

**Областное государственное автономное
профессиональное образовательное учреждение
“Алексеевский агротехнический техникум”**

**Методические указания для студентов
по проведению практических работ
для специальности
22.02.06 «Сварочное производство»**

МДК 02.01 «Основы расчета и проектирования сварных конструкций»

2023г

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ СД-01	4
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1	5
Задача 1.1	5
Задача 1.2	7
Задача 1.3	8
Задача 1.4	11
Задача 1.5	15
Задача 1.6	17
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2	22
Задача № 2.1	22
ПРАКТИЧЕСКАЯ № 3	29
Задача 3.1.	29
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4	35
Задача 4.1.	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	39

Общие указания по проведению практических работ по МДК 02.01 «Основы расчета и проектирования сварных конструкций»

Главной целью проведения практических работ является закрепление теоретических знаний получаемых студентами на лекционных занятиях и при выполнении домашних заданий. На практических занятиях необходимо научить студентов решению типовых задач по расчету и проектированию сварных конструкций.

Эта цель может быть достигнута только при выполнении следующих условий:

- каждое практическое занятие должно быть тщательно подготовлено;
- проводимое занятие должно соответствовать теоретической подготовке студентов, которые должны быть заранее осведомлены о цели практического занятия, требуемых результатах и форме отчетности о выполнении практической работы;
- практические занятия проводятся в обычном кабинете. Студенты должны иметь калькуляторы для вычислений и должны быть обеспечены Приложениями для практического занятия;
- прежде чем дать задачу для решения студентами самостоятельно, преподаватель должен подробно объяснить как решаются типовые задачи по данной теме, ответить на вопросы студентов;
- после проведения практического занятия студенты должны сдать отчеты.

Отчеты должны предоставляться преподавателю каждым студентом в печатном виде на формате А4, шрифт 14 интервал 1,5 и содержать:

- условие задачи со своими данными по варианту;
- чертеж или рисунок к данной задаче;
- решение задачи;
- вывод;
- ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №1

Тема: Расчет стыковых, угловых соединений на растяжение, сжатие, срез, изгиб.

Цель: Научиться рассчитывать стыковые и угловые сварные соединения на растяжение, сжатие, срез, изгиб.

Задание: Решить задачи по вариантам. Сделать вывод по условию задачи. Ответить на контрольные вопросы. Написать отчет.

Задача 1.1

Определить продольную силу N , которую может выдержать тяга. Размер поперечного сечения тяги $b \times s$, мм. Материал – сталь. Сварка двусторонняя ручная дуговая с полным проваром, контроль качества сварки – визуальный.

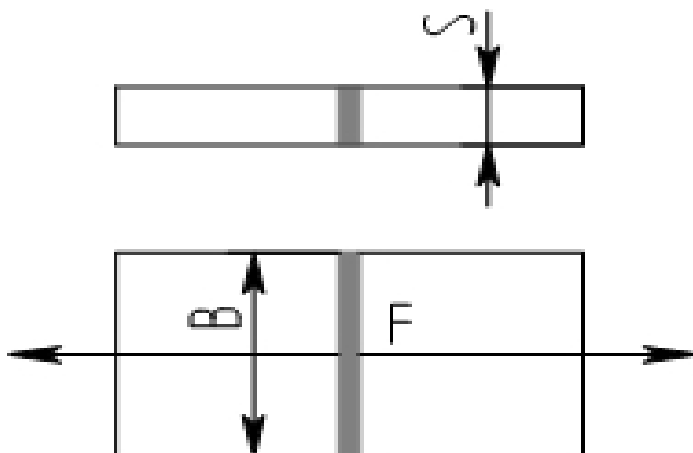


Рисунок 1 – Стыковой сварочный шов

Таблица 1 - Варианты заданий для задач 1.1 и 1.2

Вариант	Марка стали	Толщина S, мм	Ширина b, мм	Момент Кнм
1	ВСт3кп2	10	300	24
2	ВСт3пс6	12	200	20
3	ВСт3сп5	20	150	32
4	09Г2	20	100	30
5	09Г2	25	120	16
6	09Г2С	8	200	35
7	09Г2С	12	150	18
8	09Г2С	24	100	36
9	16Г2АФ	22	150	22
10	16Г2АФ	40	200	40
11	ВСт3кп2-1	15	200	12
12	ВСт3пс6-1	18	100	25
13	ВСт3сп5-2	12	150	30
14	ВСт3сп5-1	16	120	34
15	ВСт3пс6-2	14	140	50
16	09Г2	25	120	16
17	09Г2С	8	200	35
18	09Г2С	12	150	18
19	ВСт3пс6	12	200	20
20	ВСт3сп5	20	150	32

Методические указания по решению задачи №1.1

1. Определить расчетные сопротивления стали и сварного соединения, используя данные Приложения Д.

Для листовой стали заданной марки _____; толщиной – S; расчетное сопротивление $R_y = \text{___ МПа}$; для сварного стыкового соединения $R_{wy} = \text{___ МПа}$; Для определения расчетного сопротивления используем Приложение Д.

