

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра промышленного и гражданского строительства

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

Методические указания к практическим занятиям

Факультет: инженерно-строительный
Специальность: 08.05.01 «Строительство уникальных зданий»;
Направление: 08.03.01 «Строительство» (профиль: «Промышленное и гражданское строительство»)

Вологда
2017

УДК 624.013

Металлические конструкции: Методические указания к практическим занятиям. – Вологда: ВоГУ, 2017. – 32 с.

В методических указаниях приведены сведения по расчету элементов металлических конструкций – сварных соединений различных типов, болтовых соединений, изгибаемых, центрально-сжатых и центрально-растянутых элементов, приведены примеры расчета и необходимые справочные данные.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составители: Плотникова О.С., канд.техн.наук, доцент; Михалевич Н.В., канд.техн.наук, доцент;

Рецензент: Рахимова И.А., к.т.н., доцент каф. АД ВоГУ

ВВЕДЕНИЕ

Для специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий» и направления подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль: «Промышленное и гражданское строительство») по дисциплине «Металлические конструкции (включая сварку)» учебным планом предусмотрено проведение практических занятий, основная цель которых заключается в приобретении навыков расчета и проектирования элементов стальных конструкций – сварных и болтовых соединений, изгибаемых, центрально-растянутых и центрально-сжатых элементов, а также в закреплении знаний, полученных студентами на лекциях.

В методических указаниях приведен необходимый теоретический материал, примеры расчета элементов стальных конструкций и справочные материалы для расчета.

Методические указания составлены для студентов всех форм обучения.

1 СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

1.1 Основные положения расчета сварных соединений

Большинство металлических конструкций – это сварные конструкции. Достоинствами сварки как вида соединения являются – уменьшение трудоемкости изготовления до 20% и более; снижение расхода стали на 10–20 %; возможность создания конструкций, невыполнимых при других типах соединений; сравнительная простота автоматизации.

Различают сварные соединения следующих видов: стыковые, стыковые с накладками, внахлестку и впритык (в угол и в тавр). Стыковые соединения осуществляются с помощью стыковых швов, прямых или под углом 45–60°, а соединения стыковые с накладками, внахлестку и впритык с помощью угловых швов.

Прочность стыкового шва проверяется по формуле:

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{A_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1)$$

где γ_n – коэффициент надежности по назначению, величина которого зависит от степени ответственности здания и принимается по ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» (при выполнении учебных расчетов можно принять $\gamma_n = 1,0$);

N – расчетное усилие, т.е. максимальное, определенное при составлении сочетаний нагрузок, действующих на конструкцию, в составе которой находится рассчитываемое соединение;

A_w – площадь поперечного сечения стыкового шва, $A_w = l_w \cdot t$; здесь l_w – расчетная длина шва ($l_w = b - 2t$; t – минимальная из толщин соединяемых листов);

R_{wy} – расчетное сопротивление сварных стыковых швов, $R_{wy} = 0,85 R_y$ при работе на растяжение; здесь R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию и изгибу, принимаемое по табл. 1. прил.;

γ_c – коэффициент условий работы конструкции (табл. 2 прил.).

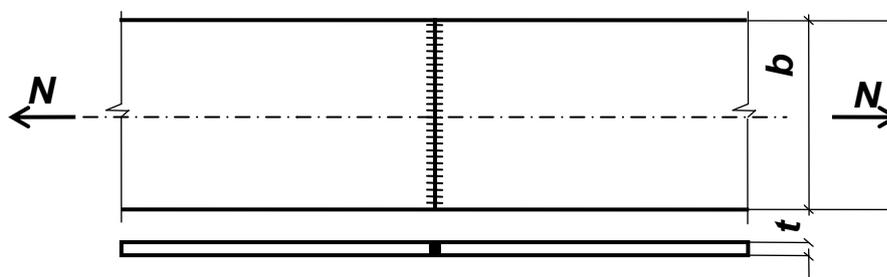


Рисунок 1 - Стыковое соединение стальных листов

Расчет угловых швов производится по двум сечениям I–I (по металлу шва) и II–II (по металлу границы сплавления).

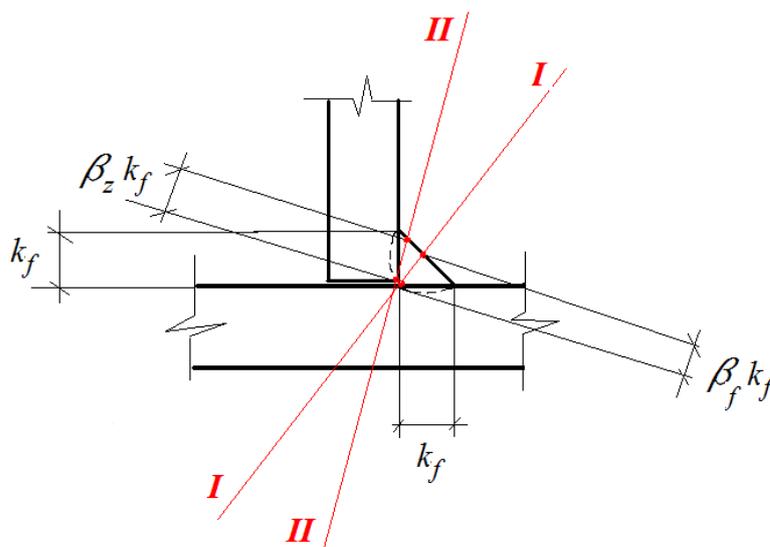


Рисунок 2 - Расчетные сечения угловых швов

Проверка прочности сварного шва по сечению I–I:

$$\sigma_{wf} = \frac{\gamma_n \cdot N}{A_{wf}} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c, \quad (2)$$

Проверка прочности сварного шва по сечению II–II:

$$\sigma_{wz} = \frac{\gamma_n \cdot N}{A_{wz}} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c, \quad (3)$$

где A_{wf} – расчетная площадь поперечного сечения шва по металлу шва,

A_{wz} – расчетная площадь поперечного сечения шва по металлу границы сплавления;

R_{wf} – расчетное сопротивление наплавленного металла по металлу шва, значение R_{wf} принимается по табл. 4 в зависимости от типа электрода или марки сварочной проволоки, назначенных в соответствии с данными табл. 3;

R_{wz} – расчетное сопротивление наплавленного металла по металлу границы сплавления, $R_{wz} = 0,45 \cdot R_{un}$, здесь R_{un} принимается по табл. 1 в зависимости от класса стали и толщины проката.

Расчетные площади поперечного сечения шва A_{wf} и A_{wz} определяются по формулам

$$A_{wf} = n_w \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w \quad (4)$$

$$A_{wz} = n_w \cdot \beta_z \cdot k_f \cdot l_w \quad (5)$$

где n_w – количество швов, воспринимающих расчетное усилие;

β_f , β_z – коэффициенты, зависящие от вида сварки и от положения шва в пространстве (принимаются по табл. 5 прил.);

k_f – катет шва, минимально допустимое значение $k_{f_{\min}}$ принимается по табл. 6 в зависимости от вида соединения, вида сварки, класса стали и толщины наиболее толстого элемента в соединении; $k_{f_{\max}} = 1,2 \cdot t$, здесь t – минимальная из толщин соединяемых деталей;

l_w – расчетная длина шва принимается на 10мм меньше геометрической:
 $l_w = l - 10\text{мм}$.

При наличии в соединении кроме продольной силы изгибающего момента проверка прочности углового шва по сечению I–I выполняется по формуле

$$\sqrt{\left(\gamma_n \cdot N / (n_w \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w)\right)^2 + \left(6 \cdot \gamma_n \cdot M / (n_w \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2)\right)^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c, \quad (6)$$

где M – изгибающий момент, $M = N \cdot e$;

$$W_{wf} \text{ – момент сопротивления шва, } W_{wf} = \frac{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2}{6},$$

а проверка прочности шва по сечению II–II выполняется по формуле

$$\sqrt{\left(\gamma_n \cdot N / (n_w \cdot \beta_z \cdot k_f \cdot l_w)\right)^2 + \left(6 \cdot \gamma_n \cdot M / (n_w \cdot \beta_z \cdot k_f \cdot l_w^2)\right)^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c \quad (7)$$

1.2. Примеры расчета сварных соединений

1.2.1 Пример №1

Проверить прочность стыкового сварного соединения стальных листов сечением $b \times t = 300 \times 14 \text{ мм}$ (см. рис.1) из стали класса С255, если $N = 800 \text{ кН}$.

Решение

Принимаем табл.1 прил. для листового проката с $t = 14 \text{ мм}$ для стали класса С255 $R_y = 240 \text{ МПа}$. Тогда $R_{wy} = 0,85R_y = 0,85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа}$.

Расчетная длина стыкового шва $l_w = b - 2t = 300 - 2 \cdot 14 = 272 \text{ мм}$; расчетная площадь поперечного сечения шва:

$$A_w = l_w \cdot t = 0,272 \cdot 0,014 = 38,08 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Проверим прочность стыкового шва:

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{A_w} = \frac{1,0 \cdot 800 \cdot 10^3}{38,08 \cdot 10^{-4}} = 210,0 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 210 \text{ МПа} > R_{wy} \cdot \gamma_c = 204 \cdot 1,0 = 204 \text{ МПа},$$

прочность шва не обеспечена.

Предусмотрим вывод шва на технологические планки.

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{A_w} = \frac{1,0 \cdot 800 \cdot 10^3}{30,0 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}} = 190,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 190,5 \text{ МПа} < R_{wy} \cdot \gamma_c = 204 \cdot 1,0 = 204 \text{ МПа}$$

т.е. требование СП [1] выполнено.

1.2.2 Пример №2

Рассчитать стык листов сечением $300 \times 20 \text{ мм}$ с двухсторонними накладками (см. рис.2), приваренными фланговыми швами. Сварка ручная. Растягивающее усилие $N = 1400 \text{ кН}$, класс стали С255.

Решение

По таблице 3 прил. в соответствии с заданным классом стали примем тип электрода – Э42.

