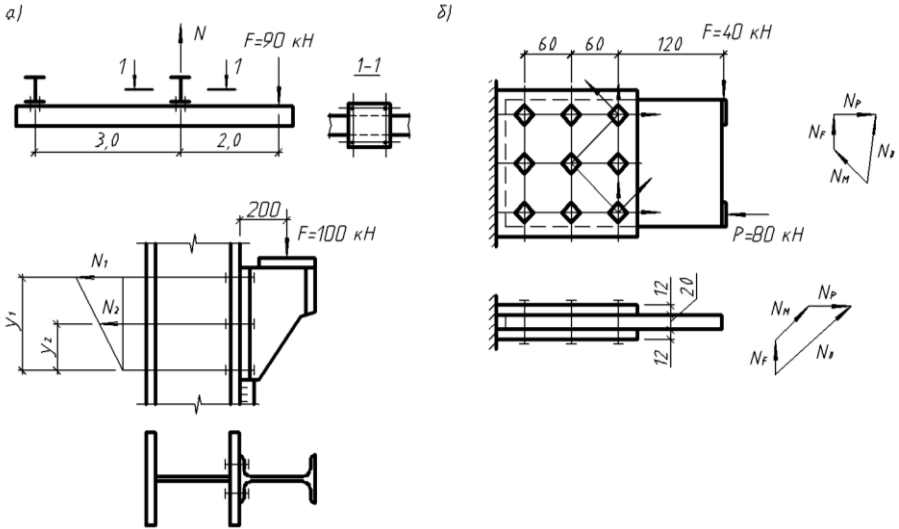


Рисунок 2.3 – Болтовые соединения, работающие на растяжение

## 2.2 Примеры расчета болтовых соединений

**Пример 2.1.** Определить несущую способность болта нормальной точности в соединении, изображенном на рисунке 2.2. Болты диаметром 24 мм, класса 5.6 с расчетным сопротивлением срезу  $R_{bs} = 190$  МПа,  $\gamma_b = 1$ . Соединяемые листы – из стали С235 с расчетным сопротивлением болта смятию  $R_{bp} = 365$  МПа.

*Решение.* Болтовое соединение работает на растяжение, усилия передаются через срез болтов и смятие листов. Рассмотрим первую схему соединения (рисунок 2.2, а). Несущая способность болта на срез определяется по формуле (2.3), на смятие – по формуле (2.4). В данном случае число срезов болта  $n_s = 3 - 1 = 2$ , минимальная толщина сминаемых листов  $\sum t = 1,8$  см. Тогда несущая способность болта на срез  $N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c = 190 \cdot 4,52 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10 = 172$  кН, на смятие –  $N_{bp} = R_{bp} d_b \sum t \gamma_b \gamma_c = 365 \cdot 2,4 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10 = 158$  кН.

Расчетной является меньшая величина  $N_{bp} = 158$  кН.

Для второй схемы соединения из пяти листов (рисунок 2.2, б) изменяется число срезов болта и минимальная толщина сминаемых листов:  $n_s = 5 - 1 = 4$ ,  $\sum t = 4$  см (максимальная  $\sum t = 4,2$  см). Несущая способность болта на срез  $N_{bs} = 190 \cdot 4,52 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10 = 344$  кН, на смятие –  $N_{bp} = 365 \cdot 2,4 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10 = 350$  кН.

Расчетной несущей способностью будет меньшая  $N_{bs} = 344$  кН.

**Пример 2.2.** Определить несущую способность высокопрочного болта в соединении из стали С255, изображенном на рисунке 2.2, а. Болты диаметром 16 мм из стали марки 30ХЗМФ с временным сопротивлением болта растяжению  $R_{bm} = 1550 \text{ Н/мм}^2$  (1550 МПа). Обе поверхности трения обработаны стальными щетками ( $\mu = 0,35$ ;  $\gamma_h = 1,25$ ;  $\gamma_b = 0,9$ ).  $A_{bn} = 1,57 \text{ см}^2$ .

*Решение.* Несущую способность болта определяем по формуле (2.5). При этом расчетное сопротивление высокопрочного болта растяжению принято  $R_{bh} = 0,7R_{bm} = 0,7 \cdot 1550 = 1085 \text{ МПа}$ ,  $Q_{bh} = 1085 \cdot 0,9 \cdot 1,57 \cdot 0,35 \cdot 2 / (1,25 \cdot 10) = 85,9 \text{ кН}$ .

**Пример 2.3.** Консольная балка прикреплена четырьмя болтами грубой точности диаметром 16 мм ( $A_{bn} = 1,57 \text{ см}^2$ ) класса 4.8 ( $R_{bt} = 160 \text{ МПа}$ ) и нагружена силой  $F = 90 \text{ кН}$  (см. рисунок 2.3, а). Проверить прочность болтового соединения.

*Решение.* Болты работают на растяжение. Определим из условия равновесия опорное давление  $N$ , действующее на болты:  $3N - 5F = 0$ ;  $N = 5F/3 = 5 \cdot 90/3 = 150 \text{ кН}$ . Усилие, приходящееся на один болт,  $N_0 = N/4 = 150/4 = 37,5 \text{ кН}$ . Несущая способность болта на растяжение  $N_b = R_{bt}A_{bn} = 160 \cdot 1,57/10 = 25 \text{ кН}$ .

Поскольку  $N_0 > N_b$  ( $37,5 \text{ кН} > 25 \text{ кН}$ ), прочность болтового соединения не обеспечивается. Необходимую площадь сечения болта определим из условия прочности  $N_0 = R_{bt}A_{bn}$ , откуда  $A_{bn} = N_0 \cdot 10/R_{bt} = 37,5 \cdot 10/160 = 2,34 \text{ см}^2$ .