2. Расчетную длину сварного шва L_w , мм, определяют по формуле
$$L_w = b - s$$

3. Продольную силу N, кН, определяют по формуле

$$\text{EMBED Equation.3 } \sigma_w = \frac{N}{S \min L_w} < R_{wy} \gamma_c$$

$$N = R_{wy} \cdot \gamma_c \cdot S \min L_w ,$$

где γ_c - коэффициент надежности по назначению (найти из Приложения А)

S_{\min} – толщина наиболее тонкого из соединяемых элементов.

Задача 1.2

На стыковое соединение листов, с разметками поперечного сечения $b \times s$, мм действует момент – M, кНм. Материал- сталь. Сварка механизированная в углекислом газе, контроль качества сварки – рентгеновский. Произвести проверочный расчет соединения.

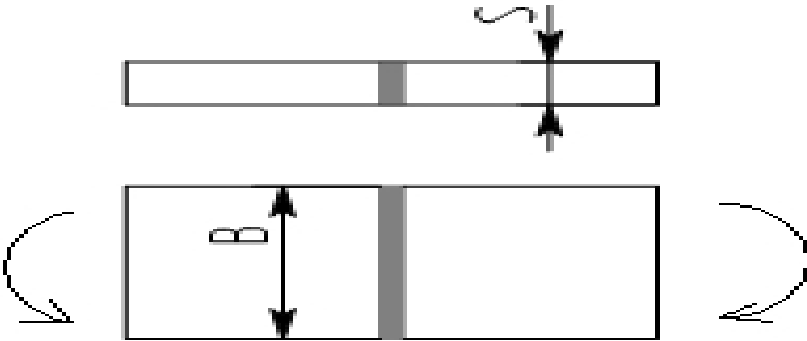


Рисунок 2 – Действие момента на стыковое соединение

Методические указания для решения задачи 1.2:

Для листовой стали заданной марки используя Приложение Д, определяют расчетное сопротивление растяжению на изгиб R_y МПа, при заданных условиях расчетное сопротивление для сварного соединения R_{wy} МПа.

Коэффициент условий работы γ_c определяют из Приложения А.

Расчетную длину шва L_w , мм, определяют по формуле

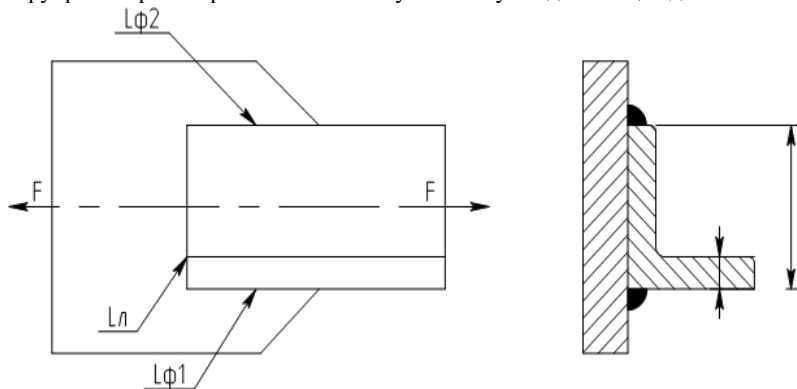
$$L_w = b - s$$

Нормальное напряжение σ , МПа, определяют по формуле

$$\sigma = \frac{6 M}{S_{\min} \cdot L_w^2} W R_{wy} \cdot \gamma_c$$

Задача 1.3

Расчитать сварное соединение уголка с косынкой при действии силы F по данным таблицы. Соединение следует сконструировать равнопрочным основному элементу. Недостающие данные



принять самостоятельно.

Рисунок 3 – Уголок, приваренный к косынке

Таблица 2 - Варианты заданий для задачи 1.3

Вариант	Материал уголка	Тип электрода	Нагрузка, F кН	Способ сварки
1	16ГС	Э42	110	Ручная
2	Ст4кп	Э42А	105	Автоматическая
3	09Г2С	Э46	100	Механизированная
4	Ст3кп	Э46А	95	Ручная
5	Ст3пс	Э50	90	Автоматическая

6	14Г2	Э50А	85	Механизированная
7	Ст2пс	Э42	80	Ручная
8	Ст3сп	Э42А	75	Автоматическая
9	Ст3кп	Э50	70	Механизированная
10	Ст3пс	Э50А	65	ручная
11	09Г2	Э42	100	Автоматическая
12	14Г2	Э46А	110	Механизированная
13	Ст3кп	Э46	115	Ручная
14	Ст3пс	Э42А	90	Автоматическая
15	Ст3сп	Э42	95	механизированная

Алгоритм решения задачи № 1.3.