Тогда по табл. 4 прил.- $R_{wf}=180 \text{ МПа}$, по табл. 1 прил. для листа толщиной 20мм - $R_{un} = 370 \text{ МПа}$.

$$R_{wz} = 0,45 \cdot R_{un} = 0,45 \cdot 370 = 166,5 \text{ МПа};$$

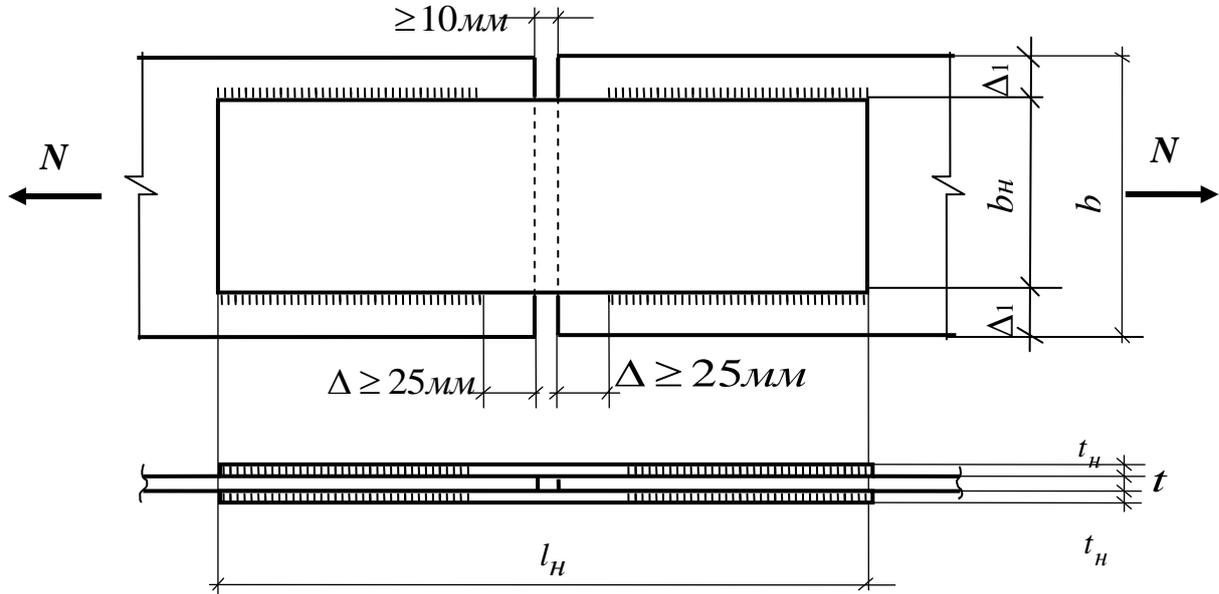


Рисунок 3 - Сварное соединение с помощью накладок

Назначим ширину накладок b_n , для этого зададимся $\Delta_1=15 \text{ мм}$, тогда $b_n = b - 2\Delta_1 = 300 - 2 \cdot 15 = 270 \text{ мм}$.

Требуемая суммарная площадь сечения накладок:

$$\sum A_n \geq \frac{\gamma_n \cdot N}{R_y \cdot \gamma_c},$$

где $\sum A_n = 2b_n \cdot t_n$.

$$\text{Тогда } t_n \geq \frac{\gamma_n \cdot N}{2b_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1400 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,27 \cdot 240 \cdot 1} = 10,8 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Примем толщину накладки t_n равной 12мм и уточним $R_y = 240 \text{ МПа}$ (по табл. 1 прил.)

Сечение накладки примем: $b_n \cdot t_n = 270 \cdot 12 \text{ мм}$

Определим требуемую длину шва.

По табл. 3 для ручной сварки $\beta_f = 0,7$ и $\beta_z = 1,0$.

Сравниваем: $R_{wf} \cdot \beta_f$ и $R_{wz} \cdot \beta_z$. Так как $R_{wf} \cdot \beta_f = 180 \cdot 0,7 = 126 \text{ МПа} < < R_{wz} \cdot \beta_z = 166,5 \cdot 1 = 166,5 \text{ МПа}$, то расчет ведем по металлу шва.

Требуемая длина шва определяется по формуле:

$$l_w^{mp} = \frac{\gamma_n \cdot N}{n_w \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}$$

где $k_f = 12\text{мм}$ назначим из условия: $k_{f\min} = 5\text{мм}$, $k_{f\max} = 12\text{мм}$,

Тогда:

$$l_w^{mp} = \frac{\gamma_n \cdot N}{n_w \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1400 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,012 \cdot 180 \cdot 1} = 0,231\text{м},$$

Принимаем $l_w = 235\text{мм}$ и определяем длину накладки (см. рис. 3):

$$l_n = 2(l_w^{mp} + 0,01) + 2\Delta + 0,01 = 2(0,235 + 0,01) + 2 \cdot 0,025 + 0,01 = 0,55\text{м}$$

Окончательно принимаем размеры накладки $l_n \cdot b_n \cdot t_n = 550 \cdot 270 \cdot 12\text{мм}$.

1.2.2 Пример №3

Рассчитать прикрепление фланговыми швами растянутого элемента стропильной фермы из двух равнополочных уголков сечением $90 \times 8\text{мм}$ к фасонке толщиной 10мм (см. рис. 4). Материал уголков и фасонки - сталь С255. Сила действующая на уголки $N = 900\text{кН}$. Сварка полуавтоматическая в углекислом газе проволокой Св-08Г2С диаметром $d = 2\text{мм}$.

Решение

Усилия, приходящиеся на швы по обушку и по перу уголков:

$$N^{ob} = \alpha \cdot N, \quad N^n = (1 - \alpha)N,$$

где α – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения усилия N на обушок и на перо уголка (для равнополочных уголков $\alpha = 0,7$).

Назначаем катет шва по обушку близким к максимальному, а по перу – к минимальному:

По табл. 5 прил. для полуавтоматической сварки $k_f^n \cong k_{f,\min} = 4\text{мм}$.
 $k_f^{ob} \cong k_{f,\max} = 1,2t$; $k_f^{ob} \cong k_{f,\max} = 1,2 \cdot 8 = 9,6\text{мм}$ (t принимаем по меньшей из толщин: толщины фасонки – 10мм и толщины уголка – 8мм). Принимаем $k_f^{ob} = 9\text{мм}$.

По табл. 4 прил. для проволоки Св-08Г2С – $R_{wf} = 215\text{МПа}$. По табл.1 прил. для уголка толщиной 8мм $R_{un} = 370\text{МПа}$, для листа толщиной 10мм $R_{un} = 370\text{МПа}$. Отсюда $R_{wz} = 0,45 R_{un} = 0,45 \cdot 370 = 166,5\text{МПа}$.

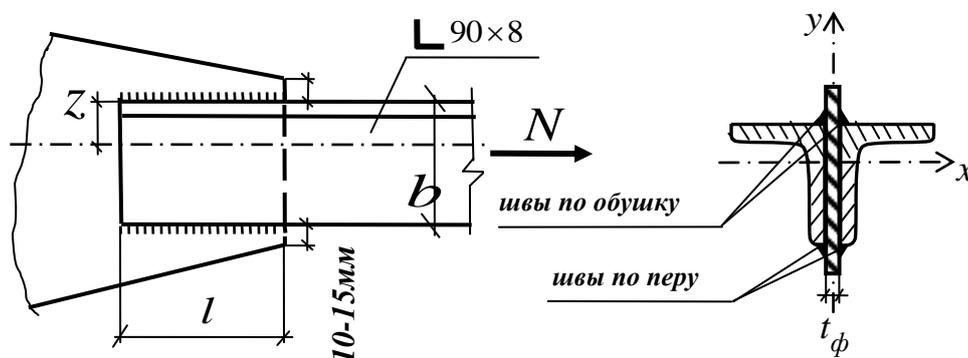


Рисунок 4 – Крепление элемента фермы из двух равнополочных уголков к фасонке

По таблице 3 прил. $\beta_f^{ob} = 0,8$; $\beta_f^n = 0,9$; $\beta_z^{ob} = 1,0$; $\beta_z^n = 1,05$.

Для швов по обушку:

$$R_{wf} \cdot \beta_f = 215 \cdot 0,8 = 172 \text{ МПа}, R_{wz} \cdot \beta_z = 166,5 \cdot 1 = 166,5 \text{ МПа}$$

Для швов по перу:

$$R_{wf} \cdot \beta_f = 215 \cdot 0,9 = 193,5 \text{ МПа}, R_{wz} \cdot \beta_z = 166,5 \cdot 1,05 = 174,8 \text{ МПа}$$

Дальнейший расчет ведем по металлу границы сплавления.

Определяем требуемую длину шва по обушке:

$$l_w^{об} = \frac{\gamma_n \cdot N^{об}}{n_w^{об} \cdot \beta_z^{об} \cdot k_f^{об} \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 0,7 \cdot 900 \cdot 10^3}{2 \cdot 1,0 \cdot 0,009 \cdot 166,5 \cdot 1,0} + 0,01 = 0,220 \text{ м}$$

Требуемая длина шва по перу:

$$l_w^n = \frac{\gamma_n \cdot N^n}{n_w^n \cdot \beta_z^n \cdot k_f^n \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} = \frac{1,0 \cdot (1 - 0,7) \cdot 900 \cdot 10^3}{2 \cdot 1,0 \cdot 0,004 \cdot 166,5 \cdot 1,0} + 0,01 = 0,213 \text{ м}$$

Для растянутого стержня фермы принят коэффициент условий работы $\gamma_c = 1,0$ в соответствии с пунктом 6 таблицы 2 прил.

Следовательно, принимаем $l = 220 \text{ мм}$ (см.рис.4).

1.2.3 Пример №4

Рассчитать прикрепление ребра из стали С245 угловыми швами к двутавровой колонне 40К1 (см. рис. 5) на действие эксцентрично приложенной силы $N = 750 \text{ кН}$. Эксцентриситет приложения силы $e = 13 \text{ см}$. Размеры ребра $500 \times 200 \times 12 \text{ мм}$. Ребро приваривается к колонне двумя швами ручной электросваркой.

Решение

Определяем расчетное сечение для сварного шва.

По табл. 3 прил. для стали С245 принимаем тип электрода Э42. По табл. 4 $R_{wf} = 180 \text{ МПа}$, по табл. 1 прил. $R_{un} = 370 \text{ МПа}$. $R_{wz} = 0,45 R_{un} = 0,45 \cdot 370 = 166,5 \text{ МПа}$. По табл. 3: $\beta_f = 0,7, \beta_z = 1$.

Так как $R_{wf} \cdot \beta_f = 180 \cdot 0,7 = 126 \text{ МПа} < R_{wz} \cdot \beta_z = 166,5 \cdot 1 = 166,5 \text{ МПа}$, то расчет ведем по металлу шва.