Принят болт диаметром 24 мм ( $A_{bn} = 2,45 \text{ см}^2$ ).

**Пример 2.4.** Соединение (см. рисунок 2.3, б) выполнено на болтах повышенной точности диаметром 20 мм класса 5.6 ( $R_{bs} = 190 \text{ МПа}$ ) из стали С345 ( $R_{bp} = 560 \text{ МПа}$ ). Геометрия соединения и действующие нагрузки показаны на рисунке 2.3, б. Проверить прочность соединения.

*Решение.* Анализ работы соединения показывает, что оно работает на сдвиг, поэтому усилия передаются через срез болтов и смятие соединяемых листов. Усилия: срезающие силы  $F = 40 \text{ кН}$ ,  $P = 80 \text{ кН}$ , изгибающий момент сил  $F$  и  $P$  относительно центра тяжести болтового поля (ЦТБП)  $M = 40 \cdot 0,18 + 80 \cdot 0,06 = 12 \text{ кН}\cdot\text{м}$ . Определим наибольшее расчетное усилие, возникающее в болте, от внешних сил  $M$ ,  $F$  и  $P$ . Для этого построим диаграммы усилий для двух крайних болтов. Векторы усилий в болте ( $N_F$ ,  $N_P$ ,  $N_M$ ) откладываем в сторону, обратную направлению действия сил ( $F$ ,  $P$ ,  $M$ ). Вектор усилия от момента направлен перпендикулярно плечу  $\rho$ , соединяющему ЦТБП с болтом, и действует в сторону, противоположную действию изгибающего момента. Из векторных диаграмм видно, что наибольшее усилие будет в нижнем болте, в котором суммарное усилие больше, чем в верхнем. Величины составляющих усилий определяем по формулам (2.7)–(2.10).

$$N_F = 40/9 = 4,5 \text{ кН}; \quad N_P = 80/9 = 8,9 \text{ кН}.$$

$$\text{При } \sum \rho_i = 4 \cdot 0,06^2 + 4 \cdot 0,086^2 = 0,044 \text{ м}^2 \text{ и } \rho_{\max} = 0,06\sqrt{2} = 0,086 \text{ м} \text{ имеем}$$

$$N_M = M \rho_{\max} / \sum \rho_i^2 = 12 \cdot 0,086 / 0,044 = 24 \text{ кН}.$$

Суммарное усилие в болте при  $\alpha = 45^\circ$  получим по теореме Пифагора:

$$N_0 = \sqrt{N_M \cos \alpha + N_P}^2 + N_M \sin \alpha + N_F}^2 = \sqrt{24 \cdot 0,71 + 8,9}^2 + 24 \cdot 0,71 + 4,5}^2 = 33,7 \text{ кН.}$$

Вычислим несущую способность болта:

– на срез – при  $A_{bn} = 3,14 \text{ см}^2$  и  $n_s = 3 - 1 = 2$   $N_{bs} = R_{bs} A_{bn} n_s \gamma_b \gamma_c = 190 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1/10 = 119,3 \text{ кН};$

– на смятие – при минимальной толщине соединяемых элементов  $\sum t = 2 \text{ см}$   $N_{bp} = R_{bp} d_b \sum t \gamma_b \gamma_c = 560 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1/10 = 224 \text{ кН.}$

Расчетной является минимальная несущая способность  $N_b = 119,3 \text{ кН}$ . Сравнивая с наибольшим усилием в болте  $N_0 = 35 \text{ кН}$ , приходим к выводу, что условие прочности обеспечено:  $N_0 = 35 \text{ кН} < N_b = 119,3 \text{ кН}$ .

**Пример 2.5.** Консоль из двутавра № 40 прикреплена к колонне болтами (см. рисунок 2.3, *в*). Давление  $F = 100 \text{ кН}$  воспринимается опорным столиком, но передается с эксцентриситетом  $e = 200 \text{ мм}$ , поэтому болты работают на растяжение, вызванное действием изгибающего момента. Определить диаметр болтов класса 6.6 ( $R_{bt} = 250 \text{ МПа}$ ).

*Решение.* Имеем случай стесненного поворота сечения. За ось вращения консоли принимаем ось болтов нижнего ряда. Усилия в болтах будут прямо пропорциональны расстоянию до оси вращения. Наибольшее усилие в болте определяем по формуле (2.8):  $N_0 = M_{y1} / 2 \sum y^2 = 100 \cdot 0,2 \cdot 0,2 / 2(0,2^2 + 0,1^2) = 40 \text{ кН}$ .

Несущая способность болта на растяжение, выраженная через площадь нетто болта,  $N_b = R_{bt} A_{bn} = 250 A_{bn} / 10$ .

Из условия прочности (2.1) определяем площадь поперечного сечения болта нетто:  $250 A_{bn} / 10 = 40$ , откуда  $A_b = 1,6 \text{ см}^2$ .

Приняты болты диаметром 18 мм ( $A_{bn} = 1,92 \text{ см}^2$ ).

### 2.3 Задачи по расчету болтовых соединений

2.1. Опорные листы двух подстропильных ферм соединены болтами, создающими неразрезность конструкций (см. рисунок 1.13, *б*). Число болтов в ряду назначить по высоте фасонки  $h$  при шаге болтов 90 мм. При необходимости высоту фасонки увеличить до кратности шага болтов. Принимая за ось вращения ось нижнего ряда болтов, вычислить величину момента в опорном сечении, воспринимаемого растянутыми болтами. Болты диаметром 18 мм класса 5.6 ( $R_{bt} = 210 \text{ МПа}$ ). Значение  $h$  принять по таблице 1.1.