1. Необходимую площадь поперечного сечения равнополочного уголка. A , мм², определяют по формуле

$$A = \frac{F}{[\sigma]p},$$

где $[\sigma]p$ - допустимое напряжение для материала уголка,

$$[\sigma]p = \frac{\sigma_T}{[n]},$$

где $[n]$ – коэффициент запаса прочности равен 1,4...1,6

σ_T - предел текучести

2. По ГОСТ 8509-72 – выбирают форму уголка по площади сечения. Приложение В

3. Усилие, воспринимаемое любым швом F_n , кН, определяют по формуле

$$F_n = [\tau'] \times \beta \times K_l \times L_l$$

где $[\tau']$ - допускаемое напряжение на срез материала шва

β - коэффициент зависящий от способа сварки;

K_l - катет лобового шва, мм;

L_l - длина лобового шва, мм.

Принимают β равным:

$\beta = 0.7$ для ручной сварки,
 $\beta = 0.8$ для механизированной сварки
 $\beta = 0.9$ для автоматической сварки

Принимают K_l равным толщине полки уголка
 $K_l = d$

Принимают L л равной ширине полки уголка b .

4. Усилие F_{ϕ} , кН, передаваемое фланговыми швами, определяют по формуле

$$F_{\phi} = F - F_l$$

5. Усилие $F_{\phi 1}$, кН, передаваемое швом – 1 определяют по формуле

$$F_{\phi 1} = 0,7 \times F_{\phi}$$

Катет шва K_{ϕ} принимают равной толщине полки уголка по ГОСТ 8509-72.

Требуемую длину шва $L_{\phi 1}$, мм, определяют по формуле

$$L_{\phi 1} = \frac{F_{\phi 1}}{[\tau'] \times \beta \times K_{\phi}}$$

где $[\tau']$ - допускаемое напряжение на срез материала шва

$$[\tau'] = (0,5 \div 0,6) \cdot [\sigma_p]$$

6. Усилие $F_{\phi 2}$, мм, передаваемое швом 2, определяют по формуле

$$F_{\phi 2} = 0,3 F_{\phi}$$

7. Длину шва $L_{\phi 2}$, мм, определяют по формуле

$$L_{\phi 2} = \frac{F_{\phi 2}}{[\tau'] \times \beta \times K_{\phi}}$$

Задача 1.4

Определить требуемые длины фланговых швов для крепления двух тяг из равнобокого углового профиля с косынкой при действии силы F . Соединение следует сконструировать равнопрочным основному элементу. Недостающие данные принять самостоятельно.

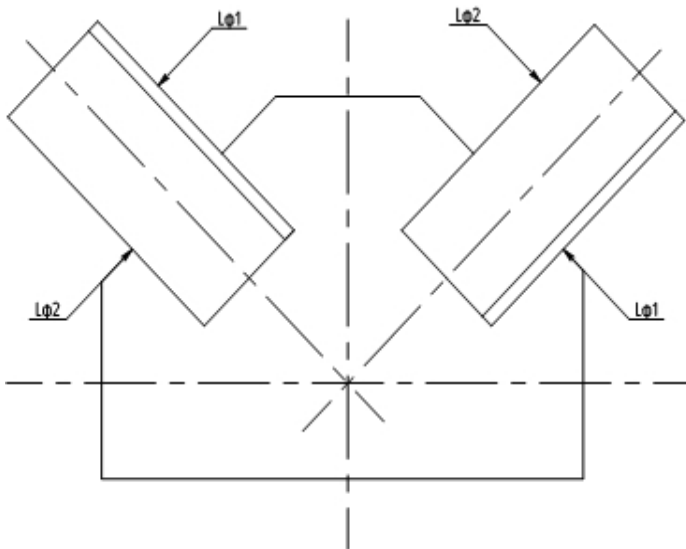


Рисунок 4 – Крепление двух уголков к косынке

Таблица 3 - Варианты заданий для задачи 1.4

Вариант	Материал	Нагрузка F, кН	Способ сварки
1	09Г2	500	Автоматическая
2	14Г2	400	Механизированная
3	09Г2С	300	Ручная
4	ВСт5пс	250	Автоматическая
5	ВСт5сп	200	Механизированная
6	ВСт4пс	150	Ручная
7	ВСт4сп	100	Автоматическая
8	ВСт2сп	90	Механизированная
9	ВСт2пс	80	Ручная
10	ВСт3кп	100	Автоматическая

Продолжение таблицы 3

11	ВСт3сп	120	Механизированная
12	09Г2	150	Ручная

13	09Г2С	350	Автоматическая
14	14Г2	280	Механизированная
15	ВСт5сп	180	Ручная

Алгоритм решения задачи 1.4.

1. Определить усилия в каждой тяге N, для этого необходимо составить уравнение проекций всех сил на вертикальную ось OY.

$$Y = 0$$

2. Для заданного материала уголка определить допускаемое напряжение.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[k]},$$

где σ_T - предел текучести

$[k]$ - требуемый коэффициент запаса прочности

$$[k] = 1.3 \dots 1.5$$

3. Необходимую площадь поперечного сечения уголка A, см², определяют по формуле

$$A = \frac{F}{[\sigma] \rho}$$

Номер уголка принимают по ГОСТ 8509-72. Смотри Приложение В.