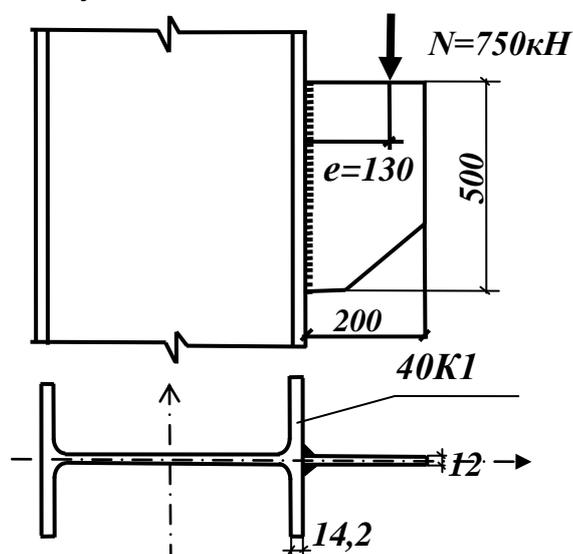


Рисунок 5 - Крепление ребра к колонне

Принимаем $\kappa_f = 14 \text{ мм} \leq \kappa_{f \max} = 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 12 = 14,4 \text{ мм}$ ($t = 12 \text{ мм}$ - меньшая толщина при сравнении толщины ребра и толщины полки двутавра, из которого изготовлена колонна).

Проверку прочности шва производим по формуле:

$$\sqrt{\left(\gamma_n \cdot N / n_w \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w\right)^2 + \left(6 \cdot \gamma_n \cdot M / n_w \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2\right)^2},$$

где M – изгибающий момент; $M = N \cdot e$;

$$W_{wf} \text{ – момент сопротивления шва, } W_{wf} = \frac{\beta_f \cdot \kappa_f \cdot l_w^2}{6}.$$

Расчетная длина шва определяется по формуле:

$$l_w = l_p - 0,01 = 0,5 - 0,01 = 0,49 \text{ м}.$$

После подстановок получим:

$$\sqrt{\left(1,0 \cdot 750 \cdot 10^3 / 2 \cdot 0,7 \cdot 0,014 \cdot 0,49\right)^2 + \left(6 \cdot 1,0 \cdot 750 \cdot 10^3 \cdot 0,13 / 2 \cdot 0,7 \cdot 0,014 \cdot 0,49^2\right)^2} = \sqrt{\left(78,1 \cdot 10^6\right)^2 + \left(124,3 \cdot 10^6\right)^2} = 146,8 \text{ МПа} < R_{wf} \cdot \gamma_c = 180 \cdot 1 = 180 \text{ МПа}.$$

Требование СП [1] выполнено.

2. БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.1. Основные положения расчета болтовых соединений

В строительных металлических конструкциях применяются болты, которые можно классифицировать по нескольким признакам:

- 1) по прочности: обычной прочности; высокопрочные;
- 2) по точности: нормальной точности $\Delta d = (d_{\text{отв}} - d) = (1 \div 3) \text{ мм}$, грубой точности $\Delta d > 3 \text{ мм}$, высокоточные $\Delta d = (0,4 \div 0,5) \text{ мм}$, здесь d – диаметр болта, $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия;
- 3) по конструктивным особенностям: обычные, анкерные, самонарезающие.

При работе болтового соединения на сдвиг от силы N болты рассчитываются на смятие и на срез. Так же болты рассчитываются на действие растягивающего усилия N_I (рис. 6).

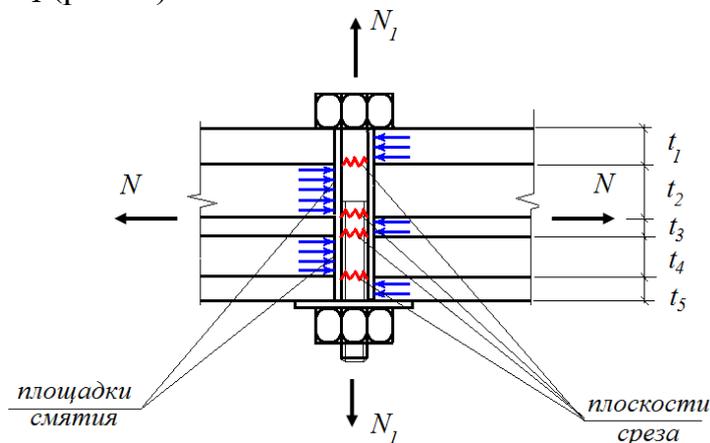


Рисунок 6 - Схема работы болта

Порядок расчета болтовых соединений:

1. Назначается класс прочности болта с учетом класса стали, из которой выполнены элементы соединения;
2. Назначается класс точности болтов;
3. Назначаются диаметры болтов и отверстия;
4. Определяется несущая способность одного болта (обычной прочности):

– из условия работы на срез

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (4)$$

где R_{bs} – расчетное сопротивление срезу болтов (по табл. 7 прил.);

A_b – площадь сечения стержня болта брутто (табл. 8 прил.);

n_s – количество плоскостей среза.

γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения на срез (по табл. 9 прил.);

– из условия работы на смятие

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d \cdot \sum t_{\min} \cdot \gamma_b, \quad (5)$$

где R_{bp} – расчетное сопротивление смятию болтовых соединений (определяется по табл. 10 прил. в зависимости от R_u ;

d – диаметр болта;

$\sum t_{\min}$ – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении,

γ_b – коэффициент работы болтового соединения на смятие (по табл. 9 прил.).

Если болты в соединении работают на растягивающие усилия, то определяется несущая способность одного болта из условия работы на растяжение

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn}, \quad (6)$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление болтов растяжению (по табл. 7 прил.);

5. Определяется количество болтов в соединении (по одну сторону стыка – в стыках или общее число болтов – в креплениях):

– из условия работы на срез и смятие

$$n \geq \frac{\gamma_n \cdot N}{N_{\min}}, \quad (7)$$

где N_{\min} – меньшее усилие из N_{bs} и N_{bp} ;

– из условия работы на растяжение

$$n_1 \geq \frac{\gamma_n \cdot N_1}{N_{bt}} \quad (8)$$

Окончательно назначается максимальное количество болтов из условия

работы на срез, смятие и растяжение. В стыках назначенное количество болтов должно быть четным. В креплениях допускается использование одного болта.

б. Осуществляется размещение болтов в соответствии с рекомендациями табл. 11 прил.

В случае применения высокопрочных болтов расчетное усилие Q_{bh} , которое может быть воспринято каждой поверхностью трения элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, определяется по формуле

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \cdot \gamma_b \cdot A_{bn} \cdot \mu}{\gamma_h}, \quad (9)$$

где R_{bh} – расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта, $R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun}$, здесь R_{bun} – нормативное сопротивление стали болтов, принимаемое по [1];

γ_b – коэффициент условий работы соединения, принимаемый в зависимости от количества « n » болтов в соединении ($\gamma_b = 0,8$ при $n < 5$; $\gamma_b = 0,9$ при $5 \leq n < 10$; $\gamma_b = 1,0$ при $n \geq 10$);

A_{bn} – площадь болта нетто;

μ и γ_h – коэффициенты трения и надежности, соответственно, принимаемые по [1] в зависимости от способов обработки поверхностей деталей и контроля усилий натяжения болтов.

Необходимое количество высокопрочных болтов вычисляется по формуле

$$n \geq \frac{\gamma_n \cdot N}{\gamma_c \cdot Q_{bh} \cdot m_{mp}}, \quad (10)$$

где m_{mp} – количество поверхностей трения.

Рассмотрим методику расчета болтовых соединений на примере расчета соединения, представленного на рисунке 7 на болтах обычной прочности нормальной точности.

2.2. Примеры расчета болтовых соединений

2.2.1 Пример № 5

Требуется запроектировать стык листов сечением 500×16 мм из стали класса С285 на действие растягивающего усилия $N = 2000$ кН (см. рис. 7). Стык запроектировать с помощью двух накладок ($t_n = 8$ мм), принять болты нормальной точности диаметром $d = 16$ мм. Класс прочности болтов 5.6.

Решение

Примем диаметры отверстий: $d_{oms} = (d + 2)$ мм = $16 + 2 = 18$ мм.

По табл. 7 прил. $R_{bs} = 210$ МПа.

По табл. 1 прил. для стали С285 $R_u = 380$ МПа, тогда по табл. 10 прил. $R_{bp} = 500$ МПа.

По табл. 8 прил. площадь сечения болта $A_b = 2,01$ см², по табл. 9 прил.

$\gamma_{bs} = 0,9$; предварительно примем $\gamma_{bp} = 1,0$.

Несущая способность болта из условия работы на срез:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot \gamma_c \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_{bs} = 210 \cdot 10^6 \cdot 2,01 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,9 = 75,98 \text{ кН}$$

Несущая способность одного болта из условия работы на смятие:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d \cdot \sum t_{min} \cdot \gamma_{bp} = 500 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 1,0 = 80 \text{ кН}$$

Количество болтов по одну сторону стыка:

$$n \geq \frac{\gamma_n \cdot N}{N_{min} \cdot \gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 2200}{75,98 \cdot 1,0} = 28,97 \text{ шт.}$$

Примем $n = 30$ штук.