2.2. Проверить прочность соединения на болтах (рисунок 2.4, *а*) предварительно построив диаграмму усилий для всех четырех наиболее удаленных болтов. Болты нормальной точности диаметром 20 мм, класса 5.6 ( $R_{bs} = 190 \text{ МПа}$ ), сталь С245 ( $R_{bp} = 370 \text{ МПа}$ ). Принять:  $P = 2F \text{ кН}$ ,  $a = h/3 \text{ мм}$ ,  $t_1 = 13 \text{ мм}$ ,  $t = 20 \text{ мм}$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.



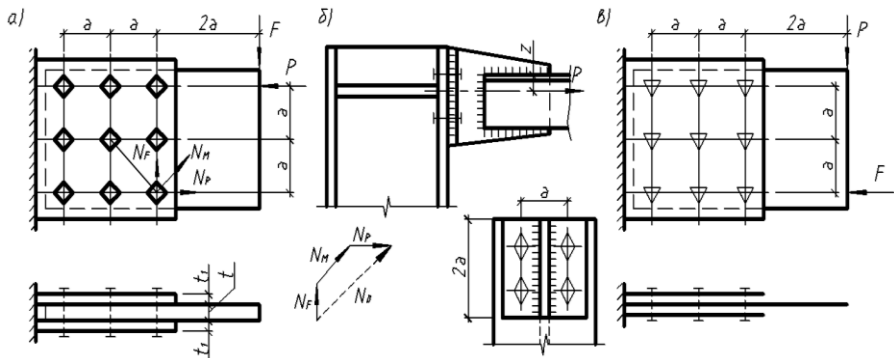


Рисунок 2.4 – К задачам 2.2–2.5

2.3. Для болтового соединения (рисунок 2.4, а) определить диаметр болта нормальной точности класса 6.6, если сталь С345,  $a = h/3$  мм,  $t_1 = 10$  мм,  $t = 24$  мм,  $P = 3F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.4. Верхний пояс фермы соединен с колонной четырьмя болтами с помощью фланца (рисунок 2.4, б). Диаметр болтов – 24 мм, класс – 5.8 ( $R_{bt} = 200$  МПа). Проверить прочность болтового соединения и определить катет вертикальных швов, соединяющих фланец с поясом фермы. Принять  $P = 4F$ ,  $a = h/3$  мм,  $\gamma_c = 1$ , сталь С245, электроды типа Э42. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.5. Проверить прочность соединения на высокопрочных болтах (рисунок 2.4, в) диаметром 20 мм из стали 40Х "селект" ( $R_{bun} = 1100$  Н/мм<sup>2</sup>). Способ обработки поверхностей трения пескоструйный ( $\mu = 0,58$ ), контроль натяжения болтов осуществляется по моменту закручивания ( $\gamma_h = 1,35$ ). Принять  $P = 5F$ ,  $a = h/3$  мм. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.6. Консоль из стали С345 прикреплена к колонне (рисунок 2.5, а) болтами нормальной точности класса 5.6 ( $R_{bs} = 190$  МПа) диаметром 20 мм. Проверить прочность соединения. Исходные данные:  $a = h/3$  мм,  $F_0 = 4F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

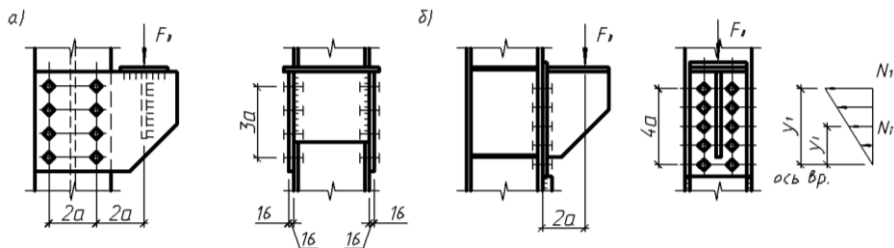


Рисунок 2.5 – К задачам 2.6–2.12

2.7. Определить диаметр болтов нормальной точности класса 8.8 в соединении (рисунок 2.5, а), если материал – сталь С345,  $a = h/3$  мм,  $F_0 = 5F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.8. Консоль прикреплена к колонне (рисунок 2.5, а) высокопрочными болтами диаметром 20 мм из стали 40Х "селект". Проверить прочность соединения, если обе поверхности трения обработаны стальными щетками без консервации. Принять  $a = h/3$  мм,  $F_0 = 4F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.9. Определить предельную силу  $F_0$  на консоль, прикрепленную к колонне болтами нормальной точности класса 6.6 диаметром 24 мм (рисунок 2.5, а). Материал – сталь С345,  $a = h/3$  мм. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.10. Проверить прочность соединения (рисунок 2.5, б) на болтах нормальной точности класса 4.6 диаметром 20 мм ( $R_{bs} = 175$  МПа). Принять  $a = h/3$  мм,  $F_0 = 4F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.11. В соединении консоли с колонной (рисунок 2.5, б) определить диаметр болта грубой точности класса 4.6, если  $a = h/3$  мм,  $F_0 = 3F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.12. Определить предельную силу, действующую на консоль (рисунок 2.5, б), прикрепленную к колонне болтами грубой точности класса 4.8, диаметром 20 мм, приняв  $a = h/3$  мм. Значение  $h$  принять по таблице 1.1.