4. Допускаемое напряжение на срез материала шва $[\tau']$ определяют по формуле

$$[\tau'] = (0.5 - 0.6) \cdot [\sigma] \rho$$

5. Практикуют лобовой шов с катетом K_L равным толщине полки уголка.

Усилие F_L , кН, воспринимаемое лобовым швом, определяют по формуле

$$F_L = [\tau] \beta \times K_L \times L_L$$

6. Усилие F_ϕ , кН, передаваемое фланговыми швами, определяют по формуле

$$F_\phi = N - F_L$$

7. Усилие $F_{\phi 1}$, кН, передаваемое швом -1, определяют по формуле

$$F_{\phi 1} = 0,7 \times F_{\phi}$$

Принимают катет шва $K_{\phi} = (K_{\text{л}} + 2 \dots 3 \text{мм})$.

Требуемую длину шва $L_{\phi 1}$, мм, определяют по формуле

$$L_{\phi 1} = \frac{F_{\phi 1}}{[\tau] \times \beta \times K_{\phi}}$$

8. Усилие $F_{\phi 2}$, кН, передаваемое швом 2, определяют по формуле

$$F_{\phi 2} = 0,3 F_{\phi}$$

Длину шва $L_{\phi 2}$, мм, определяют по формуле

$$L_{\phi 2} = \frac{F_{\phi 2}}{[\tau'] \times \beta \times K_{\phi}}$$

Задача 1.5

Стержень, выполненный из двух швеллеров, приваренных к косынке комбинированным швом. Определить длину фланговых швов, обеспечивающих равнопрочность стержня со швами.

Допускаемое напряжение для материала швеллера $[\sigma]_{\text{ш}} = 160 \text{МПа}$, для сварных швов $[\tau] = 100 \text{МПа}$

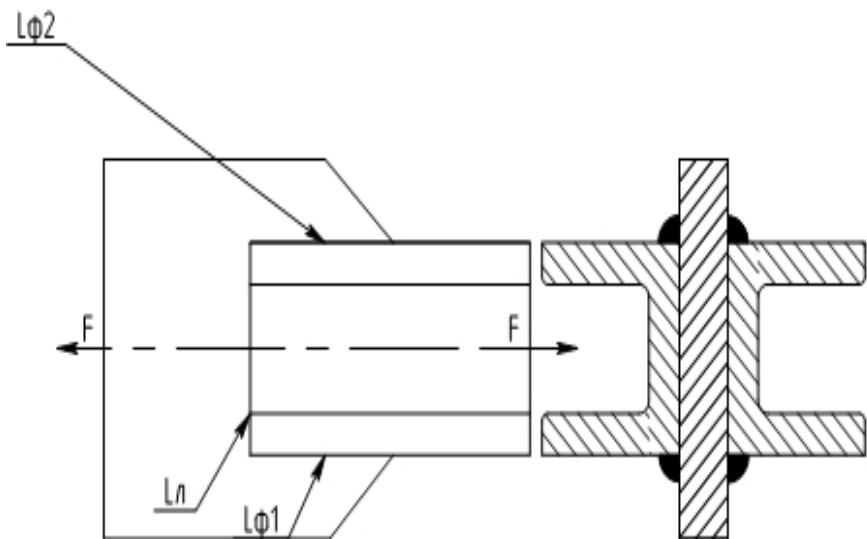


Рисунок 5 – Стержень из двух швеллеров, приваренный к косынке

Таблица 4 - Варианты заданий для задачи 1.5

№	№ швеллера	Тип электрода	Способ сварки
1	12	Э42	Автоматическая
2	14	Э42А	Механизированная
3	16	Э46	Ручная
4	18	Э46А	Автоматическая
5	18а	Э50	механизированная
6	20	Э50А	Ручная
7	20а	Э42	Автоматическая
8	22	Э42А	Механизированная
9	22а	Э46	Ручная
10	24	Э46А	Автоматическая

Алгоритм решения задачи 1.5

1. Допускаемое растягивающее усилие F , кН, передаваемое на косынку, определяют по формуле

$$F = [\sigma] p \times A ,$$

где A - площадь равна двум площадям швеллера, мм^2 .

Площадь швеллера определяют по таблице. Смотри Приложение Е.

2. Проектируют лобовой шов с катетом K_l равный толщине стенке швеллера.

3. Усилие F_l , кН, передаваемое на лобовой шов, определяют по формуле

$$F_l = 2 \times [\tau'] \times \beta \times K_l \times L_l ,$$

где L_l - длина лобового шва, мм.

Принимают L_l равной высоте швеллера h .

4. Остальная часть усилия.

Усилия F_ϕ , кН, передаваемые на фланговые швы, определяют по формуле

$$F_\phi = F - F_l$$

Принимают катет фланговых швов $K_\phi = K_l + (2 \dots 3) \text{ мм}$

5. Требуемую длину фланговых швов L_ϕ определяют по формуле

$$L_\phi = \frac{F_\phi}{\beta \times K_\phi \times [\tau]}$$

6. Длину одного флангового шва $L_{\phi 1}$, мм, определяют по формуле

$$L_{\phi 1} = \frac{L_\phi}{4}$$

7. Принимают $L_{\phi 1} = \text{EMBED Equation.3}$ $L_{\phi 1} = \text{_____}$ (округляем до целого числа)

Задача 1.6

Рассчитать соединение, выполненное точечной сваркой, находящееся под действием силы F по данным таблицы.