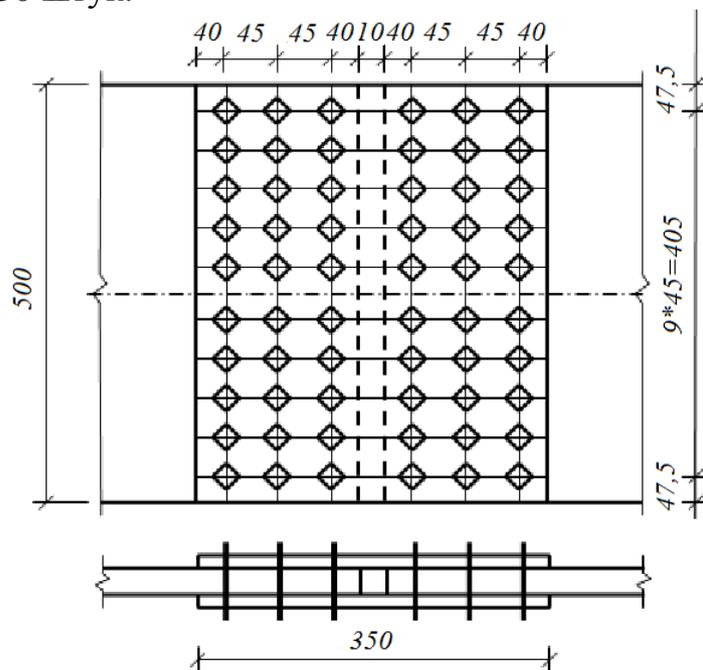


Рисунок 7 - Стыковое болтовое соединение листов

Болты размещаем в соответствии с требованиями табл. 11 прил.:

- минимальное расстояние между центрами болтов $a_{min} = 2,5 \cdot d_{омв} = 2,5 \cdot 18 = 45 \text{ мм}$, назначаем кратным 5мм с округлением в большую сторону, т.е. принимаем $a_{min} = 45 \text{ мм}$;
- максимальное расстояние между центрами болтов $a_{max} = 8 \cdot d_{омв} = 8 \cdot 18 = 144 \text{ мм}$ (назначаем кратным 5мм с округлением в меньшую сторону, т.е. принимаем $a_{max} = 140 \text{ мм}$);
- минимальное расстояние между центрами болтов и краем элемента вдоль усилия $b_{min} = 2 \cdot d_{омв} = 2 \cdot 18 = 36 \text{ мм}$, назначаем $b_{min} = 40 \text{ мм}$,
- максимальное расстояние между центрами болтов и краем элемента вдоль усилия $b_{max} = 4 \cdot d_{омв} = 4 \cdot 18 = 72 \text{ мм}$, назначаем $b_{max} = 70 \text{ мм}$,
- минимальное расстояние между центрами болтов и краем элемента поперек усилия $c_{min} = 1,5 \cdot d_{омв} = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ мм}$, назначаем $c_{min} = 30 \text{ мм}$.
- максимальное расстояние между центрами болтов и краем элемента поперек усилия $c_{max} = 4 \cdot d_{омв} = 4 \cdot 18 = 72 \text{ мм}$, назначаем $c_{max} = 70 \text{ мм}$.

С учетом принятых размеров определяем длину накладки (см. рис. 7)

$$l_n = (2 \cdot 40 + 2 \cdot 45)2 + 10 = 350 \text{ мм}$$

3 РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Изгибаемые элементы проверяются по I–ой группе предельных состояний на прочность и устойчивость, по II–ой группе предельных состояний на жесткость.

Расчеты на прочность и устойчивость ведут по расчетным нагрузкам, а на прогиб – по нормативным. Рассмотрим порядок подбора сечения изгибаемых элементов на примере расчета балки, расчетная схема которой представлена на рисунке 8.

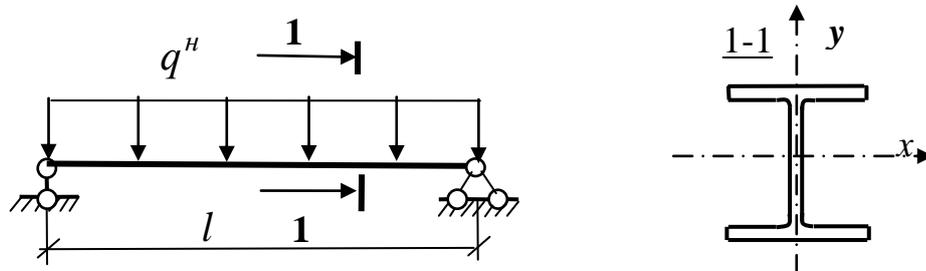


Рисунок 8 - Расчетная схема прокатной балки

Для того чтобы подобрать нужный номер двутавра, вычисляют требуемый момент сопротивления:

$$W_{x,call} = \frac{\gamma_n \cdot M_{max}}{c_x \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (11)$$

где M_{max} – максимальный изгибающий момент, для равномерно-распределенной нагрузки $M_{max} = (q \cdot l^2)/8$, здесь $q = q^n \cdot \gamma_f$ – расчетное значение погонной нагрузки;

R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию и изгибу, принимаемое по табл. 1 прил. для фасонного проката;

c_x – коэффициент, учитывающий возможность появления в сечении пластических деформаций, в предварительных расчетах принимается $c = 1,1$;

По $W_{x,call}$ по сортаменту (см. табл. 12, 13 прил.), подбирается двутавр, у которого $W_x \geq W_{x,call}$.

Уточняется значение R_y по табл.1 прил. в зависимости от толщины полки двутавра t_f . Уточняется значение коэффициента c_x в зависимости от отношения площади полки двутавра A_f к площади стенки A_w (по табл. 14 прил.).

Затем производится проверка:

1) прочности балки
$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot M_{max}}{c_x \cdot W_x} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (12)$$

2) прогиба
$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^n l^3}{EI_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (13)$$

где E – модуль упругости (для стали $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа);

I_x – момент инерции сечения (определяется по сортаменту);

$[f/l]$ – предельный относительный прогиб балки, принимаемый по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Сечение считается подобраным удовлетворительно, если недонапряженные сечения $\Delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\%$ составляет до (10 ÷ 14)%.

Если проверка по формуле (12) выполняется, а по формуле (13) нет, то необходимый номер двутавра определяется по

$$I_{x,call} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^n l^3}{E} \left[\frac{f}{l} \right], \quad (14)$$

3.1 Примеры расчета изгибаемых элементов

3.1.1 Пример № 6

Подобрать сечения прокатной статически определимой однопролетной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой при следующих исходных данных: пролет балки $l = 6,0\text{м}$, $q_n = 62,5\text{кН/м}$, $q = 81,0\text{кН/м}$, сталь - С345.

Решение

Максимальный изгибающий момент в середине балки:

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{81,0 \cdot 6^2}{8} = 364,5\text{кН} \cdot \text{м}$$

По таблице 1 приложения определяем значение расчетного сопротивления для стали класса С345 (ориентировочно будем считать, что толщина подбираемого двутавра $t = (10 \div 20)\text{мм}$ – $R_y = 310\text{МПа}$).

Требуемый момент сопротивления сечения:

$$W_{x,call} = \frac{\gamma_n \cdot M_{\max}}{c_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 364,5 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 310 \cdot 10^6 \cdot 1} = 1068,91 \cdot 10^{-6}\text{м}^3$$

Принимаем из сортамента (табл. 13 прил.) двутавр №45Б1. Геометрические характеристики сечения представлены на рисунке 9.

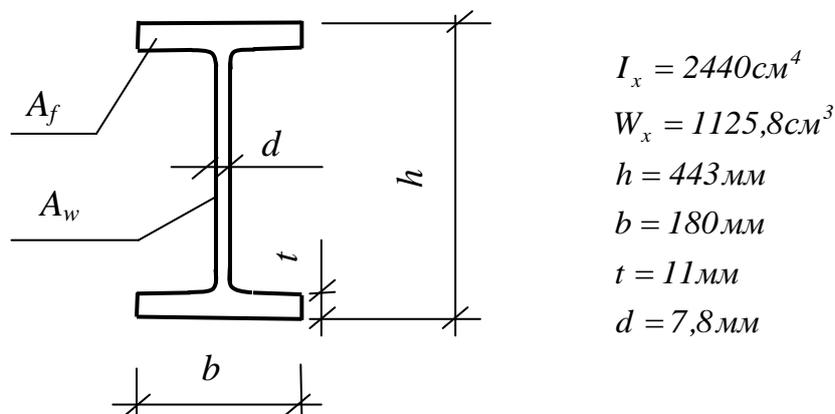


Рисунок 9 - Вид поперечного сечения двутавра №45Б1

Определяем A_f и A_w , уточняем значение c_j :

$$A_f = b \cdot t = 180 \cdot 11 = 1980\text{мм}^2;$$

$$A_w = (h - 2t) \cdot d = (443 - 2 \cdot 11) \cdot 7,8 = 3284 \text{ мм}^2.$$

$$A_f / A_w = 1980 / 3284 = 0,6, \text{ тогда по таблице 14 приложения } c = 1,12.$$

Уточняем по таблице 1 приложения значение R_y , для толщины полки двутавра №45Б1 $t = 11 \text{ мм}$ - $R_y = 310 \text{ МПа}$.

Проверяем принятое сечение по I – ой группе предельных состояний (по прочности)

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot M_{\max}}{c_x \cdot W_x} = \frac{1,0 \cdot 364,5 \cdot 10^3}{1,12 \cdot 1125,8 \cdot 10^{-6}} = 289,1 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 310 \cdot 1 = 310 \text{ МПа}$$

Процент недонапряжения:

$$\Delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% = \frac{310 - 289,1}{310} \cdot 100\% = 6,7\%$$

Проверка по II – ой группе предельных состояний (по жесткости)

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q^n \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 62,5 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 24940 \cdot 10^{-8}} = 3,4 \cdot 10^{-3} < [f / l] = 4 \cdot 10^{-3}$$

Таким образом, прочность и жесткость балки обеспечена.

3.1.2 Пример № 7

Проверить несущую способность по нормальным напряжениям и жесткости главной балки составного двутаврового сечения пролетом $l = 15,0 \text{ м}$, шарнирно закрепленной по концам и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой (нормативное значение нагрузки - $q_n = 120 \text{ кН/м}$; расчетное значение нагрузки - $q = 155 \text{ кН/м}$). Балка выполнена из стали С345. Вид поперечного сечения показан на рисунке 10.

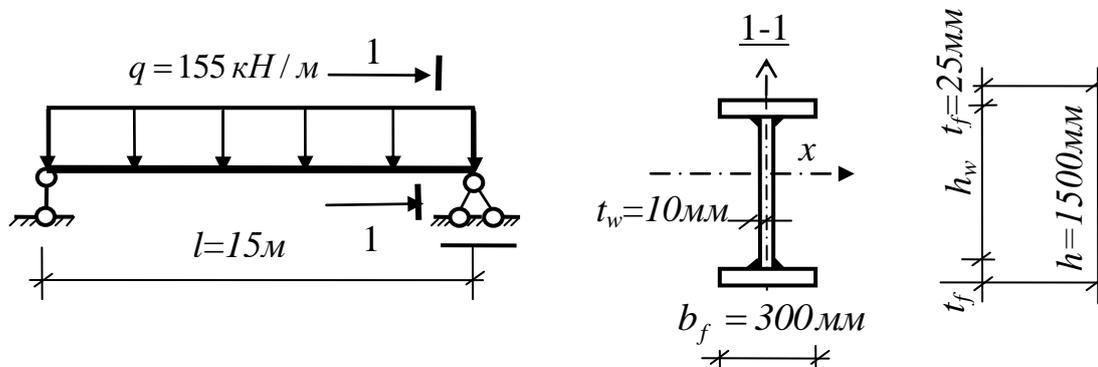


Рисунок 10 - Расчетная схема и сечение главной балки

Решение

Определяем значение максимального изгибающего момента

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{155 \cdot 15^2}{8} = 4359,4 \text{ кНм}.$$

Вычисляем геометрические характеристики сечения – момент инерции I_x и момент сопротивления сечения W_x .

$$I_x = 2 \frac{b_f t_f^3}{12} + \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 b_f t_f \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 = \frac{1 \cdot 145^3}{12} + 2 \cdot \frac{30 \cdot 2,5^3}{12} + 2 \cdot 30 \cdot 2,5 \times \left(\frac{145 + 2,5}{2} \right)^2 = 1064467 \text{ см}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{h/2} = 106446775 = 14682 \text{ см}^3$$

По таблице 1 приложения для листового проката толщиной $t_f = 25 \text{ мм}$ $R_y = 300 \text{ МПа}$.

