

Практическое задание 1

Тема «Основы расчета металлических конструкций»

Задание 1

Определите моменты инерции сечения относительно оси X_1 и Y прокатного двутавра (рис. 1), геометрические характеристики которого представлены в табл. 1.

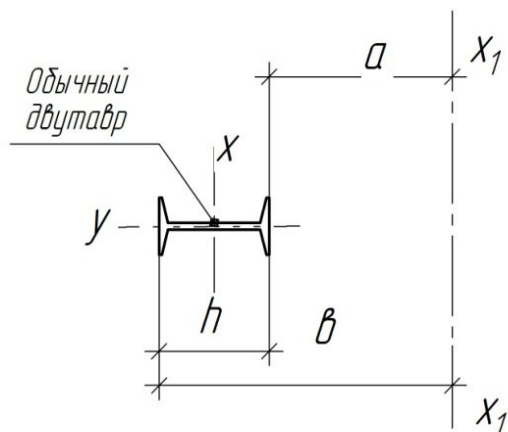


Рис. 1. К заданию 1

Вариант задания каждый студент принимает по табл. 1.

Таблица 1

№№ вар.	Исходные данные						
	I	a, см	b, см				
А	I10	10	—	П	I10	—	15
Б	I12	—	20	Р	I14	7	—
В	I16	10	—	С	I12	—	20
Г	I20	—	30	Т	I36	10	—
Д	I22	12	—	У	I55	—	60
Е	I24	—	30	Ф	I10	10	—
Ё	I27	15	—	Х	I12	—	20
Ж	I30	—	40	Ц	I16	10	—
З	I33	5	—	Ч	I20	—	30
И	I36	—	46	Ш	I22	12	—
К	I40	5	—	Щ	I24	—	30
Л	I45	—	45	Э	I27	15	—
М	I50	10	—	Ю	I30	—	40
Н	I55	—	60	Я	I33	5	—
О	I12	—	20				

Выбор конкретного варианта производится следующим образом:

- номер двутавра – по первой букве фамилии;
- исходные данные a и b – по первой букве имени.

Пример выбора варианта

Студент Алексеев Дмитрий Иванович получит следующие исходные данные:

- **I10** (по первой букве фамилии – А);
- исходные данные $a = 12$ см (по первой букве имени – Д).

Решение

В случае известного расстояния a момент инерции относительно оси X_1 будет определяться как:

$$I_{x_1} = I_x + A\left(a + h/2\right)^2 \quad I_{x_1} = I_x + A\left(a + h/2\right)^2,$$

где I_x – собственный момент инерции двутавра относительно оси X ; A –

площадь его сечения; $a + h/2$ – расстояние от оси X до оси X_1 .

В случае известного расстояния b момент инерции относительно оси X_1 будет определяться как:

$$I_{x_1} = I_x + A\left(b - h/2\right)^2 \quad I_{x_1} = I_x + A\left(b - h/2\right)^2,$$

где $b - h/2$ – расстояние от оси X до оси X_1 .

В данном задании приняты стальные горячекатаные двутавры с уклоном внутренних граней полок (по ГОСТ 8239-89).

Площадь сечения и моменты инерции двутавра относительно осей X и Y можно найти в [1, табл. П16.3].

Алгоритм выполнения задания 1:

- собственный момент инерции двутавра относительно оси X ;
- определение требуемой площади сечения;
- определение высоты двутавра;
- определение момента инерции относительно оси X_1 ;
- определение момента инерции двутавра относительно оси Y .

Пример выполнения практического задания 1

Задание 1. Определите моменты инерции сечения относительно оси X_1 и Y прокатного двутавра I40; ось X_1 параллельна оси X двутавра и располагается на расстоянии $a = 10$ см от ближайшей полки.

Решение

В случае известного расстояния a момент инерции относительно оси X_1 будет определяться как

$$I_{x_1} = I_x + A\left(a + \frac{h}{2}\right)^2 = 19062 + 72,6\left(10 + \frac{40}{2}\right)^2 = 84402 \text{ см}^4$$
$$I_{x_1} = I_x + A\left(a + \frac{h}{2}\right)^2 = 19062 + 72,6\left(10 + \frac{40}{2}\right)^2 = 84402 \text{ см}^4,$$

где $I_x = 19062 \text{ см}^4$ $I_x = 19062 \text{ см}^4$ – собственный момент инерции двутавра относительно оси X ; $A = 72,6 \text{ см}^2$ $A = 72,6 \text{ см}^2$ – площадь его сечения;

$a + \frac{h}{2} = 10 + \frac{40}{2} = 30 \text{ см}$ $a + \frac{h}{2} = 10 + \frac{40}{2} = 30 \text{ см}$ – расстояние от оси X до оси X_1 .

Момент инерции двутавра I40 относительно оси Y – $I_Y = 667 \text{ см}^4$
 $I_Y = 667 \text{ см}^4$ см. [1, табл. П16.3].

Практическое задание 2

Тема «Сварка и сварные соединения»

Задание 2

Определите величину нахлеста a сварного соединения (рис. 2) из условия равнопрочности основному металлу двух фланговых швов, выполненных _____ сваркой. Сечения пластин: $b_1 \times t_1$, мм; $b_2 \times t_2$, мм. Обе пластины из стали класса С__ и работают в упругой стадии. Сварка для групп конструкций 2, 3 и 4 во всех районах кроме I₁, I₂, II₂ и II₃.