Допускаемое напряжение на срез сварной точки - $[\tau_0^+] = 90$ МПа.

Произвести расстановку точек с учетом t_1, t_2, t_3 .

Таблица 5 – Варианты заданий к задаче 1.6

вариант	№ швеллера	Нагрузка F, кН	вариант	№ швеллера	Нагрузка F, кН
1	5	70	16	24	300
2	6,5	80	17	24a	350
3	8	90	18	27	400
4	10	100	19	30	450
5	12	150	20	33	460
6	14	160	21	36	450
7	14a	180	22	40	500
8	16	150	23	16	160
9	16a	200	24	16a	180
10	18	170	25	18	280
11	18a	180	26	18a	250
12	20	200	27	20	220
13	20a	210	28	20a	230
14	22	400	29	22	320
15	22a	350	30	22a	350

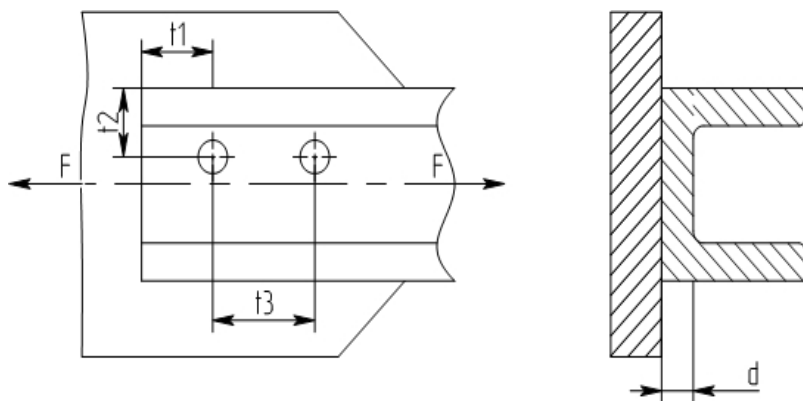


Рисунок 6 – Швеллер, приваренный к косынке точечной сваркой

Алгоритм решения задачи №1.6

При заданной конструкции сварные точки будут работать как односрезные.

1. Диаметр точки d , мм определяют по формулам:

$$\begin{aligned} d &= 1.5 S + 5 && \text{при } S \geq 3 \text{ мм} \\ d &= 1.2 S + 4 && \text{при } S = 1.5 \dots 3 \text{ мм} \end{aligned}$$

где S - толщина свариваемого металла (толщина стенки швеллера), мм

2. Допускаемое усилие на одну точку F_1 , кН, определяют по формуле

$$F_1 = [\tau'_0] \times \frac{\pi d^2}{4},$$

где $[\tau'_0]$ - допускаемое напряжение на срез сварной точки.

$$[\tau'_0] = 0.4[\sigma]$$

3. Необходимое число точек, n , определяют по формуле

$$n = \frac{F}{F_1}$$

4. Учитывая диаметр и число точек, а также размеры швеллера выбирают наиболее рациональное число рядов расположения точек.

Шаг точек t определяют по формуле

$$t_3 = 3 \times d$$

Расстояние t_1 , мм, от центра точки до края швеллера в направлении действия силы, определяют по формуле

$$t_1 = 2 \times d$$

Расстояние t_2 , мм, от центра точки до кромки (обушка) швеллера

$$t_2 = 1.5 \times d$$

Некоторое уменьшение размера по сравнению с расчетным не имеет существенного значения, так как дополнительную прочность и жесткость конструкции придадут полки швеллера.

Произвести расстановку точек, как показано на рисунке, с учетом размеров t_3 , t_1 , t_2 .

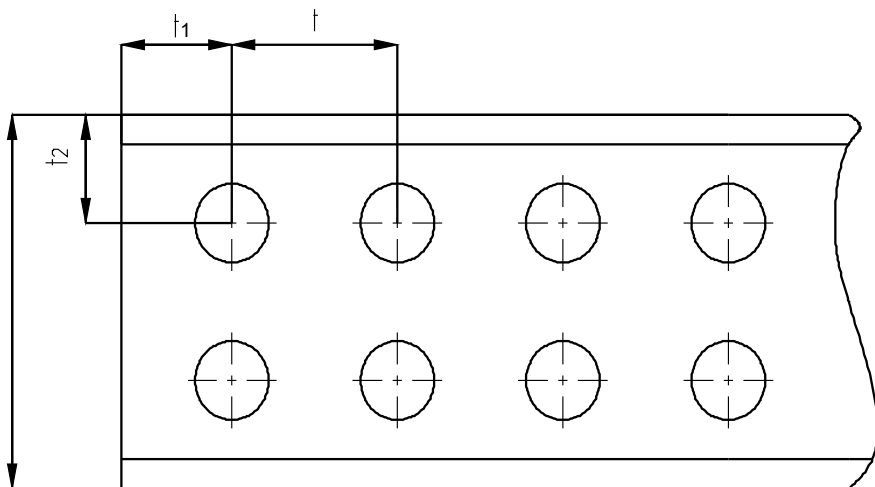


Рисунок 7 – Расстановка сварочных точек

Контрольные вопросы

1. Принцип расчета сварных соединений по предельным состояниям.
2. Принцип расчета по допускаемым напряжениям.
3. Какие швы называют рабочими и связующими?
4. Какие швы называют лобовыми?
5. какие швы называют фланговыми?
6. Принципы расчета угловых швов.
7. Принципы расчета сварных стыковых соединений.