2.13. Проверить прочность прикрепления опорной консоли из швеллеров, приваренных ручной сваркой к колонне четырьмя швами с каждой стороны (рисунок 2.6, а). Материал конструкции – сталь С345, катет шва 8 мм,  $e = a = 400$  мм,  $\gamma_c = 1$ , электроды типа Э42. Значение  $F$  принять по таблице 1.1.

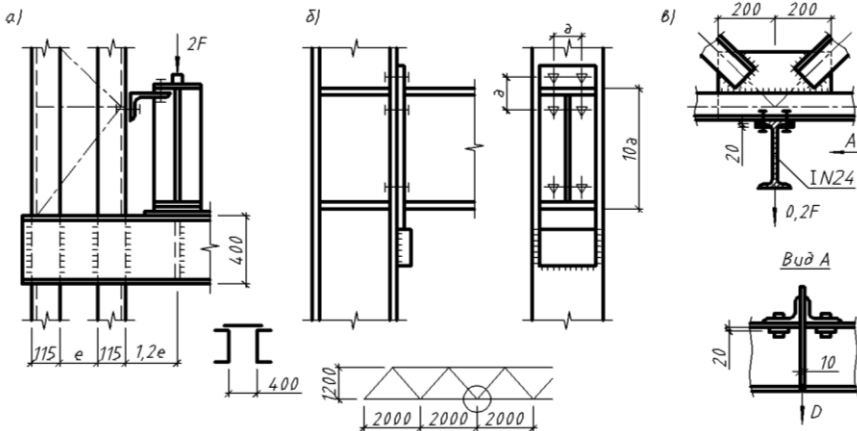


Рисунок 2.6 – К задачам 2.13–2.16

2.14. Опорная консоль из двух швеллеров, выполненная из стали С345 (рисунок 2.6, а), приварена ручной сваркой (электроды Э50) к колонне восьмью швами с катетом 10 мм. Приняв  $e = h$  (см. таблицу 1.1), определить предельную силу на консоль из условия прочности металла шва сварного соединения.

2.15. На рисунке 2.6, б показано сопряжение ригеля с колонной. Растягивающее усилие в поясе ригеля воспринимается четырьмя высокопрочными болтами, сжимающее – торцом пояса сечения  $20 \times 2$  мм. Болты из стали 40Х "селект" диаметром 24 мм имеют начальное натяжение, равное  $0,2P$  ( $P = R_{bh}A_{bn}$  – натяжение высокопрочного болта). Вычислить наименьший момент пары, образуемый растягивающим усилием в болтах и сжимающим в торце пояса ригеля. Сталь – С255,  $a = h/3$  мм. Значение  $h$  принять по таблице 1.1.

2.16. Подобрать диаметр болтов грубой точности для прикрепления монорельса из двутавра № 30М к нижнему поясу стропильной фермы (рисунок 2.6, в). Вертикальное давление от подвижной нагрузки  $D = 0,2F$ . Значение  $F$  принять по таблице 1.1.

2.17. Проверить прочность болтового крепления раскосов к фаноске (рисунок 2.7, а), выполненного на болтах нормальной точности класса 5.6 диаметром 18 мм ( $R_{bs} = 210$  МПа). Определить катет шва, соединяющего фаноску с опорным листом. Материал конструкции – сталь С255, сварка ручная, электроды типа Э42. Принять  $a = h/3$  мм. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

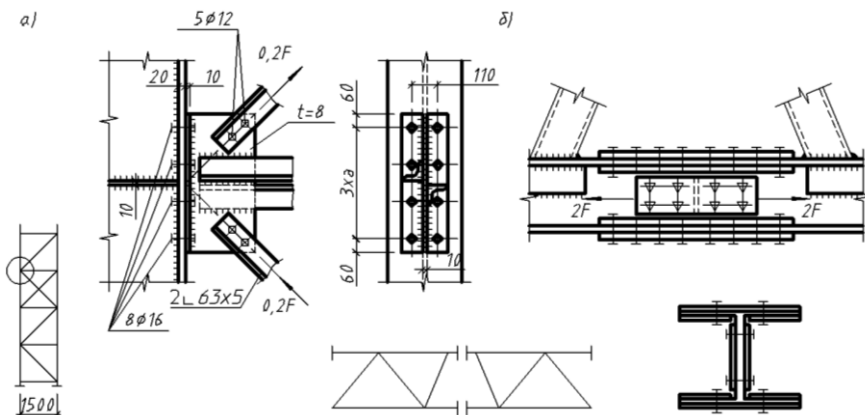


Рисунок 2.7 – К задачам 2.17–2.19

2.18. Опорная фаноска связевой решетки толщиной 10 мм прикреплена к колонне восемью болтами нормальной точности класса 5.6 диаметром 18 мм (рисунок 2.7, а). Проверить прочность болтового соединения. Принять  $a = h/3$  мм. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.19. Определить катет шва, соединяющего фаноску с опорным листом (рисунок 2.7, б). Материал – сталь С345. Сварка ручная, электроды типа Э42. Значение  $a = h/3$  мм. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.20. Консоль из двух швеллеров № 40 (рисунок 2.8, а) приварена полуавтоматической сваркой к колонне и воспринимает расчетные крановые давления  $D_1 = 2F$  и  $D_2 = F$ . Проверить прочность соединения, если сварка полуавтоматическая, катет швов 10 мм, сталь С345. Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