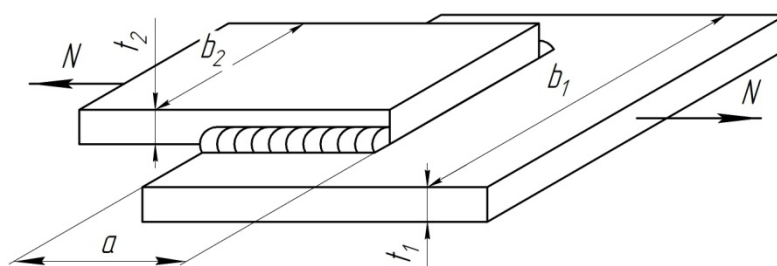


Рис. 2. Нахлесточное соединение

Вариант задания каждый студент принимает по табл. 2.

Таблица 2

Первая буква фамилии, имени, отчества	Вид сварки	Сечение пластин		Класс стали пластин
		$b_1 \times t_1$, мм	$b_2 \times t_2$, мм	
А	Ручная	–180x12	–150x12	С255
Б	Полуавтоматическая	–200x12	–150x12	С245
В	Ручная	–200x10	–150x10	С245
Г	Полуавтоматическая	–180x10	–150x10	С255
Д	Ручная	–220x12	–170x12	С255
Е	Полуавтоматическая	–220x10	–170x10	С245
Ё	Ручная	–180x8	–150x8	С255
Ж	Полуавтоматическая	–200x8	–150x8	С245
З	Ручная	–220x8	–170x8	С245
И	Полуавтоматическая	–200x10	–150x12	С255
К	Ручная	–180x12	–150x12	С255
Л	Полуавтоматическая	–200x12	–150x12	С245
М	Ручная	–200x10	–150x10	С245

Н	Полуавтоматическая	–180х10	–150х10	C255
О	Ручная	–220х12	–170х12	C255
П	Полуавтоматическая	–220х10	–170х10	C245
Р	Ручная	–180х8	–150х8	C255
С	Полуавтоматическая	–200х8	–150х8	C245
Т	Ручная	–220х8	–170х8	C245
У	Полуавтоматическая	–200х10	–150х12	C255
Ф	Ручная	–180х12	–150х12	C255
Х	Полуавтоматическая	–200х12	–150х12	C245
Ц	Ручная	–200х10	–150х10	C245
Ч	Полуавтоматическая	–180х10	–150х10	C255
Ш	Ручная	–220х12	–170х12	C255
Щ	Полуавтоматическая	–220х10	–170х10	C245
Э	Ручная	–180х8	–150х8	C255
Ю	Полуавтоматическая	–200х8	–150х8	C255
Я	Ручная	–220х12	–170х12	C255

Выбор конкретного варианта производится следующим образом:

- вид сварки – по первой букве фамилии;
- сечение пластин – по первой букве имени;
- класс стали – по первой букве отчества.

Пример выбора варианта

Студент Алексеев Дмитрий Иванович получит следующие исходные данные:

- сварка ручная(по первой букве фамилии – А);
- сечение пластин 220х12 и 170х12 мм(по первой букве имени – Д);
- класс стали C255 (по первой букве отчества – И).

Решение

В общем случае нахлесточное соединение следует рассматривать по двум сечениям растянутых пластин и плоскостям среза двух фланговых швов. В идеале эти сечения и плоскости должны быть равнопрочны.

Несущая способность каждой из пластин определяется как

$$N_1 = A_1 R_y \gamma_c \quad \text{и} \quad N_2 = A_2 R_y \gamma_c \quad N_1 = A_1 R_y \gamma_c \quad \text{и} \quad N_2 = A_2 R_y \gamma_c ,$$

где A_1 и A_2 – площадь сечений пластин; R_y – расчетное сопротивление на сжатие, растяжение, изгиб, определенное по пределу текучести; γ_c – коэффициент условий работы.

В случае равнопрочности на минимальное усилие N_{min} следует рассчитывать сварные швы.

Геометрическими параметрами угловых швов являются катет и длина. Нахлест зависит от длины шва, которую можно определить, учитывая возможность среза по металлу шва и по металлу границы сплавления, как

$$l_{\omega}^1 = \frac{\alpha N_{min}}{\beta_f k_f R_{\omega f}} l_{\omega}^1 = \frac{\alpha N_{min}}{\beta_f k_f R_{\omega f}} \quad \text{и} \quad l_{\omega}^{11} = \frac{\alpha N_{min}}{\beta_z k_f R_{\omega z}} l_{\omega}^{11} = \frac{\alpha N_{min}}{\beta_z k_f R_{\omega z}},$$

где α – коэффициент передачи усилия N с пластин на швы; k_f – катет шва; β_f, β_z – коэффициенты проплавления соответственно при расчетах по металлу шва и по металлу границы сплавления; $R_{\omega f}, R_{\omega z}$ – расчетное сопротивление срезу металла шва и металла границы сплавления.

Коэффициенты проплавления β_f, β_z определяются по [3, табл. 39] в зависимости от вида сварки, диаметра сварочной проволоки, положения и катета шва.

Расчетное сопротивление $R_{\omega f}$ определяется по [3, табл. 56] в зависимости от сварочных материалов, выбираемых по [3, табл. Г.1] в зависимости от группы конструкций, климатического района и R_{yn} стали.

Расчетное сопротивление $R_{\omega z}$ определяется в соответствии с табл. 4 [3] как $R_{\omega z} = 0,45 R_{un}$, где R_{un} – нормативное сопротивление стали на сжатие, растяжение, изгиб, определенное по пределу прочности, принимаемое по табл. В.3[3] в зависимости от класса стали, толщины и вида проката.