Проверку прочности главных балок производим без учета развития пластических деформаций по формуле

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot M_{\max}}{W_x} = \frac{1,0 \cdot 4359,4 \cdot 10^3}{14682 \cdot 10^{-6}} = 296,9 \text{ МПа} < 300 \text{ МПа},$$

т.е. прочность балки по нормальным напряжениям обеспечена.

Так как

$$\Delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% = \frac{300 \cdot 1 - 296,9}{300 \cdot 1} \cdot 100\% = 1,03\% < (10 \div 14)\%,$$

то сечение подобрано экономично и не требует пересчета.

Проверка жесткости:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{120 \cdot 10^3 \cdot 15^3}{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 1064467 \cdot 10^{-8}} = 0,0024 < 0,0025,$$

где $\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{400} = 0,0025$.

Жесткость балки обеспечена.

4 РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО РАСТЯНУТЫХ И ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

По I-ой группе предельных состояний для центрально растянутых элементов проверяется прочность путем сравнения напряжений, вычисленных от расчетных нагрузок, с расчетным сопротивлением:

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (15)$$

где A_n – площадь сечения нетто;

Кроме прочности для центрально растянутых элементов необходимо обеспечить достаточную их жесткость, чтобы избежать повреждения элементов при перевозке и монтаже конструкций, а также в процессе их эксплуатации уменьшить провисание элементов от собственного веса. Для этой цели проверяют гибкость растянутых элементов, которая не должна превышать значений предельной гибкости, приведенных в [1]

$$\lambda = \frac{\ell_{ef}}{i} \leq [\lambda] \quad (16)$$

где ℓ_{ef} – расчетная длина элемента.

Для коротких центрально сжатых элементов (длина которых превышает наибольший поперечный размер не более чем в 5-6 раз) по I-ой группе пре-

дельных состояний проверяют прочность по формуле (15), а для длинных гибких стержней – устойчивость

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{A \cdot \varphi} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (17)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый по формуле

$$\varphi = 0,5 \cdot \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \bar{\lambda}^2} \right) / \bar{\lambda}^2 \quad (18)$$

где $\bar{\lambda}$ – условная гибкость, здесь $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$.

Значение коэффициента δ в формуле (18) вычисляется по формуле

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2, \quad (19)$$

где α и β – коэффициенты, определяемые по таблице 15 приложения в зависимости от типов сечений.

Значения коэффициента φ , вычисленные по формуле (18), следует принимать не более $7,6/\bar{\lambda}^2$ при значениях условной гибкости свыше 3,8; 4,4 и 5,8 для типов сечений соответственно *a*, *b* и *c*. При значениях $\bar{\lambda} < 0,4$ для всех типов сечений допускается принимать $\varphi = 1$.

Работа центрально сжатых стержней в сильной степени зависит от характера закрепления их концов и способа приложения нагрузки. Это учитывается введением коэффициента μ – коэффициента приведения геометрической длины стержня к расчетной. Расчетная длина стержня $l_{ef} = \mu \cdot l$ (см. рис. 11).

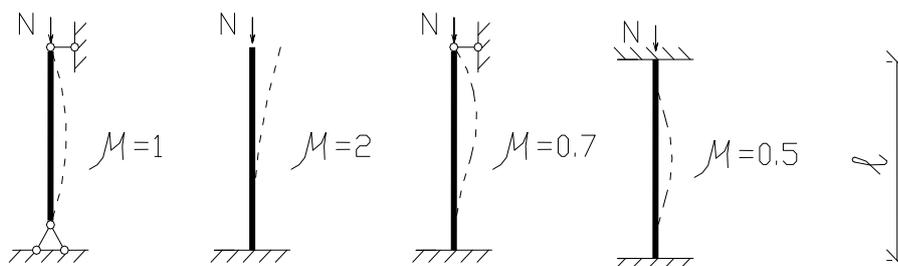


Рисунок 11 - Значения коэффициента μ

По II-ой группе предельных состояний для сжатых элементов производится проверка по гибкости $\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \leq [\lambda]$, где $[\lambda] = K - 60\alpha$, K – численная константа, определяемая по [1] в зависимости от назначения центрально-сжатого элемента; $\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}$, но не менее 0,5.

4.1 Примеры расчета центрально растянутых и центрально сжатых элементов

4.1.1 Пример № 8

Из какой стали можно изготовить растянутый стержень пояса стропильной фермы из двутавра №24, если усилие в нем $N=1000\text{кН}$. Коэффициент условий работы конструкции принять равным $\gamma_c=1,0$ (табл. 2 прил).

Решение

Из табл. 12 приложения для двутавра №24 площадь поперечного сечения $A=34,8\text{см}^2$.

Нормальные напряжения в сечении

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{A} = \frac{1,0 \cdot 1000 \cdot 10^3}{34,8 \cdot 10^{-4}} = 287,4 \text{ МПа}$$

Требуемое расчетное сопротивление стали

$$R_{y,mp} \geq \frac{\sigma}{\gamma_c} = \frac{287,4}{1,0} = 287,4 \text{ МПа}.$$

По приложению В [1] устанавливаем, что фермы относятся ко II гр. конструкций, и для их изготовления с учетом вычисленных $R_{y,mp}$ могут быть применены стали класса не ниже С345, для которых $R_y=320$ МПа для толщин элементов от 2 до 20мм (толщина полки двутавра №24 $t_f=9,5\text{мм}$).

4.1.2 Пример № 9

Подобрать сечение центрально-сжатой шарнирно закрепленной стойки длиной $l = 5,6\text{м}$ из двутавра типа «Ш» или «К». Класс стали – С345 ($R_y=320$ МПа), $N = 2700\text{кН}$, коэффициент условий работы конструкции принять равным $\gamma_c=1,0$.

Решение

При предварительном подборе сечений значение гибкости принимается равным $\lambda = 50 \div 90$.

$$\text{Примем } \lambda = 55, \text{ тогда } \bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y/E} = 55 \sqrt{320/2,06 \cdot 10^5} = 2,17$$

Для типа сечения «в» (табл.15 прил.) по таблице16 приложения $\varphi=0,799$.

Требуемая площадь

$$A_{call} = \frac{\gamma_n \cdot N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 2700 \cdot 10^3}{0,799 \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1} = 105,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Требуемые радиусы инерции

$$i_{xcall} = i_{ycall} = \frac{l_{ef}}{\lambda} = \frac{5,6}{55} = 10,18 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

По таблице 13 приложения принимаем двутавр №30К1, у которого $A=107,0\text{см}^2$, $i_x=13,0\text{см}$, $i_y=7,65\text{см}$.

Вычисляем $\lambda_x = l_{ef,x}/i_x = 5,6/0,13=57,5$.

Условная гибкость $\bar{\lambda}_x = 57,5 \sqrt{320/2,06 \cdot 10^5} = 2,27$, тогда $\varphi_x=0,783$.

$$\alpha_x = N / \varphi_x \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c = 2700 \cdot 10^3 / 0,783 \cdot 107 \cdot 10^{-4} \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1 = 1,01.$$

Значения предельных гибкостей вычисляем по формуле $[\lambda] = K - 60\alpha$, где $K=180$ (табл. 32[1]).

$$[\lambda_x] = 180 - 60\alpha_x = 180 - 60 \cdot 1,01 = 119,4, \text{ т.е. условие } \lambda_x \leq [\lambda_x] \text{ выполняется.}$$

$$\text{Вычисляем } \lambda_y = l_{ef,y}/i_y = 5,6/0,0755 = 74,2.$$

Условная гибкость $\bar{\lambda}_y = 74,2 \sqrt{320/2,06 \cdot 10^5} = 2,92$, тогда $\varphi_y = 0,659$.

$$\alpha_y = N / \varphi_y \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c = 2700 \cdot 10^3 / 0,659 \cdot 107 \cdot 10^{-4} \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1 = 1,2.$$

$$[\lambda_y] = 180 - 60\alpha_y = 180 - 60 \cdot 1,2 = 108,0.$$

$$\lambda_y = 74,2 \leq [\lambda_y] = 108,0.$$

Проверим устойчивость стойки:

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{\varphi_{\min} \cdot A} = \frac{1,0 \cdot 2700 \cdot 10^3}{0,659 \cdot 107 \cdot 10^{-4}} = 383 \text{ МПа} > R_y \cdot \gamma_c = 320 \cdot 1,0 = 320 \text{ МПа}$$

Устойчивость не обеспечена.

Примем двутавр №35К1, у которого $A=138,0 \text{ см}^2$, $i_x=15,5$, см, $i_y=8,33$ см.

$$\lambda_x = l_{ef,x}/i_x = 5,6/0,155 = 36,12.$$

Условная гибкость $\bar{\lambda}_x = 36,12 \sqrt{320/2,06 \cdot 10^5} = 1,42$, тогда $\varphi_x = 0,903$.

$$\alpha_x = N / \varphi_x \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c = 2700 \cdot 10^3 / 0,903 \cdot 138 \cdot 10^{-4} \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1 = 0,68.$$

$$[\lambda_x] = 180 - 60\alpha_x = 180 - 60 \cdot 0,68 = 139,2 > \lambda_x = 36,12$$

$$\lambda_y = l_{ef,y}/i_y = 5,6/0,0833 = 67,23.$$

$\bar{\lambda}_y = 67,23 \sqrt{320/2,06 \cdot 10^5} = 2,65$, тогда $\varphi_y = 0,713$.

$$\alpha_y = N / \varphi_y \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c = 2700 \cdot 10^3 / 0,713 \cdot 138 \cdot 10^{-4} \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1 = 0,858.$$

$$[\lambda_y] = 180 - 60\alpha_y = 180 - 60 \cdot 0,858 = 128,5.$$

$$\lambda_y = 67,23 \leq [\lambda_y] = 128,5.$$

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{\varphi_{\min} \cdot A} = \frac{1,0 \cdot 2700 \cdot 10^3}{0,713 \cdot 138 \cdot 10^{-4}} = 274,4 \text{ МПа} \leq R_y \cdot \gamma_c = 320 \cdot 1,0 = 320 \text{ МПа}$$

Недонапряжение сечения Δ составляет

$$\Delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% = \frac{320 - 274,4}{320} \cdot 100\% = 14,3\%.$$

При $\Delta > (10 \div 14)\%$ выясняется возможность использования меньшего номера двутавра.