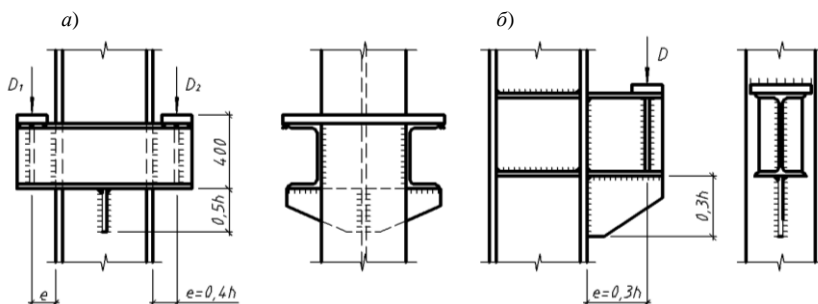


Рисунок 2.8 – К задачам 2.20–2.23

2.21. Определить катет вертикальных сварных швов, прикрепляющих консоль из швеллеров к колонне (см. рисунок 2.8, а). Сварка ручная, сталь С245, электроды типа Э42А. Вертикальные крановые нагрузки  $D_1 = 3F$  и  $D_2 = 1,5F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.22. Консоль из двутавра (таблица 2.1) приварена ручной сваркой к стальной колонне (см. рисунок 2.8, б). Проверить прочность сварных швов, если сталь С255, электроды Э42, катет шва 8 мм,  $D = 2F$ . Значения  $F$  и  $h$  принять по таблице 1.1.

2.23. Найти предельное значение давления  $D$  на консоль из условия прочности сварных швов. Материал – сталь С345, сварка ручная, электроды типа Э42А, катет швов 8 мм. Двутавровый профиль консоли принять по таблице 2.1. Значение  $h$  принять по таблице 1.1.

Т а б л и ц а 2.1 – Варианты заданий к задачам

Вариант	Номер двутавра	Вариант	Номер двутавра	Вариант	Номер двутавра	Вариант	Номер двутавра	Вариант	Номер двутавра	Вариант	Номер двутавра	Вариант	Номер двутавра
1	18	11	36	21	30	31	12	41	14	51	20	61	20
2	12	12	40	22	33	32	16	42	14	52	22	62	22
3	14	13	45	23	36	33	18	43	16	53	22	63	24
4	16	14	50	24	40	34	20	44	18	54	24	64	33
5	18	15	14	25	45	35	24	45	16	55	16	65	36
6	20	16	16	26	50	36	27	46	18	56	18	66	40
7	22	17	18	27	30	37	30	47	20	57	20	67	45
8	24	18	20	28	14	38	33	48	22	58	24	68	14
9	30	19	22	29	16	39	36	49	24	59	30	69	16
10	33	20	24	30	18	40	14	50	20	60	18	70	18

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

*(справочное)*

**Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального и фасонного проката по ГОСТ 27772–88 для стальных конструкций зданий и сооружений**

Сталь	Толщина проката <sup>1)</sup> , мм	Нормативное сопротивление <sup>2)</sup> проката, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )				Расчетное сопротивление <sup>3)</sup> проката, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )			
		листового, широкополосного универсального		фасонного		листового, широкополосного универсального		фасонного	
		$R_{yn}$	$R_{yn}$	$R_{yn}$	$R_{in}$	$R_y$	$R_u$	$R_y$	$R_u$
С235	От 2 до 20	235 (24)	360 (37)	235 (24)	360 (37)	230 (2350)	350 (3600)	230 (2350)	350 (3600)
	Св. 20 до 40	225 (23)	360 (37)	225 (23)	360 (37)	220 (2250)	350 (3600)	220 (2250)	350 (3600)
	” 40 ” 100	215 (22)	360 (37)	–	–	210 (2150)	350 (3600)	–	–
	Св. 100	195 (20)	360 (37)	–	–	190 (1950)	350 (3600)	–	–
С245	От 2 до 20	245 (25)	370 (38)	245 (25)	370 (38)	240 (2450)	360 (3700)	240 (2450)	360 (3700)
	Св. 20 до 30	–	–	235 (24)	370 (38)	–	–	230 (2350)	360 (3700)
С255	От 2 до 3,9	255 (26)	380 (39)	–	–	250 (2550)	370 (3800)	–	–
	” 4 ” 10	245 (25)	380 (39)	255 (26)	380 (39)	240 (2450)	370 (3800)	250 (2550)	370 (3800)
	Св. 10 до 20	245 (25)	370 (38)	245 (25)	370 (38)	240 (2450)	360 (3700)	240 (2450)	360 (3700)
	” 20 ” 40	235 (24)	370 (38)	235 (24)	370 (38)	230 (2350)	360 (3700)	230 (2350)	360 (3700)
С275	От 2 до 20	275 (28)	380 (39)	275 (28)	390 (2750)	270 (2750)	370 (3800)	270 (2750)	380 (3900)
	Св. 10 до 20	265 (27)	370 (38)	275 (28)	260 (2650)	260 (2650)	360 (3700)	270 (2750)	370 (3800)
С285	От 2 до 3,9	285 (29)	390 (40)	–	–	280(2850)	380 (3900)	–	–
	” 4 ” 10	275 (28)	390 (40)	285 (29)	400(41)	270 (2750)	380 (3900)	280(2850)	390 (4000)
	Св. 10 до 20	265 (27)	380 (39)	275 (28)	390 (40)	260 (2650)	370 (3800)	270 (2750)	380 (3900)