Катет шва k_f принимается в диапазоне возможных: от k_f^{min} до k_f^{max} . Минимальный катет k_f^{min} определяется по табл. 38 [3] в зависимости от вида соединения, вида сварки, предела текучести стали,

толщины наиболее толстого из свариваемых элементов. Максимальный катет определяется в соответствии с п. 14.1.7, а [3]– как $k_f^{max} = 1,2tk_f^{max} = 1,2t$, где t – наименьшая из толщин свариваемых элементов.

Длину швов необходимо проверить с позиции максимальной возможной длины флангового шва: $l_\omega \leq 85\beta_f k_f l_\omega \leq 85\beta_f k_f$ [3, п. 14.1.7, г].

Нахлест определяется как $b = l_\omega^{max} + 10 \text{ мм}$, где 10 мм – учет возможного непровара шва.

Алгоритм выполнения задания 2

- определение расчетного сопротивления $R_y R_y$;
- определение несущей способности 1-й пластины;
- определение несущей способности 2-й пластины;
- определение минимальной несущей способности пластины;
- задается катет шва;
- определение коэффициентов проплавления;
- выбор сварочного материала;
- определение расчетных сопротивлений швов;
- определение коэффициента условий работы;
- определение требуемой длины швов;
- определение максимальной требуемой длины шва;
- проверка требуемой длины шва с позиции максимально возможной расчетной длины флангового шва;
- определение нахлеста пластин.

Пример выполнения практического задания 2

Задание 2. Определите величину нахлеста a сварного соединения (рис. 2) из условия равнопрочности основному металлу двух фланговых швов, выполненных ручной сваркой. Размеры пластин:

$$b_1 x t_1 = 180 \times 12 \text{ мм}; b_2 x t_2 = 150 \times 12 \text{ мм}$$

$$b_1 x t_1 = 180 \times 12 \text{ мм}; b_2 x t_2 = 150 \times 12 \text{ мм. Обе пластины из стали класса}$$

C255 и работают в упругой стадии. Сварка для групп конструкций 2, 3 и 4 во всех районах, кроме I₁, I₂, II₂ и II₃.

Решение

Расчетное сопротивление пластин:

$$R_y = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} - R_y = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} - \text{для стали класса С255, листового проката}$$

толщиной свыше 10 до 20 мм.

Несущая способность 1-й пластины:

$$N_1 = 18 \cdot 1,2 \cdot 24 = 518,4 \text{ кН} \quad N_1 = 18 \cdot 1,2 \cdot 24 = 518,4 \text{ кН.}$$

Несущая способность 2-й пластины:

$$N_2 = 15 \cdot 1,2 \cdot 24 = 432 \text{ кН.} \quad N_2 = 15 \cdot 1,2 \cdot 24 = 432 \text{ кН.}$$

Минимальная несущая способность пластины: $N_{\min} = 432 \text{ кН.}$

$$N_{\min} = 432 \text{ кН.}$$

Катет шва:

– $k_f^{\min} = 4 \text{ мм}$ – $k_f^{\min} = 4 \text{ мм}$ – нахлесточное соединение, ручная сварка, предел текучести до 28,5 кН/см² (класс стали С255), толщина более толстого из свариваемых элементов 11 – 16 мм;

$$- k_f^{\max} = 1,2 \cdot 12 = 14,4 \text{ мм} - k_f^{\max} = 1,2 \cdot 12 = 14,4 \text{ мм.}$$

Принимаем $k_f = 8 \text{ мм.}$

Коэффициенты проплавления:

$$\beta_f = 0,7 \quad \beta_f = 0,7, \quad \beta_z = 1,0 \quad \beta_z = 1,0 - \text{ручная сварка.}$$

Сварочный материал: электрод типа Э42.

Расчетные сопротивления швов:

$$- R_{\omega f} = 18 \text{ кН/см}^2; - R_{\omega f} = 18 \text{ кН/см}^2;$$

$$- R_{\omega z} = 0,45 R_{\omega f} = 0,45 \cdot 37 = 16,65 \text{ кН/см}^2.$$

Коэффициент условий работы:

$$\gamma_c = 1,0 - \text{п. 5 примечаний табл. 1 [3]}$$

$$\gamma_c = 1,0 - \text{п. 5 примечаний табл. 1 [3].}$$

Длина шва из расчета по металлу шва:

$$l_{\omega}^1 = \frac{0,5 \cdot 432}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 18} = 21,43 \text{ см} \quad l_{\omega}^1 = \frac{0,5 \cdot 432}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 18} = 21,43 \text{ см, где } 0,5 - \text{коэффициент}$$

передачи усилия.

Длина шва из расчета по металлу границы сплавления:

$$l_{\omega}^{11} = \frac{0,5 \cdot 432}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 16,65} = l_{\omega}^{11} = \frac{0,5 \cdot 432}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 16,65} = 16,2 \text{ см.}$$

Минимальная требуемая длина шва:

$$l_{\omega}^{\min} = l_{\omega}^{11} = l_{\omega}^{\min} = l_{\omega}^{11} = 16,2 \text{ см.}$$

Проверка требуемой длины шва:

$$l_{\omega}^{\max} = 85 \beta_f k_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 47,6 \text{ см.}$$

$$l_{\omega}^{\max} = 85 \beta_f k_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 47,6 \text{ см.}$$

Проверка удовлетворяется: $16,2 \text{ см} \leq 47,6 \text{ см}$

Требуемый нахлест:

$$a_{\text{тр}} = l_{\omega}^{\min} + 10 \text{ мм} = 16,2 + 1,0 = 17,2 \text{ см.}$$

Вывод. Принимаем нахлест $a = 18 \text{ см} = 18 \text{ см}$, то есть кратно 10 мм.