Практическая работа № 2

Тема: Подбор сечения двутавровой балки

Цель: Научиться подбирать сечение сварной двутавровой балки.

Задание: Изучить материал по расчету балок. Решить задачу № 2.1.

Сделать вывод по условию задачи. Ответить на контрольные вопросы. Написать отчет.

Прежде чем приступить к решению задачи, необходимо повторить материалы лекций по расчету сварных балок и повторить материал по учебнику Г.А.Николаев, В.А.Винокуров. Сварные конструкции. Расчет и проектирование. «Высшая школа» 1990г.; Стр. 273-278.

Задача № 2.1

Подобрать сечение главной балки рабочей площадки. Ширина ячейки площадки – a , длина ее – L . На рабочую площадку действует равномерно распределенная нагрузка q_2 .

Настил площадки состоит из прокатных двутавров с шагом t , с уложенным по ним листом толщиной S . Балки настила опираются на главные балки.

Варианты для студентов даны после методических указаний.

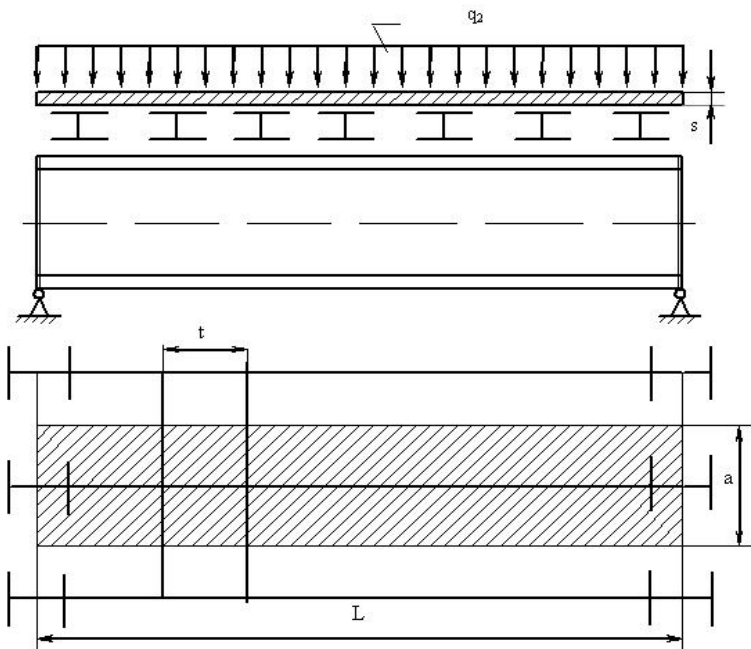


Рисунок 8 - Чертеж к задаче 2.1

Методические указания по решению задачи 2.1

1. Нормативную погонную нагрузку на балку q_H , МПа, определяют по формуле

$$q_H = q_2 + q_1' + q_1,$$

где q_1 – нагрузка от собственной массы балок настила;

q_1' – нагрузка от настила, кН/м.

Нагрузку балок настила q_1 , МПа, определяют по формуле

$$q_1 = \frac{G}{t} \times a,$$

где G – вес 1 пог. м. балки,

$$q_1 = \gamma \times S \times a,$$

где γ – удельный вес материала настила.

Принимают для стали $\gamma = 70,5 \text{ кН} / \text{м}^3$

2. Расчетную погонную нагрузку q_p , кН/м, определяют по формуле

$$q_p = [\Pi_1 \times (q_1 + q'_1) + \Pi_2 \times q_2],$$

где Π_1 - коэффициент нагрузки для постоянной нагрузки;

Π_2 - коэффициент нагрузки для временной нагрузки.

Принимают $\Pi_1=1.1$ и $\Pi_2=1.2$.

3. Составить расчетную схему балки, построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил от расчетной нагрузки

4. Высоту балки $h_{ж}$, мм, с учетом требований жесткости и прочности определяют по формуле

$$h_{ж} = \frac{5 \times [\sigma]_p \times l^2}{24 E \times f}$$

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{[n]};$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ МПа}$$

5. Высоту балки h_H , мм, из условия ее наименьшей массы определяют по формуле

$$h_H = \left(1.3 \div 1.4 \sqrt{\frac{M_u}{S_v \times [\sigma]_p}} \right),$$

где M_u - изгибающий момент, ;

S_v – толщина вертикального листа.