Окончание приложения А

Сталь	Толщина проката <sup>1)</sup> , мм	Нормативное сопротивление <sup>2)</sup> проката, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )				Расчетное сопротивление <sup>3)</sup> проката, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )			
		листового, широкополосного универсального		фасонного		листового, широкополосного универсального		фасонного	
		$R_{yn}$	$R_{in}$	$R_{yn}$	$R_{in}$	$R_y$	$R_u$	$R_y$	$R_u$
С345	От 2 до 10	345 (35)	490 (50)	345 (35)	490 (50)	335 (3400)	480 (4900)	335 (3400)	480 (4900)
	Св. 10 до 20	325 (33)	470 (48)	325 (33)	470 (48)	315 (3200)	460 (4700)	315 (3200)	460 (4700)
	” 20 ” 40	305 (31)	460 (47)	305 (31)	460 (47)	300 (3050)	450 (4600)	300 (3050)	450 (4600)
	” 40 ” 60	285 (29)	450 (46)	–	–	280 (2850)	440 (4500)	–	–
	” 60 ” 80	275 (28)	440 (45)	–	–	270 (2750)	430 (4400)	–	–
	” 80 ” 160	265 (27)	430 (44)	–	–	260 (2650)	420 (4300)	–	–
С345К	От 4 до 10	345 (35)	470(48)	345 (35)	470 (48)	335 (3400)	460 (4700)	335 (3400)	460 (4700)
С375	” 2 ” 10	375 (38)	510 (52)	375 (38)	510 (52)	365 (3700)	500 (5100)	365 (3700)	500 (5100)
	Св. 10 до 20	355 (36)	490 (50)	355 (36)	490 (50)	345 (3500)	480 (4900)	345 (3500)	480 (4900)
	” 20 ” 40	335 (34)	480 (49)	335 (34)	480 (49)	325 (3300)	470 (4800)	325 (3300)	470 (4800)
С390	От 4 до 50	390 (40)	540 (55)	–	–	380 (3850)	530 (5400)	–	–
С390К	” 2 ” 30	390 (40)	540 (55)	–	–	380 (3850)	530 (5400)	–	–
С440	” 4 ” 30	440 (45)	590 (60)	–	–	430 (4400)	575 (5850)	–	–
	Св. 30 до 50	410 (42)	570 (58)	–	–	400 (4100)	555 (5650)	–	–
С590	От 10 до 36	540 (55)	635 (65)	–	–	515 (5250)	605 (6150)	–	–
С590К	” 16 ” 40	540 (55)	635 (65)	–	–	515 (5250)	605 (6150)	–	–

<sup>1)</sup> За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки (минимальная его толщина 4 мм).  
<sup>2)</sup> За нормативное сопротивление приняты нормативные значения предела текучести и временного сопротивления по ГОСТ 27772–88.  
<sup>3)</sup> Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений на коэффициенты надежности по материалу с округлением до 5 МПа (50 кгс/см<sup>2</sup>)

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

(справочное)

**Справочные данные для расчета сварных соединений**

**Т а б л и ц а Б.1 – Расчетные сопротивления сварных соединений**

Сварные соединения	Напряженное состояние		Условное обозначение	Расчетные сопротивления сварных соединений
Стыковые	Сжатие. Растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке с физическим контролем качества швов	По пределу текучести	$R_{wy}$	$R_{wy} = R_y$
		По временному сопротивлению	$R_{wi}$	$R_{wi} = R_{li}$
	Растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке	По пределу текучести	$R_{wy}$	$R_{wy} = 0,85R_y$
	Сдвиг		$R_{ws}$	$R_{ws} = R_s$
С угловыми швами	Срез (условный)	По металлу шва	$R_{wf}$	$R_{wf} = R_{wlm} / \gamma_{wm}$
		По металлу границы сплавления	$R_{wz}$	$R_{wz} = 0,45R_{ln}$

**Т а б л и ц а Б.2 – Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами**

Сварочные материалы		$R_{wm}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	$R_{wf}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
тип электрода (по ГОСТ 9467–75)	марка проволоки		
Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АНЗ	410 (4200)	180 (1850)
		450 (4600)	200 (2050)
		490 (5000)	215 (2200)
Э60	СВ-08Г2С*, СВ-08Г2СЦ*, СВ-10НМА, СВ-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	СВ-10ХГ2СМА, СВ-08ХН2ГМЮ	685 (7000)	280 (2850)
Э85	–	835 (8500)	340 (3450)
*Только для швов с катетом $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см <sup>2</sup> ) и более.			

Т а б л и ц а Б.3 – Материалы для сварки, соответствующие стали

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050–85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157–79*)	покрытыми электродами и типов по ГОСТ 9467–75*
		Марки			
		флюсов (по ГОСТ 9087–81*)	сварочной проволоки (по ГОСТ 2246–701*)		
2, 3 и 4 – во всех районах, кроме I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , II <sub>2</sub> и III <sub>3</sub>	C235, C245, C255, C275, C285, 20, ВСтЗкп, ВСтЗпс, ВСтЗсп	АН-348-А, АН-60	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	Э42, Э46
	C345, C345Т, C375, C375Т, C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-17-М, АН-348-А <sup>1)</sup>	Св-10НМА, Св-10Г2 <sup>2)</sup> , Св-08ГА <sup>2)</sup> , Св-10ГА <sup>2)</sup>		Э50
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А <sup>3)</sup>
I – во всех районах; 2, 3 и 4 – в I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , II <sub>2</sub> и III <sub>3</sub>	C235, C245, C255, C275, C285, 20, ВСтЗкп, ВСтЗпс, ВСтЗсп	АН-348-А	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	Э42А, Э46А
	C345, C345Т, C375, C375Т, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-348-А <sup>1)</sup>	Св-10НМА, Св-10Г2 <sup>2)</sup> , Св-08ГА <sup>2)</sup> , Св-10ГА <sup>2)</sup>		Э50А
	C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ	АН-47, АН-17-М, АН-348-А <sup>1)</sup>	Св-10НМА, Св-10Г2 <sup>2)</sup> , Св-08ГА <sup>2)</sup> , Св-10ГА <sup>2)</sup>		Э50А
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А <sup>3)</sup>
	C590, C590К, C590КШ	АН-17-М	Св-08ХН2ГМЮ, Св-10НМА	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМА, Св-08Г2С	Э60, Э70

<sup>1)</sup> Применение флюса АН-348-А требует проведения дополнительного контроля механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин для конструкций в климатических районах I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub> и III<sub>3</sub> и толщин свыше 32 мм – в остальных климатических районах.