Практическое задание 3

Тема «Болты и болтовые соединения»

Задание 3

Определите количество высокопрочных болтов, необходимых для соединения трех пластин (рис. 3). Диаметр болтов d __, мм; марка стали болтов 40Х. Сечение средней пластины $b_1 \times t_1$, мм; сечение двух других пластин – $b_2 \times t_2$, мм. Класс стали пластин С__. Болтовое соединение должно быть равнопрочным соединяемым элементам.

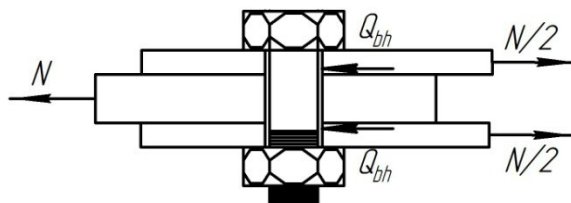


Рис. 3. К вопросу работы болтового соединения

Вариант задания каждый студент принимает по табл. 3.

Таблица 3

Первая буква фамилии, имени, отчества	Диаметр болтов d , мм	Способ обработки соединяемых поверхностей	Сечения пластин		Класс стали пластин
			$b_1 \times t_1$, мм	$b_2 \times t_2$, мм	
А	20	Дробеметный двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	С255
Б	22	Газопламенный двух поверхностей без консервации	140x24	140x10	С245

В	24	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	C245
Г	20	Дробеметный двух поверхностей без консервации	140x20	140x12	C255
Д	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	140x20	140x12	C255
Е	24	Газопламенный двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	C245
Ё	20	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	150x24	150x10	C255
Ж	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	150x24	150x12	C245
З	24	Дробеметный двух поверхностей без консервации	160x20	160x12	C245
И	20	Газопламенный двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	C255
К	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	C255
Л	24	Газопламенный двух поверхностей без консервации	140x24	140x10	C245
М	30	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	C245

Н	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	140x20	140x12	C255
О	24	Газопламенный двух поверхностей без консервации	140x20	140x12	C255
П	30	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	C245
Р	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	150x24	150x12	C255
С	24	Газопламенный двух поверхностей без консервации	150x24	150x12	C245
Т	20	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	160x20	160x12	C245
У	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	120x20	120x12	C255
Ф	24	Газопламенный двух поверхностей без консервации	120x20	120x14	C255
Х	30	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	140x24	140x10	C245
Ц	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	240x20	120x12	C245
Ч	24	Газопламенный двух поверхностей без консервации	280x20	140x12	C255

Ш	24	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	280x20	140x12	C255
Щ	22	Дробеметный двух поверхностей без консервации	240x20	120x12	C245
Э	24	Газопламенный двух поверхностей без консервации	150x24	150x10	C255
Ю	30	Стальными щетками двух поверхностей без консервации	300x24	150x12	C255
Я	20	Дробеметный двух поверхностей без консервации	320x20	160x18	C245

Выбор конкретного варианта производится следующим образом:

- диаметр и марка стали болтов – по первой букве фамилии;
- способ обработки соединяемых поверхностей – по первой букве имени;
- сечения и класс стали пластин – по первой букве отчества.

Пример выбора варианта

Студент Алексеев Дмитрий Иванович получит следующие исходные данные:

- диаметр болтов 20 мм (по первой букве фамилии – А);
- способ обработки дробеметный двух поверхностей без консервации (по первой букве имени – Д);
- сечения пластин 240x20 и 120x10 мм; класс стали C255 (по первой букве отчества – И).

Решение

Соединение на высокопрочных болтах – фрикционное. Его несущая способность зависит от марки стали болтов, их диаметра, способа регулирования натяжения болтов, способа обработки соединяемых поверхностей.

В соответствии с [3, формула 192] количество болтов определяется как

$$n \geq N / Q_{bh} k \gamma_b \gamma_c,$$

где N – продольная сила; k – количество поверхностей трения соединяемых элементов; γ_b – коэффициент условий работы фрикционного соединения, зависящий от числа n болтов, необходимых для восприятия усилия [3, п. 14.3.4]; γ_c – коэффициент условий работы конструкции [3, табл. 1]; Q_{bh} – расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения элементов, стянутых одним высокопрочным болтом.

Данное расчетное усилие определяется в соответствии с [3, формула 191] как

$$Q_{bh} = R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu / \gamma_h,$$

где R_{bh} – расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта, определяемое согласно [3, табл. Г.8]; A_{bn} – площадь сечения болта нетто [3, табл. Г.9]; μ – коэффициент трения, принимаемый по [3, табл. 42]; γ_h – коэффициент надежности высокопрочного болта [3, табл. 42].

По условию задания продольное усилие определяется минимальной несущей способностью соединяемых листов, то есть

$$N = N_{min} = \begin{cases} N_1 = b_1 t_1 R_y \gamma_c \\ N_2 = 2 b_2 t_2 R_y \gamma_c \end{cases}.$$

Алгоритм выполнения задания 3:

- определение расчетного сопротивления растяжению высокопрочного болта R_{bh} ;
- определение коэффициента условий работы соединения γ_b ;
- определение коэффициента трения μ ;
- определение коэффициента надежности γ_h ;
- определение площади сечения болта A_{bn} ;
- определение расчетного усилия, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения элементов, стянутых одним высокопрочным болтом Q_{bh} ;

- определение расчетного сопротивления $R_y R_y$;
- определение коэффициента условий работы конструкции $\gamma_c \gamma_c$;
- определение несущей способности 1-й пластины;
- определение несущей способности 2-й пластины;
- определение продольной силы NN ;
- определение количества плоскостей трения $k k$;
- определение требуемого количества болтов $n n$.