Попробуем уменьшить Δ , примем двутавр №40Ш1, у которого $A=124,0 \text{ см}^2$, $i_x=16,8$, см, $i_y=7,19$ см.

$$\lambda_x = l_{ef,x}/i_x = 5,6/0,168 = 33,3.$$

Условная гибкость $\bar{\lambda}_x = 33,3 \sqrt{320/2,06 \cdot 10^5} = 1,31$, тогда $\varphi_x = 0,915$.

$$\alpha_x = N / \varphi_x \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c = 2700 \cdot 10^3 / 0,915 \cdot 124 \cdot 10^{-4} \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1 = 0,744.$$

$$[\lambda_x] = 180 - 60\alpha_x = 180 - 60 \cdot 0,744 = 135,4 > \lambda_x = 33,3$$

$$\lambda_y = l_{ef,y}/i_y = 5,6/0,0719 = 77,89.$$

$\bar{\lambda}_y = 77,89 \sqrt{320/2,06 \cdot 10^5} = 3,07$, тогда $\varphi_y = 0,629$.

$$\alpha_y = N / \varphi_y \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c = 2700 \cdot 10^3 / 0,629 \cdot 124 \cdot 10^{-4} \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1 = 1,08.$$

$$[\lambda_y] = 180 - 60\alpha_y = 180 - 60 \cdot 1,08 = 115,2.$$

$$\lambda_y = 77,89 \leq [\lambda_y] = 115,2.$$

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{\varphi_{\min} \cdot A} = \frac{1,0 \cdot 2700 \cdot 10^3}{0,629 \cdot 124 \cdot 10^{-4}} = 346,2 \text{ МПа} > R_y \cdot \gamma_c = 320 \cdot 1,0 = 320 \text{ МПа}$$

Устойчивость не обеспечена, поэтому оставляем в качестве сечения колонны двутавр №35К1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 16.13330.2011. Свод правил. Стальные конструкции: актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Введ. 20.05.2011. – Москва: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2011. – 143 с.
2. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия: актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Введ. 20.05.2011. – Москва: ЦНИИСК, 2011. – 76 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального и фасонного проката

Сталь по ГОСТ 27772	Толщина проката*, мм	Нормативное сопротивление** проката, Н/мм ²		Расчетное сопротивление*** проката, Н/мм ²	
		R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u
C235	От 2 до 8	235	360	230 / 225	350 / 345
C245	» 2 » 20	245	370	240 / 235	360 / 350
	Св. 20 » 30	235	370	230 / 225	360 / 350
C255	От. 2 » 20	245	370	240 / 235	360 / 350
	Св. 20 » 40	235	370	230 / 225	360 / 350
C285	От 2 » 10	275	390	270 / 260	380 / 370
	Св. 10 » 20	265	380	260 / 250	370 / 360
C345	От 2 » 20	325	470	320 / 310	460 / 450
	Св. 20 » 40	305	460	300 / 290	450 / 440
	» 40 » 80	285	450	280 / 270	440 / 430
	» 80 » 100	265	430	260 / 250	420 / 410
C345К	От 4 » 10	345	470	335 / 330	460 / 450
C375	» 2 » 20	355	490	345 / 340	480 / 465
	Св. 20 » 40	335	480	325 / 320	470 / 455
C390	От 4 » 50	390	540	380 / 370	525 / 515
C440	» 4 » 30	440	590	430 / 420	575 / 560
	Св. 30 » 50	410	570	400 / 390	555 / 540
C590 C590К	От 10 » 40	590	685	575 / 560	670 / 650

* За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки.

** Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений на коэффициенты надежности по материалу. В числителе представлены значения расчетных сопротивлений проката, поставляемого по ГОСТ 27772 (кроме стали С590К) или другой нормативной документации, в которой используется процедура контроля свойств проката по ГОСТ 27772 ($\gamma_m = 1,025$), в знаменателе - расчетное сопротивление остального проката при $\gamma_m = 1,050$.

Таблица 2

Зависимость коэффициента условий работы от элемента конструкции

Элемент конструкции	γ_c
1. Балки сплошного сечения и сжатые элементы ферм перекрытий под залами театров, клубов, кинотеатров, под трибунами, под помещениями магазинов, книгохранилищ и архивов и т.п. при временной нагрузке, не превышающей вес перекрытий	0,9
2. Колонны общественных зданий при постоянной нагрузке, равной не менее 0,8 расчетной, и опор водонапорных башен	0,95
3. Колонны одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами	1,05
4. Сжатые основные элементы (кроме опорных) решетки составного таврового сечения из двух уголков в сварных фермах покрытий и перекрытий при расчете на устойчивость указанных элементов с гибкостью $\lambda > 60$	0,8
5. Растянутые элементы (затяжки, тяги, оттяжки, подвески) при расчете на прочность по неослабленному сечению	0,9
6. Элементы конструкций из стали с пределом текучести до 440 Н/мм ² , несущие статическую нагрузку, при расчете на прочность по сечению, ослабленному отверстиями для болтов (кроме фрикционных соединений)	1,1
7. Сжатые элементы из одиночных уголков, прикрепляемых одной полкой (для неравнополочных уголков - меньшей полкой)	0,75
8. Опорные плиты из стали с пределом текучести до 390 Н/мм ² , несущие статическую нагрузку, толщиной, мм: а) до 40 б) » 40 до 60 в) »60 » 80	1,2 1,15 1,1
<p>Примечания:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Коэффициенты $\gamma_c < 1$ при расчете совместно учитывать не следует. 1 При расчете на прочность по сечению, ослабленному отверстиями для болтов, коэффициенты условий работы, приведенные в позициях 6 и 1; 6 и 2; 6 и 3, следует учитывать совместно. 2 При расчете опорных плит коэффициенты, приведенные в позициях 8 и 2, 8 и 3, следует учитывать совместно. 3 Коэффициенты для элементов, приведенных в позициях 1 и 2, следует учитывать также при расчете их соединений. 2. В случаях, не оговоренных в настоящей таблице, в формулах следует принимать $\gamma_c = 1$ 	

Материалы для сварки, соответствующие стали

Сталь	Материалы для сварки				
	в углекислом газе (по ГОСТ 8050) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157)	под флюсом (по ГОСТ 9087)		порошковой проволокой (по ГОСТ 26271)	покрытыми электродами (по ГОСТ 9467)
	Марка				
	сварочной проволоки для автома- тической и механизированной сварки (по ГОСТ 2246)	флюса	порошковой проволоки	Тип элек- трода	
$R_{yn} < 290 \text{ Н/мм}^2$	Св-08Г2С	Св-08А	АН-348-А АН-60*	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э42*, Э42А
		Св-08ГА	ПФК- 56С****		Э46*, Э46А
$290 \text{ Н/мм}^2 \leq R_{yn} < 590 \text{ Н/мм}^2$		Св-10ГА**	АН-17-М АН-43		Э50*, Э50А
		Св-10Г2** Св-10НМА	АН-47 АН-348- А*** ПФК- 56С****		-
$R_{yn} > 590 \text{ Н/мм}^2$	Св-08Г2С Св-08ХГ2СМА	Св-10НМА	АН-17-М ПФК- 56С****	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э60 Э70
	Св-10ХГ2СМА	Св-08ХН2ГМЮ			

* Флюс АН-60 и электроды типа Э42, Э46, Э50 следует применять для конструкций групп 2, 3 при расчетных температурах $t \geq -45 \text{ }^\circ\text{C}$.

** Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

*** Для флюса АН-348-А требуется дополнительный контроль механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин при расчетных температурах $t < -45 \text{ }^\circ\text{C}$ и толщин свыше 32 мм - при расчетных температурах $t \geq -45 \text{ }^\circ\text{C}$.

**** Керамический флюс по ТУ 59295-001-56315282-2004.

Таблица 4

Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами

Сварочные материалы		$R_{wun},$ Н/мм ²	$R_{wf},$ Н/мм ²
тип электрода (по ГОСТ 9467)	марка проволоки		
Э42, Э42А	Св-08, Св-08А	410	180
Э46, Э46А	Св-08ГА,	450	200
Э50, Э50А	Св-08Г2С, Св-10ГА, ПП-АН-8, ПП-АН-3	490	215
Э60	Св-08Г2С*, Св-10НМА, Св-10Г2	590	240
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ	685	280
Э85	-	835	340

* Только для швов с катетом $k_f \leq 8 \text{ мм}$ в конструкциях из стали с пределом текучести 440 Н/мм² и более.

Таблица 5

Минимальные катеты швов

Вид соединения	Вид сварки	Предел текучести стали, Н/мм ²	Минимальный катет шва k_f , мм, при толщине более толстого из свариваемых элементов t , мм						
			4-5	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40	41-80
Тавровое с двусторонними угловыми швами Нахлесточное и угловое	Ручная дуговая	До 285	4	4	4	5	5	6	6
		Св. 285 до 390	4	5	6	7	8	9	10
	» 390 » 590	5	6	7	8	9	10	12	
	Автоматическая и механизированная	До 285	3	4	4	5	5	6	6
Св. 285 до 390		3	4	5	6	7	8	9	
		» 390 » 590	4	5	6	7	8	9	10
Тавровое с односторонними угловыми швами	Ручная дуговая	До 375	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и механизированная		4	5	6	7	8	9	10

Примечания

- 1 В конструкциях из стали с пределом текучести свыше 590 Н/мм², а также из всех сталей при толщине элементов более 80 мм минимальный катет швов следует принимать по специальным техническим условиям.
- 2 В конструкциях группы 4 минимальный катет односторонних угловых швов следует уменьшать на 1 мм при толщине свариваемых элементов до 40 мм и на 2 мм - при толщине элементов свыше 40 мм.