Принимают $S_v = 5 \div 6 \text{ мм}$

$$S_v = \sqrt{\frac{h_{ж}}{12.5}}$$

Для дальнейшего расчета принять большее из двух полученных значений ($h_{ж}$, h_H)

Принимаем высоту балки – h .

Высоту вертикального листа h_v , мм, определяют по формуле

$$h_B = h - 2S_r,$$

где S_r – толщина горизонтального листа, мм.

Принимают $S_r = S_v + (2 \dots 5) \text{ мм}$.

6. Расчет сечения пояса балки

Требуемый момент сопротивления сечения балки $W_{тр}$, см^3 , определяют по формуле

$$W_{mp} = \frac{Mu}{[\sigma]p}$$

Требуемый момент инерции поперечного сечения сварной балки I_{mp} , $см^4$, определяют по формуле

$$I_{mp} = W_{TP} \times \frac{h}{2}$$

Осевой момент инерции вертикального листа I_{XB} , $см^4$, определяют по формуле

$$I_{XB} = S_B \times \frac{h_B^3}{12}$$

Момент инерции горизонтальных поясов $I_{XГ}$ определяют по формуле

$$I_{XГ} = I_{mp} - I_{XB}$$

$$I_{XГ} = 2A_r \times \left(\frac{h_1}{2}\right)^2,$$

где $\left(\frac{h_1}{2}\right)$ - расстояние от центра тяжести пояса, до центра тяжести сечения балки.

$$\frac{h_1}{2} = \frac{h_B + S_r}{2}$$

$$A_r = \frac{I_{XГ}}{2 \left(\frac{h_1}{2}\right)^2}$$

$$A_r = S_r \cdot b$$

где b - ширина горизонтального пояса, мм.

$$b = \frac{A_r}{S_r}$$

7. Начертить эскиз подобранного сечения с указанием основных размеров.

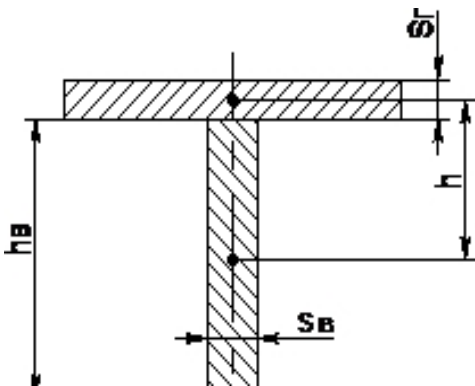


Рисунок 9 – Эскиз подобранного сечения

	Наименование параметров	Условные обозначения	Варианты	
			1	2
1	Длина ячейки рабочей площади	a (м)	6	7
2	Длина балки	L (м)	14	12
3	Активная (временная нагрузка)	$q_2 \frac{(кН)}{м}$	80	60
4	Номер двутавра настила площадки		30	27
5	Шаг установки двутаврового настила	t (см)	100	80
6	Толщина настила (листа)	S(мм)	10	8
7	Материал главной балки		09Г2С	09Г2
8	Наибольший прогиб балки	f	1/500L	1/600L

Для студентов, у которых по журналу четные номера, решают второй вариант, у кого нечетные номера, решают первый вариант.

Таблица 6 - Варианты заданий к задаче 2.1.

Контрольные вопросы

1. Что такое сварная балка?
2. Назовите два способа определения высоты балки.
3. Как найти высоту вертикального листа балки?
4. Как найти ширину горизонтального пояса балки?

Практическая № 3

Тема: Подбор поперечного сечения стойки.

Цель: Научиться подбирать сечение стойки методом последовательного приближения.

Задание: Решить задачу. Сделать вывод. Написать отчет.

Ответить на контрольные вопросы.

Задача 3.1.

Подобрать сечение стойки. Её длина L , продольная сжимающая сила F . Материал- сталь.

Методические указания для решения задачи 3.1.

1. Допускаемое напряжение для заданного материала стойки $[\sigma]$, МПа, определяют по формуле

$$[\sigma] = \frac{\sigma_r}{[n]},$$

где σ_r - предел текучести заданного материала стойки, МПа;

$[n]$ – требуемый коэффициент запаса прочности.

Принимают $[n] = 1,3 \div 1,5$

2. Задаются коэффициентом продольного изгиба – φ .

Принимают $\varphi = 0,5 \div 0,6$

3. Требуемую площадь поперечного сечения стойки A , мм², определяют по формуле

$$\text{EMBED Equation.3} \quad A = \frac{F}{[\sigma] \times \varphi}$$

4. Задают размеры проектируемого сечения

S_B – толщина вертикального листа

h_B – высота вертикального листа

S_r – толщина горизонтального пояса

b - ширина горизонтального пояса

Площадь A_2 , мм², рассчитывают по формуле.

$$A_2 = S_B \times h_B + 2S_r \times b$$

5. Осевой момент инерции I_x , см⁴, относительно оси OX рассчитывают по формуле

$$I_x = \frac{S_B \cdot h_B^3}{12} + 2 \frac{S_r^3 \cdot b}{12} + b \cdot S_r \cdot \frac{h_1}{2}$$
$$\frac{h_1}{2} = \frac{h_B + S_r}{2}$$

6. Осевой момент инерции I_y , см⁴, относительно оси OY рассчитывают по формуле

$$I_y = \frac{h_6 \cdot S_6^3}{12} + 2 \frac{S_r \cdot e^3}{12}$$

7. Для дальнейших расчетов принимается меньшее значение момента инерции.