Пример выполнения практического задания 3

Задание 3. Определите количество высокопрочных болтов, необходимых для соединения трех пластин (рис. 3). Способ обработки соединяемых поверхностей – дробеметный без консервации. Диаметр болтов $d = 20$ мм; марка стали болтов – 40Х. Разность номинальных диаметров отверстий и болтов $\delta = 1\text{--}4$ мм. Нагрузка статическая. Сечение средней пластины $b_1 \times t_1 = 100 \times 20$ мм; сечение двух других пластин $b_2 \times t_2 = 100 \times 12$ мм. Класс стали пластин С255. Болтовое соединение должно быть равнопрочным соединяемым элементам.

Решение

Расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта:

$$R_{bh} = 75,5 \text{ кН/см}^2 R_{bh} = 75,5 \text{ кН/см}^2.$$

Коэффициент условий работы соединения: $\gamma_b = 0,8$ при $n_b < 5$
 $\gamma_b = 0,8$ при $n_b < 5$.

Коэффициент трения: $\mu = 0,58$

Коэффициент надежности: $\gamma_h = 1,12$

Площадь сечения болта: $A_{bn} = 2,45 \text{ см}^2$

Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения элементов, стянутых одним высокопрочным болтом:

$$Q_{bh} = 75,5 \cdot 0,8 \cdot 2,45 \cdot 0,58 / 1,12 = 76,6 \text{ кН}.$$

Коэффициент условий работы конструкции: $\gamma_c = 1,0$. $\gamma_c = 1,0$.

Несущая способность 1-й пластины:

$$N_1 = 10 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 1,0 = 480 \text{ кН.}$$

Несущая способность 2-й пластины:

$$N_2 = 2 \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 1,0 = 576 \text{ кН.}$$

Продольная сила: $N = N_{min} = 480 \text{ кН.}$ $N = N_{min} = 480 \text{ кН.}$

Количество плоскостей трения: $k = 2,0$. $k = 2,0$.

Требуемое количество болтов: $n \geq 480 / 76,6 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 3,91$.

$$n \geq 480 / 76,6 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 3,91.$$

Вывод: Принимаем 4 высокопрочных болта.

Практическое задание 4

Тема «Балки и балочные конструкции»

Задание 4

Подберитесечение однопролетной шарнирно опертой балки (рис. 4) пролетом $l = \underline{\hspace{1cm}}$ м, при условии ее работы в упругой стадии. Балка имеет равномерно распределенную нормативную нагрузку q_n , кН/м, и расчетную нагрузку q , кН/м; материал – сталь класса С $\underline{\hspace{1cm}}$. Общая устойчивость балки обеспечена.

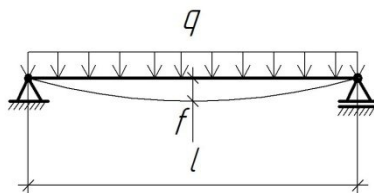


Рис. 4. Расчетная схема балки

Вариант задания каждый студент принимает по табл. 4.

Таблица 4

Первая буква фамилии, имени, отчества	Пролет балки l , м	Нормативная нагрузка q_n , кН/м	Расчетная нагрузка q , кН/м	Класс стали балки
А	5,0	24,7	25,9	С255
Б	5,5	23,3	24,4	С245
В	6,0	26,9	28,0	С245
Г	6,5	23,2	25,1	С255
Д	5,0	24,7	25,8	С255

Е	5,5	24,4	25,6	C245
Ё	6,0	21,5	22,7	C255
Ж	5,5	26,3	27,7	C245
З	4,0	27,6	28,9	C245
И	4,5	28,0	30,2	C255
К	7,5	24,7	25,9	C255
Л	8,2	23,3	24,4	C245
М	5,5	26,9	28,0	C245
Н	6,0	23,2	25,1	C255
О	5,5	24,7	25,8	C255
П	4,0	24,4	25,6	C245
Р	4,5	24,7	25,9	C255
С	7,5	24,7	25,9	C245
Т	8,2	23,3	24,4	C245
У	5,5	26,9	28,0	C255
Ф	6,0	23,2	25,1	C255
Х	5,5	24,7	25,8	C245
Ц	4,0	24,4	25,6	C245
Ч	4,5	21,5	22,7	C255
Ш	7,5	26,3	27,7	C255
Щ	8,2	27,6	28,9	C245
Э	6,5	28,0	30,2	C255
Ю	9,0	24,7	25,9	C255
Я	8,5	23,3	24,4	C245

Выбор конкретного варианта производится следующим образом:

- пролет балки – по первой букве фамилии;
- нормативная и расчетная нагрузки – по первой букве имени;
- класс стали – по первой букве отчества.

Пример выбора варианта

Студент Алексеев Дмитрий Иванович получит следующие исходные данные:

- пролет балки 5 м(по первой букве фамилии – А);
- нормативная и расчетная нагрузки 24,7, 25,8 кН/м (по первой букве имени – Д);
- класс стали C255 (по первой букве отчества – И).

Решение

Балка может потерять несущую способность или быть непригодной к нормальной эксплуатации. По несущей способности упругая работа ограничивается нормальными напряжениями, равными $R_y R_y$, то есть расчетным напряжениям на сжатие, растяжение, изгиб, определенным по σ_T . В соответствии с [3, п. 8.2.1] расчет на прочность балок с гибкой стенкой, изгибаемых в одной из главных плоскостей, следует выполнять по формуле

$$\frac{M}{W_{n,min} R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где M – максимальный изгибающий момент; $W_{n,min}$ – минимальное значение момента сопротивления, нетто.