Таблица 6

Коэффициенты β_f и β_z

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки сплошного сечения d , мм	Положение шва	Коэффициент	Значения коэффициентов β_f и β_z при нормальных режимах сварки и катетах швов, мм			
			3-8	9-12	14-16	св. 16
Автоматическая при $d = 3 - 5$	В лодочку	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1,0
	Нижнее	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1,0
Автоматическая и механизированная при $d = 1,4 - 2$	В лодочку	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		
Ручная и механизированная при $d < 1,4$ или порошковой проволокой	В лодочку	β_f	0,7			
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	β_z	1,0			

Таблица 7

**Нормативные сопротивления стали болтов и расчетные сопротивления
однболтовых соединений срезу и растяжению, МПа**

Класс прочности болтов ГОСТ Р 52627	R_{bun}	R_{byn}	R_{bs}	R_{br}
5,6	500	300	210	225
5,8	500	400	210	-
8,8	830	665	330	450
10,9	1040	935	415	560
12,9	1220	1100	425	-

Таблица 8

Площади сечения болтов

d , мм	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
A_b , см ²	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A_{bn} , см ²	1,57	1,92	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,16	11,20	14,72

Таблица 9

Значение коэффициента γ_b

Характеристика		R_{yn} , Н/мм ²	Значения a/d , s/d	Значение коэффициента γ_b
болтового соединения	напряженного состояния			
Однболтовое, болт классов точности А, В или высокопроч- ный	Срез	-	-	1,0
	Смятие	До 285	$1,5 \leq a/d \leq 2;$ $1,35 \leq a/d < 1,5$	$0,4a/d + 0,2$ $a/d - 0,7$
		Св. 285 до 375		$0,5a/d$ $0,67a/d - 0,25$
		Св. 375	$a/d \geq 2,5$	1,0
Многоболтовое, болты класса точ- ности А	Срез	-	-	1,0
	Смятие	До 285	$1,5 \leq a/d \leq 2$ $2 \leq s/d \leq 2,5$	$0,4a/d + 0,2$ $0,4s/d$
		Св. 285 до 375		$0,5a/d$ $0,5s/d - 0,25$
		Св. 375	$a/d \geq 2,5$ $s/d \geq 3$	1,0 1,0

Обозначения, принятые в таблице 8:

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

s - расстояние вдоль усилия между центрами отверстий;

d - диаметр отверстия для болта.

Примечания:

1 Для расчета многоболтового соединения на срез и смятие при болтах класса точности В, а также при высокопрочных болтах без регулируемого натяжения при всех значениях предела текучести R_{yn} стали соединяемых элементов значения коэффициента γ_b следует умножать на 0,9.

2 Для расчета многоболтового соединения на смятие следует принимать значение γ_b меньшее из вычисленных при принятых значениях d , a , s .

Таблица 10

Расчетные сопротивления смятию элементов, соединяемых болтами

Временное сопротивление стали соединяемых элементов R_{tn} , Н/мм ²	Расчетные сопротивления R_{bp} , Н/мм ² , смятию элементов, соединяемых болтами	
	класса точности А	классов точности В
360	560	475
370	580	485
380	590	500
390	610	515
430	670	565
440	685	580
450	700	595
460	720	605
470	735	620
480	750	630
490	765	645
510	795	670
540	845	710
570	890	750
590	920	775

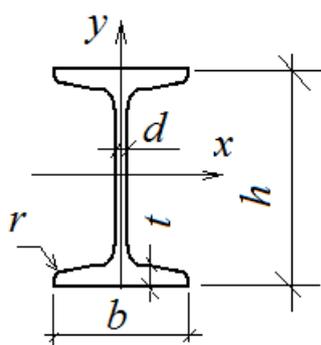
Таблица 11

Размещение болтов

Характеристика расстояния и предела текучести соединяемых элементов	Расстояние при размещении болтов
1 Расстояние между центрами отверстий в любом направлении: а) минимальное: при $R_{yn} \leq 375$ Н/мм ² при $R_{yn} > 375$ Н/мм ² б) максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии в) максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков: при растяжении при сжатии	$2,5d$ $3d$ $8d$ или $12t$ $16d$ или $24t$ $12d$ или $18t$
2 Расстояние от центра отверстия для болта до края элемента а) минимальное вдоль усилия: при $R_{yn} \leq 375$ Н/мм ² при $R_{yn} > 375$ Н/мм ² б) то же, поперек усилия: при обрезных кромках при прокатных кромках в) максимальное г) минимальное во фрикционном соединении при любой кромке и любом направлении усилия	$2d$ $2,5d$ $1,5d$ $1,2d$ $4d$ или $8t$ $1,3d$
3 Расстояние минимальное между центрами отверстий вдоль усилия для болтов, размещаемых в шахматном порядке	$u + 1,5d$
<i>Обозначения, принятые в таблице 11:</i> d - диаметр отверстия для болта; t - толщина наиболее тонкого наружного элемента; u - расстояние поперек усилия между рядами отверстий.	

Таблица 12

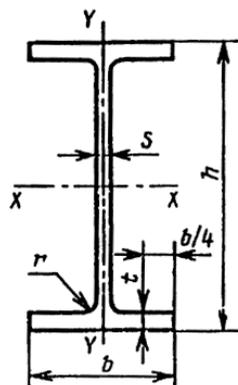
Балки двутавровые (выборка из ГОСТ 8239-72 с изм.)



Обозначение к чертежу и таблице:

h — высота балки; W — момент сопротивления;
 b — ширина полки; i — радиус инерции;
 d — толщина стенки;
 t — средняя толщина полки;
 I — момент инерции;

№ профиля	Линейная плотность, кг/м	Размеры, мм				Площадь сечения A , см ²	Ось $x-x$			Ось $y-y$		
		h	b	d	t		I_x , см ⁴	W_{x_3} , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_{y_3} , см ³	I_y , см
10	9,46	100	55	4,5	7,2	12	198	39,7	4,06	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5	7,8	20,2	873	109	6,57	58,6	14,5	1,7
18	18,4	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	82,6	18,4	1,88
20	21	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	115	23,1	2,07
22	24	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	157	28,6	2,27
24	27,3	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	198	34,5	2,37
27	31,5	270	125	6	9,8	40,2	5010	371	11,2	260	41,5	2,54
30	36,5	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	337	49,9	2,69
33	42,2	330	140	7	11,2	53,8	9840	597	13,5	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	516	71,1	2,89
40	57	400	155	8,3	13	72,6	19062	953	16,2	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	18,1	808	101	3,09
50	78,5	500	170	10	15,2	100	39727	1598	19,9	1043	123	3,23



Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок по ГОСТ 26020-83

Обозначение к чертежу и таблице:

h - высота двутавра; b - ширина полки; s - толщина стенки; t - толщина полки; r - радиус сопряжения; I - момент инерции; W - момент сопротивления; S - статистический момент полусечения; i - радиус инерции.

Номер профиля	мм					Площадь сечения, см ²	Линейная плотность, кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			X-X				Y-Y		
								I_x , см ⁴	W_x , см ³	S_x , см ³	t_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	t_y , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Нормальные двутавры														
10Б1	100	55	4,1	5,7	7	10,32	8,1	171	34,2	19,7	4,07	15,9	5,8	1,24
12Б1	117,6	64	3,8	5,1	7	11,03	8,7	257	43,8	24,9	4,83	22,4	7,0	1,42
12Б2	120	64	4,4	6,3	7	13,21	10,4	318	53,0	30,4	4,90	27,7	8,6	1,45
14Б1	137,4	73	3,8	5,6	7	13,39	10,5	435	63,3	35,8	5,70	36,4	10,0	1,65
14Б2	140	73	4,7	6,9	7	16,43	12,9	541	77,3	44,2	5,74	44,9	12,3	1,65
16Б1	157	82	4,0	5,9	9	16,18	12,7	689	87,8	49,5	6,53	54,4	13,3	1,83
16Б2	160	82	5,0	7,4	9	20,09	15,8	869	108,7	61,9	6,58	68,3	16,6	1,84
18Б1	177	91	4,3	6,5	9	19,58	15,4	1063	120,1	67,7	7,37	81,9	18,0	2,04
18Б2	180	91	5,3	8,0	9	23,95	18,8	1317	146,3	83,2	7,41	100,8	22,2	2,05
20Б1	200	100	5,6	8,5	12	28,49	22,4	1943	194,3	110,3	8,26	142,3	28,5	2,23
23Б1	230	110	5,6	9,0	12	32,91	25,8	2996	260,5	147,2	9,54	200,3	36,4	2,47
26Б1	258	120	5,8	8,5	12	35,62	28,0	4024	312,0	176,6	10,63	245,6	40,9	2,63
26Б2	261	120	6,0	10,0	12	39,70	31,2	4654	356,6	201,5	10,83	288,8	48,1	2,70

Номер роп- филя	мм					Площадь сечения, см ²	Линейная плотность, кг/м	Справочные величины для осей						
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>r</i>			X-X				Y-Y		
								<i>I_x</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , см ³	<i>S_x</i> , см ³	<i>t_x</i> , см	<i>I_y</i> , см ⁴	<i>W_y</i> , см ³	<i>t_y</i> , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30Б1	296	140	5,8	8,5	15	41,92	32,9	6328	427,0	240,0	12,29	390,0	55,7	3,05
30Б2	299	140	6,0	10,0		46,67	36,6	7293	487,8	273,8	12,50	458,6	65,5	3,13
35Б1	346	155	6,2	8,5	18	49,53	38,9	10060	581,7	328,6	14,25	529,6	68,3	3,27
35Б2	349	155	6,5	10,0		55,17	43,3	11550	662,2	373,0	14,47	622,9	80,4	3,36
40Б1	392	165	7,0	9,5	21	61,25	48,1	15750	803,6	456,0	16,03	714,9	86,7	3,42
40Б2	396	165	7,5	11,5		69,72	54,7	18530	935,7	529,7	16,30	865,0	104,8	3,52
45Б1	443	180	7,8	11,0	21	76,23	59,8	24940	1125,8	639,5	18,09	1073,7	119,3	3,75
45Б2	447	180	8,4	13,0		85,96	67,5	28870	1291,9	732,9	18,32	1269,0	141,0	3,84
50Б1	492	200	8,8	12,0	21	92,98	73,0	37160	1511,0	860,4	19,99	1606,0	160,6	4,16
50Б2	496	200	9,2	14,0		102,80	80,7	42390	1709,0	970,2	20,30	1873,0	187,3	4,27
55Б1	543	220	9,5	13,5	24	113,37	89,0	55680	2051,0	1165,0	22,16	2404,0	218,6	4,61
55Б2	547	220	10,0	15,5		124,75	97,9	62790	2296,0	1302,0	22,43	2760,0	250,9	4,70
60Б1	593	230	10,5	15,5	24	135,26	106,2	78760	2656,0	1512,0	24,13	3154,0	274,3	4,83
60Б2	597	230	11,0	17,5		147,30	115,6	87640	2936,0	1669,0	24,39	3561,0	309,6	4,92
70Б1	691	260	12,0	15,5	24	164,70	129,3	125930	3645,0	2095,0	27,65	4556,0	350,5	5,26
70Б2	697	260	12,5	18,5		183,60	144,2	145912	4187	2393,0	28,19	5437,0	418,2	5,44
80Б1	791	280	13,5	17,0	26	203,20	159,5	199500	5044	2917,0	31,33	6244,0	446,0	5,54
80Б2	798	280	14,0	20,5		226,60	177,9	232200	5820	3343,0	32,01	7527,0	537,6	5,76
90Б1	893	300	15,0	18,5	30	247,10	194,0	304400	6817	3964,0	35,09	8365,0	557,6	5,82
90Б2	900	300	15,5	22,0		272,40	213,8	349200	7760	4480,0	35,80	9943,0	662,8	6,04
100Б1	990	320	16,0	21,0	30	293,82	230,6	446000	9011	5234,0	38,96	11520,0	719,9	6,26
100Б2	998	320	17,0	25,0		328,90	258,2	516400	10350	5980,0	39,62	13710,0	856,9	6,46
100Б3	1006	320	18,0	29,0		364,00	285,7	587700	11680	6736,0	40,18	15900,0	993,9	6,61
100Б4	1013	320	19,5	32,5		400,60	314,5	655400	12940	7470,0	40,45	17830,0	1114,3	6,67