<sup>2)</sup> Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

<sup>3)</sup> Применять только электроды марок ОЗС-18 и КД-11.



**Т а б л и ц а Б.4 – Расчетные сопротивления сварных соединений, выполненных автоматической или полуавтоматической сваркой**

Марки проволоки (по ГОСТ 2246–70*) для автоматической или полуавтоматической сварки		Марки порошковой проволоки (по ГОСТ 26271–84)	Значения нормативного сопротивления металла шва $R_{\text{нш}}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
под флюсом (ГОСТ 9087–81*)	в углекислом газе (по ГОСТ 8050–85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157–79*)		
Св-08, Св-08А	–	–	410 (4200)
Св-08ГА	–	–	450 (4600)
Св-10ГА	Св-08Г2С	ПП-АН8, ПП-АН3	490 (5000)
Св-10НМА, Св-10Г2	Св-08Г2С*	–	590 (6000)
Св-08ХН2ГМЮ, Св-08Х1ДЮ	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГ2СДЮ	–	685 (7000)

\*При сварке проволокой Св-08Г2С значение  $R_{\text{нш}}$  следует принимать равным 590 МПа (6000 кгс/см<sup>2</sup>) только для угловых швов с катетом  $k_f \leq 8$  мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см<sup>2</sup>) и более.

**Т а б л и ц а Б.5 – Значения коэффициентов  $\beta_f$  и  $\beta_z$**

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки, мм	Положение шва	Коеф-фициент	Катеты швов, мм			
			3–8	9–12	14–16	18 и более
Автоматическая, $d = 3 \dots 5$	В лодочку	$\beta_f$	1,1			0,7
		$\beta_z$	1,15			1,0
	Нижнее	$\beta_f$	1,1	0,9		0,7
		$\beta_z$	1,15	1,05		1,0
Автоматическая и полуавтоматическая, $d = 1,4 \dots 2$	В лодочку	$\beta_f$	0,9		0,8	0,7
		$\beta_z$	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	$\beta_f$	0,9	0,8	0,7	
		$\beta_z$	1,05	1,0		
Ручная; полуавтоматическая проволокой сплошного сечения, $d < 1,4$ или порошковой проволокой	В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	$\beta_f$	0,7			
		$\beta_z$	1,0			

*Примечание* – Значения коэффициентов соответствуют нормальным режимам сварки.

Т а б л и ц а Б.6 – Минимальные катеты швов  $k_f$  в зависимости от толщины свариваемых элементов

В миллиметрах

Вид соединения	Вид сварки	Предел текучести стали, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Толщина более толстого из свариваемых элементов $t$						
			4–5	6–10	11–16	17–22	23–32	33–40	41–80
Тавровое с двусторонними угловыми швами; нахлесточное и угловое	Ручная	До 430 (4400)	4	5	6	7	8	9	10
		Св. 430 (4400) до 530 (5400)	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и полуавтоматическая	До 430 (4400)	3	4	5	6	7	8	9
		Св. 430 (4400) до 530 (5400)	4	5	6	7	8	9	10
Тавровое с односторонними угловыми швами	Ручная	До 380 (3900)	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и полуавтоматическая		4	5	6	7	8	9	10
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 В конструкциях из стали с пределом текучести свыше 530 МПа (5400 кгс/см<sup>2</sup>), а также из всех сталей при толщине элементов свыше 80 мм минимальные катеты угловых швов принимаются по специальным техническим условиям.</p> <p>2 В конструкциях группы 4 минимальные катеты односторонних угловых швов следует уменьшать на 1 мм при толщине свариваемых элементов до 40 мм включительно и на 2 мм – при толщине элементов свыше 40 мм.</p>									

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
(справочное)

**Справочные данные для расчета болтовых соединений**

**Т а б л и ц а В.1 – Расчетные сопротивления смятию элементов, соединяемых болтами**

В мегапаскалях

Временное сопротивление стали соединяемых элементов	Класс точности	
	А	В и С, высокопрочных без регулируемого натяжения
360 (37)	475 (4800)	430 (4350)
365 (37)	485 (4900)	440 (4450)
370 (38)	495 (5100)	450 (4600)
380 (39)	515 (5300)	465 (4800)
390 (40)	535 (5500)	485 (5000)
400 (41)	560 (5750)	505 (5200)
430 (44)	625 (6400)	565 (5800)
440 (45)	650 (6650)	585 (6000)
450 (46)	675 (6900)	605 (6200)
460 (47)	695 (7150)	625 (6400)
470 (48)	720 (7350)	645 (6600)
480 (49)	745 (7600)	670 (6850)
490 (50)	770 (7850)	690 (7050)
500 (51)	795 (8150)	710 (7250)
510 (52)	825 (8400)	735 (7500)
520 (53)	850 (8650)	760 (7750)
530 (54)	875 (8950)	780 (7950)
540 (55)	905 (9200)	805 (8200)
570 (58)	990 (10050)	880 (8950)
590 (60)	1045 (10600)	930 (9450)

*Примечание* – Значения расчетных сопротивлений получены по формулам раздела 3 СНиП [1] с округлением до 5 МПа (50 кгс/см<sup>2</sup>).