Отсюда требуемый момент сопротивления определится как

$$W_{n,min}^{TP} = \frac{M}{R_y \gamma_c}.$$

Таким образом, для обеспечения прочности по нормальным напряжениям следует принять двутавр, имеющий момент сопротивления больше требуемого $W \geq W_{n,min}^{TP}$.

Проверка касательных напряжений в прокатных балках при отсутствии ослаблений опорных сечений обычно не требуется, вследствие относительно большой толщины стенок балок.

Принятый двутавр необходимо проверить на пригодность к нормальной эксплуатации (2-я группа предельных состояний – [3, п.13.1]). Это делается путем определения относительного прогиба и сравнения его с предельно допускаемым относительным прогибом.

Относительный прогиб балки определяется от действия нормативной нагрузки. Для случая однопролетной балки и распределенной нагрузки формула относительного прогиба имеет вид:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{q_n l^3}{EI},$$

где q_n – нормативная равномерно распределенная нагрузка; l – пролет балки; E – модуль упругих деформаций; I – момент инерции сечения относительно оси, перпендикулярной плоскости изгиба.

Предельно допускаемый относительный прогиб определяется по табл. Д.1[2].

Алгоритм выполнения задания 4:

- определение максимального расчетного изгибающего момента M_{max} ;
- определение требуемого момента сопротивления из условия работы на изгиб по нормальным напряжениям;
- подбор по сортаменту прокатной стали, ГОСТ 8239-89 [1, табл. П16.3], двутавра с фактическим значением момента сопротивления, большим требуемого значения или равным ему;
- проверка подобранного двутавра на пригодность к нормальной эксплуатации, то есть по жесткости.

Пример выполнения практического задания 4

Задание 4. Подберите сечение однопролетной шарнирно опертой балки пролетом $l = 7,0$ м (рис. 4) при условии ее работы в упругой стадии. Балка имеет равномерно распределенную нормативную нагрузку $q_n = 25$ кН/м расчетную нагрузку $q = 30$ кН/м; материал – сталь класса С245. Общая устойчивость балки обеспечена.

Решение

Максимальный изгибающий расчетный момент M_{max} (рис. 5):

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{30 \cdot 7^2}{8} = 183.75 \text{ кНм.}$$

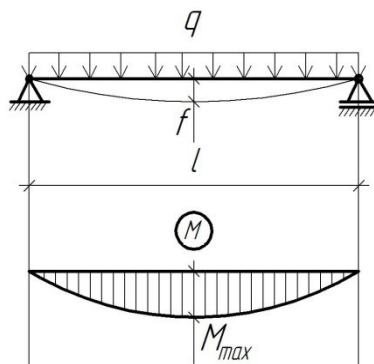


Рис. 5. К вопросу определения максимального момента

Требуемый момент сопротивления:

$$W_x^{\text{тр}} = \frac{M_{\text{max}}}{R_y \gamma_c} = \frac{18375 \text{ кНсм}}{24 \text{ кН/см}^2} = 765,63 \text{ см}^3$$

γ_c – коэффициент условий работы [3, табл. 1]; в рассматриваемом примере $\gamma_c = 1,0$.

По ГОСТ 8239-89 принимаем двутавр I40 (рис. 6), имеющий $W_x = 953 \text{ см}^3$, что больше $W_x^{\text{тр}} = 765,63 \text{ см}^3$. Таким образом, прочность по нормальным напряжениям будет обеспечена.

Для проверки прогиба выписываем момент инерции сечения

$$I_x = 19062 \text{ см}^4$$

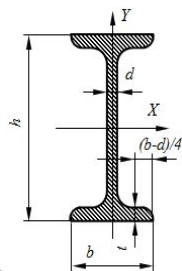


Рис. 6. Обычный двутавр

Проверка жесткости балки

Определяем относительный прогиб от нормативной нагрузки:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{25 \cdot 7^3 \cdot 10^4}{2,1 \cdot 10^4 \cdot 19062} = \frac{1}{358};$$

Предельно допускаемый прогиб определяем интерполяцией для пролета $l = 7 \text{ м}$ (для $l = 6 \text{ м} - 1/200$; $l = 24 \text{ м} - 1/250$):

$$\left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{202} \left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{202}; \quad \frac{1}{358} < \frac{1}{202} \frac{1}{358} < \frac{1}{202}.$$

Вывод. Балка отвечает предъявляемым к ней требованиям по 1-й и 2-й группам предельных состояний.

Практическое задание 5

Тема «Центрально-сжатые колонны»

Задание 5

Определите несущую способность стойки, шарнирно закрепленной по концам (рис. 7). Геометрическая высота стойки $l_0 = \underline{\hspace{1cm}}$ см; сечение – двутавр $\underline{\hspace{1cm}}$; материал – сталь класса С $\underline{\hspace{1cm}}$.

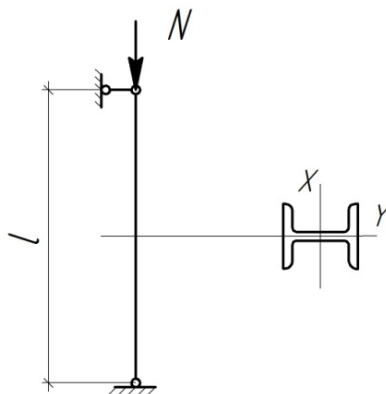


Рис. 7. К расчету стойки

Вариант задания каждый студент принимает по табл. 5.