Номер профи- ля	мм					Площадь сечения, см ²	Линейная плотность, кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			X-X				Y-Y		
								I _x , см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Широкополочные двутавры (Ш)														
20Ш1	193	150	6,0	9,0	13	38,95	30,6	2660	275	153	8,26	507	67,6	3,61
23Ш1	226	155	6,5	10,0	14	46,08	36,2	4260	377	210	9,62	622	80,2	3,67
26Ш1	251	180	7,0	10,0	16	54,37	42,7	6225	496	276	10,70	974	108,2	4,23
26Ш2	255	180	7,5	12,0		62,73	49,2	7429	583	325	10,88	1168	129,8	4,31
30Ш1	291	200	8,0	11,0	18	68,31	53,6	10400	715	398	12,34	1470	147,0	4,64
30Ш2	295	200	8,5	13,0		77,65	61,0	12200	827	462	12,53	1737	173,7	4,73
30Ш3	299	200	9,0	15,0		87,00	68,3	14040	939	526	12,70	2004	200,4	4,80
35О1	338	250	9,5	12,5	20	95,67	75,1	19790	1171	651	14,38	3260	261	5,84
35Ш2	341	250	10,0	14,0		104,74	82,2	22070	1295	721	14,52	3650	292	5,90
35Ш3	345	250	10,5	16,0		116,30	91,30	25140	1458	813	14,70	4170	334	5,99
40Ш1	388	300	9,5	14,0	22	122,40	96,1	34360	1771	976	16,76	6306	420	7,18
40Ш2	392	300	11,5	16,0		141,60	111,1	39700	2025	1125	16,75	7209	481	7,14
40Ш3	396	300	12,5	18,0		157,20	123,4	44740	2260	1259	16,87	8111	541	7,18
50Ш1	484	300	11,0	15,0	26	145,70	114,4	60930	2518	1403	20,45	6762	451	6,81
50Ш2	489	300	14,5	17,5		176,60	138,7	72530	2967	1676	20,26	7900	526	6,69
50Ш3	495	300	15,5	20,5		199,20	156,4	84200	3402	1923	20,56	9250	617	6,81
50Ш4	501	300	16,5	23,5		221,70	174,1	96150	3838	2173	20,82	10600	707	6,92
60Ш1	580	320	12,0	17,0	28	181,10	142,1	107300	3701	2068	24,35	9302	581	7,17
60Ш2	587	320	16,0	20,5		225,30	176,9	131800	4490	2544	24,19	11230	702	7,06
60Ш3	595	320	18,0	24,5		261,80	205,5	156900	5273	2997	24,48	13420	839	7,16
60Д14	603	320	20,0	28,5		298,34	234,2	182500	6055	3455	24,73	15620	976	7,23
70Ш1	683	320	13,5	19,0	30	216,40	169,9	172000	5036	2843	28,19	10400	650	6,93
70Ш2	691	320	15,0	23,0		251,70	197,6	205500	5949	3360	28,58	12590	787	7,07
70Ш3	700	320	18,0	27,5		299,80	235,4	247100	7059	4017	28,72	15070	942	7,09
70Ш4	708	320	20,5	31,5		341,60	261,1	284400	8033	4598	28,85	17270	1079	7,11
70Ш5	718	320	23,0	36,5		389,7	305,9	330600	9210	5298	29,13	20020	1251	7,17

Продолжение табл.13

Номер про- филя	мм					Площадь сечения, см ²	Линейная плотность, кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			X-X				Y-Y		
								I _x , см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Колонные двутавры (К)														
20K1	195	200	6,5	10,0	13	52,82	41,5	3820	392	216	8,50	1334	133	5,03
20K2	198	200	7,0	11,5		59,70	46,9	4422	447	247	8,61	1534	153	5,07
23K1	227	240	7,0	10,5	14	66,51	52,2	6589	580	318	9,95	2421	202	6,03
23K2	230	240	8,0	12,0		75,77	59,5	7601	661	365	10,02	2766	231	6,04
26K1	255	260	8,0	12,0	16	83,08	65,2	10300	809	445	11,14	3517	271	6,51
26K2	258	260	9,0	13,5		93,19	73,2	11700	907	501	11,21	3957	304	6,52
26K3	262	260	10,0	15,5		105,90	83,1	13560	1035	576	11,32	4544	349	6,55
30K1	296	300	9,0	13,5	18	108,00	84,8	18110	1223	672	12,95	6079	405	7,50
30K2	300	300	10,0	15,5		122,70	96,3	20930	1395	771	13,06	6980	465	7,54
30K3	304	300	11,5	17,5		138,72	108,9	23910	1573	874	13,12	7881	525	7,54
35K1	343	350	10,0	15,0	20	139,70	109,7	31610	1843	1010	15,04	10720	613	8,76
35K2	348	350	11,0	17,5		160,40	125,9	37090	2132	1173	15,21	12510	715	8,83
35K3	353	350	13,0	20,0		184,10	144,5	42970	2435	1351	15,28	14330	817	8,81
40K1	393	400	11,0	16,5	22	175,80	138,0	52400	2664	1457	17,26	17610	880	10,00
40K2	400	400	13,0	20,0		210,96	165,6	64140	3207	1767	17,44	21350	1067	10,06
40K3	409	400	16,0	24,5		257,80	202,3	80040	3914	2180	17,62	26150	1307	10,07
40K4	419	400	19,0	29,5		308,60	242,2	98340	4694	2642	17,85	31500	1575	10,10
40K5	431	400	23,0	35,5		371,00	291,2	121570	5642	3217	18,10	37910	1896	10,11

Таблица 14

Коэффициенты для расчета на прочность элементов стальных конструкций с учетом развития пластических деформаций

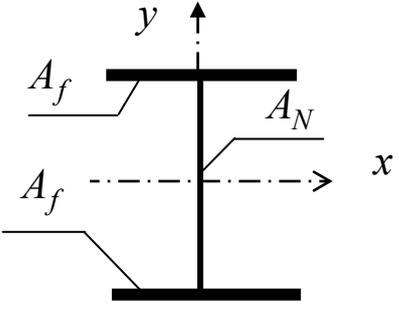
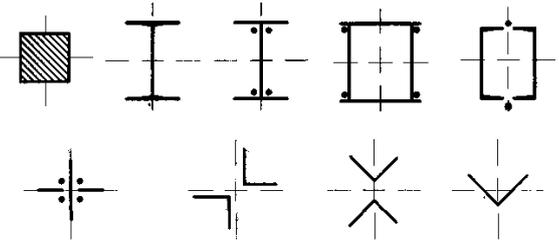
Схема сечения	$\frac{A_f}{A_w}$	C_x
	0,25	1,19
	0,5	1,12
	1,0	1,07
	2,0	1,04

Таблица 15

Коэффициенты α и β

Тип сечения		Значения коэффициентов	
Обозначение	Форма	α	β
<i>a</i>		0,03	0,06
<i>b</i>		0,04	0,09
<i>c</i>		0,04	0,14

Примечание - Для прокатных двутавров высотой свыше 500 мм при расчете на устойчивость в плоскости стенки следует принимать тип сечения *a*.

Коэффициенты устойчивости при центральном сжатии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты φ для типа сечения			Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты φ для типа сечения		
	a	b	c		a	b	c
0,4	999	998	992	5,4	261		255
0,6	994	986	950	5,6	242		240
0,8	981	967	929	5,8		226	
1,0	968	948	901	6,0		211	
1,2	954	927	878	6,2		198	
1,4	938	905	842	6,4		186	
1,6	920	881	811	6,6		174	
1,8	900	855	778	6,8		164	
2,0	877	826	744	7,0		155	
2,2	851	794	709	7,2		147	
2,4	820	760	672	7,4		139	
2,6	785	722	635	7,6		132	
2,8	747	683	598	7,8		125	
3,0	704	643	562	8,0		119	
3,2	660	602	526	8,5		105	
3,4	615	562	492	9,0		094	
3,6	572	524	460	9,5		084	
3,8	530	487	430	10,0		076	
4,0	475	453	401	10,5		069	
4,2	431	421	375	11,0		063	
4,4	393	392	351	11,5		057	
4,6	359	359	328	12,0		053	
4,8	330	330	308	12,5		049	
5,0	304	304	289	13,0		045	
5,2	281	281	271	14,0		039	

Примечание - Значения коэффициентов φ в таблице увеличены в 1000 раз.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ	4
1.1 Основные положения расчета сварных соединений	4
1.2. Примеры расчета сварных соединений	6
1.2.1 Пример №1	6
1.2.2 Пример №2.....	6
1.2.2 Пример №3.....	8
1.2.3 Пример №4.....	9
2. БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	10
2.1. Основные положения расчета болтовых соединений	10
2.2. Примеры расчета болтовых соединений	12
2.2.1 Пример № 5.....	12
3 РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	14
3.1 Примеры расчета изгибаемых элементов	15
3.1.1 Пример № 6.....	15
3.1.2 Пример № 7.....	16
4 РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО РАСТЯНУТЫХ И ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	17
4.1 Примеры расчета центрально растянутых и центрально сжатых элементов	19
4.1.1 Пример № 8.....	19
4.1.2 Пример № 9.....	19
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ	22