**Т а б л и ц а В.2 – Площади сечения болтов согласно СТ СЭВ 180–75, СТ СЭВ 181–75 и СТ СЭВ 182–75**

<i>d</i> , мм	10	12	14	16	18*	20	22*	24	27*	30	36	42	48
$A_{b2}$ , см <sup>2</sup>	0,785	1,13	1,54	2,01	2,54	3,14	3,8	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
$A_{b1}$ , см <sup>2</sup>	0,61	0,88	1,2	1,057	1,92	2,45	3,03	3,52	4,59	5,6	8,16	11,2	14,72

\*Болты указанных диаметров применять не рекомендуется.

**Т а б л и ц а В.3 – Расчетные сопротивления срезу и растяжению болтов**

В мегапаскалях

Напряженное состояние	Условное обозначение	Класс болтов						
		4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	8,8	10,9
Срез	$R_{bs}$	150	160	190	200	230	320	400
Растяжение	$R_{bt}$	170	160	210	200	250	400	500

*Примечание* – В таблице указаны значения расчетных сопротивлений для одноболтовых соединений, вычисленные по формулам раздела 3 СНиП [1] с округлением до 5 МПа.

**Т а б л и ц а В.4 – Механические свойства высокопрочных болтов  
по ГОСТ 22356–77\***

Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм	Марка стали по ГОСТ 4543–71*	Наименьшее временное сопротивление $R_{bлт}$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )
От 16 до 27	40Х "селект"	1100 (110)
	30Х3МФ, 30Х2НМФА	1350 (135)
30	40Х "селект"	950 (95)
	30Х3МФ, 35Х2АФ	1200 (120)
36	40Х "селект"	750 (75)
	30Х3МФ	1100 (110)
42	40Х "селект"	650 (65)
	30Х3МФ	1000 (100)
48	40Х "селект"	600 (60)
	30Х3МФ	900 (90)

**Т а б л и ц а В.5 – Коэффициент трения  $\mu$  и надежность  $\gamma_n$  в соединениях на высокопрочных болтах**

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Способ регулирования натяжения болтов	$\mu$	Коэффициент $\gamma_n$ при нагрузке и разности номинальных диаметров отверстий и болтов $\delta$ , мм	
			динамической, $\delta = 3 \dots 6$ ; статической, $\delta = 5 \dots 6$	динамической, $\delta = 1$ ; статической, $\delta = 1 \dots 4$
Дробетный или дробеструйный двух поверхностей без консервации	По $M$	0,58	1,35	1,12
	" $\alpha$	0,58	1,2	1,02
То же, с консервацией (металлизацией распылением цинка или алюминия)	По $M$	0,5	1,35	1,12
	" $\alpha$	0,5	1,2	1,02
Дробью одной поверхности с консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком, стальными щетками без консервации – другой поверхности	По $M$	0,5	1,35	1,02
	" $\alpha$	0,5	1,2	1,12
Газопламенный двух поверхностей без консервации	По $M$	0,42	1,35	1,02
	" $\alpha$	0,42	1,2	1,12
Стальными щетками двух поверхностей без консервации	По $M$	0,35	1,35	1,17
	" $\alpha$	0,35	1,2	1,06
Без обработки	По $M$	0,25	1,7	1,3
	" $\alpha$	0,25	1,5	1,2

*Примечания*  
 1 Способ регулирования натяжения болтов по  $M$  означает регулирование по моменту закручивания, а по  $\alpha$  – по углу поворота гайки.  
 2 Допускаются другие способы обработки соединяемых поверхностей, обеспечивающие значения коэффициентов трения  $\mu$  не ниже указанных в таблице.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **СНиП II–23–81\***. Стальные конструкции. – Введ. 1982-01-01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.

2 **Металлические конструкции** : учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / Ю. И. Кудишин [и др.] ; под ред. Ю. И. Кудишина. – 12-е изд., стер. – М. : Академия, 2010. – 688 с.

3 **Металлические конструкции** : учеб. для строит. вузов. В 3 т. Т. 1. Элементы стальных конструкций / В. В. Горев [и др.] ; под ред. В. В. Горева. – М. : Высш. шк., 2001. – 551 с.

4 **Лихтарников, Я. М.** Расчет стальных конструкций : справ. пособие / Я. М. Лихтарников, Д. В. Ладыженский, В. М. Клыков. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Будівельник, 1984. – 368 с.

5 **Металлические конструкции**. В 3 т. Т. 1. Общая часть. Справочник проектировщика / под общ. ред. В. В. Кузнецова. – М. : АСВ, 1998. – 576 с.

6 **Прасол, В. Д.** Проектирование рабочей площадки : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. Д. Прасол, А. В. Степанова. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 54 с.

Учебное издание

*ПРАСОЛ Валентина Даниловна*

**Металлические конструкции  
в задачах и примерах**

Часть II

Соединения металлических конструкций

Учебно-методическое пособие

Редактор *А. А. Павлюченкова*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Компьютерный набор и верстка *Т. И. Шляхтовой*

Подписано в печать 05.04.2018 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,08. Тираж 100 экз.  
Зак. № . Изд. № 168

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель.

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Строительные технологии и конструкции»**

**В. Д. ПРАСОЛ**

# **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В ЗАДАЧАХ И ПРИМЕРАХ**

**Часть II  
СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2018**