Таблица 5

Первая буква фамилии, имени, отчества	Высота стойки, см	Сечение стойки	Класс стали стойки
А	700	I 30K1	C255
Б	750	I 35K1	C245
В	950	I 40K3	C245
Г	800	I 40K4	C255
Д	775	I 35K2	C255
Е	750	I 40K3	C245
Ё	970	I 40K1	C255
Ж	800	I 35K2	C245
З	600	I 30K2	C245
И	500	I 26K2	C255
К	700	I 40K1	C255
Л	750	I 35K2	C245
М	950	I 30K2	C245
Н	800	I 26K2	C255
О	775	I 30K1	C255
П	750	I 35K1	C245
Р	970	I 40K3	C255
С	700	I 40K4	C255
Т	750	I 35K2	C245
У	950	I 40K3	C255
Ф	800	I 40K3	C255
Х	775	I 40K1	C245
Ц	750	I 35K2	C245
Ч	970	I 30K2	C255
Ш	800	I 26K2	C255
Щ	600	I 40K1	C245
Э	500	I 35K2	C255
Ю	750	I 30K2	C245
Я	650	I 26K2	C245

Выбор конкретного варианта производится следующим образом:

- высота стойки – по первой букве фамилии;
- сечение стойки – по первой букве имени;
- класс стали – по первой букве отчества.

Пример выбора варианта

Студент Алексеев Дмитрий Иванович получит следующие исходные данные:

- высота стойки 700 см (по первой букве фамилии – А);
- сечение стойки I 35K2 (по первой букве имени – Д);
- класс стали С255 (по первой букве отчества – И).

Решение

В данном случае имеет место гибкий прокатный стержень, работающий на осевое сжатие. Потеря его несущей способности может произойти в результате *потери общей устойчивости по изгибно-крутильной форме*. Закручивание стержня исключается конструктивными мероприятиями, а именно постановкой парных поперечных ребер жесткости в двух сечениях по высоте стержня.

Расчет центрально-сжатых стержней по изгибной форме потери устойчивости в соответствии с [3, п. 7.1.3] производится по формуле (2) [3, формула 7]:

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1 \leq \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (2)$$

где N – осевое усилие; A – площадь поперечного сечения; φ – коэффициент продольного изгиба при центральном сжатии, определяемый по табл. Д.1 [3] в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$ и типа сечения.

Тип сечения определяется по табл. 7 [3].

Отсюда несущая способность рассматриваемого стержня определяется как

$$[N] = \varphi_{min} A R_y \gamma_c [N] = \varphi_{min} A R_y \gamma_c,$$

где φ_{min} – минимальный коэффициент продольного изгиба, определяемый в данном случае в зависимости от условной максимальной гибкости $\bar{\lambda}_{max}$.

Учитывая возможность потери устойчивости (изгиб) в двух плоскостях, гибкость $\lambda_{\max}$ определяется как большее значение из двух величин λ_x и λ_y , где λ_x и λ_y – гибкости стержня соответственно в плоскости перпендикулярной осям X и Y (рис. 2).

Гибкости λ_x и λ_y определяются по формулам:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} \quad \text{и} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y}.$$

где: l_x и l_y – расчетные длины стержня в плоскостях, перпендикулярных соответственно оси X и Y ; i_x и i_y – радиусы инерции сечения относительно осей X и Y .

Условная максимальная гибкость определяется как

$$\bar{\lambda}_{\max} = \lambda_{\max} \sqrt{R_y / E} = \lambda_{\max} \sqrt{R_y / E},$$

где E – модуль упругих деформаций.

В соответствии с табл. 32 [3] максимальная гибкость не должна превышать $\lambda_{\text{пр}} = 180 - 60\alpha$, где $\alpha = N / \varphi A R_y \gamma_c$.

Расчетные длины определяются как $l_x = \mu_x l_0$ и $l_y = \mu_y l_0$, где l_0 – геометрическая длина; μ_x и μ_y – коэффициенты приведения длины геометрической к расчетным длинам соответственно в плоскостях перпендикулярных осям X и Y , определяемые по табл. 30 [3] в зависимости от характера закрепления концов стержня.

Радиусы инерции прокатных профилей i_x и i_y определяются в соответствии с ГОСТ. В данном случае рассматриваем двутавр I40K1:

двутавр с параллельными гранями полок, колонный профиль – ГОСТ26020-83.

Алгоритм выполнения задания5:

- определение геометрических характеристик сечения стойки: радиусов инерции сечения $i_x i_x$ и $i_y i_y$ и площади A ;
- определение расчетных длин стержня $l_x l_x$ и $l_y l_y$;
- определение гибкостей λ_x и λ_y ;
- определение условной максимальной гибкости $\bar{\lambda}_{max} \bar{\lambda}_{max}$ и минимального значения коэффициента продольного изгиба $\varphi_{min} \varphi_{min}$;
- определение несущей способности $[N][N]$.

Пример выполнения практического задания 5

Определите несущую способность стойки, шарнирно закрепленной по концам (рис. 7). Высота стойки $l_0 = 900$ см, сечение – двутавр I40K1, материал – сталь класса С245.

Решение

Геометрические характеристики: $A = 175,8 \text{ см}^2$, $i_x i_x = 17,26 \text{ см}$, $i_y i_y = 10 \text{ см}$.

Расчетные длины: $l_x = l_x = l_y = l_0 = 900 \text{ см}$ $l_y = l_0 = 900 \text{ см}$, так как $\mu_x = \mu_y = 1.0$ $\mu_x = \mu_y = 1.0$.

Гибкости: $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{900}{17,26} = 52.14$ $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{900}{17,26} = 52.14$,
 $\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{900}{10} = 90$ $\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{900}{10} = 90$.

Таким образом, $\lambda_{\max} = \lambda_y = 90$. Условная максимальная гибкость $\bar{\lambda}_{\max} = 90 \sqrt{24/2,1 \cdot 10^4} = 3,04$; тип сечения «b».

Определяем $\varphi_{\min} = 0,639$.

Несущая способность стержня:

$$[N] = \varphi_{\min} A R_y \gamma_c = 0,639 \cdot 175,8 \cdot 24 \cdot 1,0 = 2696 \text{ кН.}$$

$$[N] = \varphi_{\min} A R_y \gamma_c = 0,639 \cdot 175,8 \cdot 24 \cdot 1,0 = 2696 \text{ кН.}$$

Коэффициент условий работы принят $\gamma_c = 1,0$ по табл. 1[3] в соответствии с п. 5 Примечаний.

Производим проверку по гибкости. Определяем предельную гибкость для данного случая:

$$\text{– коэффициент } \alpha = \frac{N}{\varphi_{\min} A R_y \gamma_c} = 1,0; \alpha = \frac{N}{\varphi_{\min} A R_y \gamma_c} = 1,0;$$

$$\text{– } \lambda_{\text{пр}} = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 1,0 = 120$$

$$\lambda_{\text{пр}} = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 1,0 = 120.$$

Максимальная гибкость стойки меньше предельного значения $90 < 120$.

Практическое задание 6

Тема «Стропильные фермы»

Задание 6

Подберите сечение растянутого раскоса R_2 фермы (рис. 8). Раскос скомпонован в тавр из двух прокатных уголков. Расчетное усилие в раскосе $N = +$ __, кН; материал раскоса – сталь класса С__.



Таблица 6

29

Ш		+ 1395	C255
Щ		+1180	C245
Э		+1800	C 245
Ю		+ 1310	C245
Я		+1800	C255

Выбор конкретного варианта производится следующим образом:

- тип уголков – по первой букве фамилии;
- расчетное усилие – по первой букве имени;
- класс стали – по первой букве отчества.

Пример выбора варианта

Студент Алексеев Дмитрий Иванович получит следующие исходные данные:

- равнополочные уголки (по первой букве фамилии – А);
- расчетное усилие + 1250 кН (по первой букве имени – Д);
- класс стали С245 (по первой букве отчества – И).

Решение

Для решения воспользуемся формулой (1)[3, формула 5] расчета на прочность упруго работающих элементов, подверженных центральному растяжению:

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1 \leq \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (1)$$

где N – расчетное усилие; A_n – площадь поперечного сечения, нетто (при наличии ослабления); R_y – расчетное сопротивление стали на сжатие, растяжение, изгиб, определенное по пределу текучести; γ_c – коэффициент условий работы.

Расчетное сопротивление R_y определяем по табл. В.5 [3] в зависимости от класса стали, формы и толщины проката; коэффициент условий работы γ_c – по табл. 1 [3].

Таким образом, требуемая площадь центрально растянутого элемента определяется как

$$A_{тр} = \frac{N}{R_y \gamma_c} A_{тр} = \frac{N}{R_y \gamma_c}.$$

По ГОСТ подбираем два уголка с площадью сечения, большей требуемой. Допускаемое недонапряжение – 5%. Сокращенные сортаменты равнополочных (ГОСТ 8509-93) и неравнополочных (ГОСТ 8510-86) уголков приведены соответственно в табл. П16.1 и П16.2 [1].

Алгоритм выполнения задания 6:

- определение расчетного сопротивления;
- определение коэффициента условий работы;
- определение требуемой площади сечения;
- подбор по ГОСТ 2 уголков с площадью сечения A , большей $A_{тр}$;
- проверка уровня недонапряжения подобранного сечения.

Пример выполнения практического задания 6

Подберите сечение растянутого раскоса P_2 фермы (рис. 8). Раскос скомпонован в тавр из двух прокатных равнополочных уголков. Расчетное усилие в раскосе $N = +1250 \text{ кН}$; материал раскоса – сталь класса С245.

Решение

Расчетное сопротивление $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$: для фасонного проката толщиной от 4 до 20 мм из стали класса С245.

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1,0$.

Требуемая площадь сечения $A_{тр} = \frac{1250}{24 \cdot 1,0} = 52,08 \text{ см}^2$

$$A_{тр} = \frac{1250}{24 \cdot 1,0} = 52,08 \text{ см}^2.$$

Принимаем по ГОСТ 8509-93 горячекатаные равнополочные уголки 2L 140x10 с площадью сечения $A = 27,3 \cdot 2 = 54,6 \text{ см}^2$, что больше

$$A_{тр} = 52,08 \text{ см}^2$$

Недонапряжение составляет $\frac{54,6 - 52,08}{54,6} \cdot 100\% = 4,62\%$

$$\frac{54,6 - 52,08}{54,6} \cdot 100\% = 4,62\%, \text{ что меньше допускаемых } 5\%.$$

Список используемой литературы

1. Металлические конструкции: учебник для студентов высшего профессионального образования / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др. ; под ред. Ю.И. Кудишина. – 13 издание, исправленное. – Москва: Академия, 2011. – 688 с. – (Сер. Бакалавриат). – Текст: непосредственный.

2. СП20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*: дата введения 2017-06-04. – Москва : ГУП ЦПП, 2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (дата обращения 24.02.2021). – Текст: электронный.

3. СП16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* : дата введения 2017-08-28. – Москва : ГУП ЦПП, 2017. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456069588> (дата обращения 24.02.2021). – Текст: электронный.