8. Радиус инерции r_{min} рассчитывают через меньшее значение момента инерции. Радиус инерции r_{min} рассчитывают по формуле

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A_2}}$$

9. Гибкость стержня λ определяют по формуле

$$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{r_{min}}$$

где μ - коэффициент зависящий от способа крепления концов стержня.

10. По таблице находят уточненное значение коэффициента ϕ_1 , смотри Приложение Г.

11. Подсчитаем напряжение:

$$\sigma = \frac{F}{A_2 \cdot \phi_1} \leq [\sigma_p]$$

Расчетное напряжение σ должно быть близким к $[\sigma]$.

Допустимые отклонения в пределах $\pm 5\%$. В противном случае размеры поперечных сечений элементов изменяют в требуемом направлении.

Таблица 7 - Варианты заданий к задаче № 3.1

Вариант	Сила F (кН)	Длина стойки L (м)	Материал
1	-100	2,8	ВСт2пс
2	-120	2,6	ВСт2пс
3	-150	2,0	ВСт2пс
4	-200	2,3	ВСт2пс
5	-250	1,8	ВСт2пс
6	-300	2,2	ВСт2пс
7	-130	2,1	ВСт2пс
8	-160	2,4	09Г2

9	-180	2,6	09Г2
10	-170	2,5	09Г2
11	-200	2,3	09Г2
12	-210	2,4	09Г2
13	-220	2,6	09Г2
14	-230	2,3	09Г2
15	-240	2,5	09Г2

Продолжение таблицы 7

16	-250	2,8	09Г2
17	-260	3,1	09Г2С
18	-270	3,2	09Г2С
19	-300	3,3	09Г2С
20	-310	4,2	ВСт3пс
21	-320	4,3	ВСт3пс
22	-330	4,5	ВСт3пс
23	-340	4,6	ВСт3пс
24	-350	4,8	ВСт3пс
25	-360	5,0	10Г2С1
26	-380	5,2	10Г2С1
27	-400	5,3	10Г2С1
28	-150	2,7	10Г2С1
29	-160	2,8	10Г2С1
30	-170	2,9	10Г2С1

Схемы крепления стоек указаны на рисунках 10-13.

Для вариантов с 1 по 7.

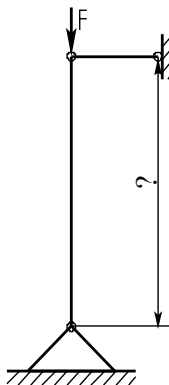


Рисунок 10 - Схема крепления стойки

Для вариантов с 8 по 15.

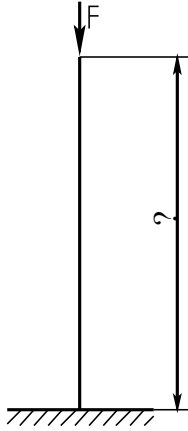


Рисунок 11 - Схема крепления стойки

Для вариантов с 16 по 23.

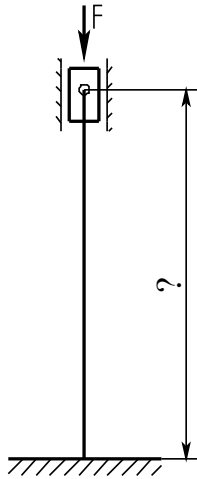


Рисунок 12 - Схема крепления стойки

Для остальных вариантов.

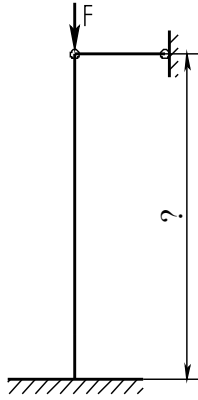


Рисунок 13 - Схема крепления стойки

Контрольные вопросы

1. Какие элементы конструкции называют стойками?
2. Какие типы сечений применяются для стоек при небольших и больших усилиях?
3. Что называется гибкостью стойки? Как она обозначается и какую имеет размерность?
4. Какие допускаемые напряжения применяются при расчете стоек? Что такое коэффициент φ ? Зависит ли коэффициент φ от марки металла, гибкости?
5. Как подбирают сечение в сжатой стойке при заданном усилии и допускаемом напряжении?
6. В чем состоит способ последовательного приближения подбора сечения в сжатых стойках?

Практическая работа № 4

Тема: Сварные фермы.

Цель: Научиться рассчитывать узлы ферм. Научиться подбирать сечение стержней ферм.

Задание: Решить задачу. Сделать вывод. Написать отчет.

Задача 4.1.

Разработать конструкцию заданного узла фермы

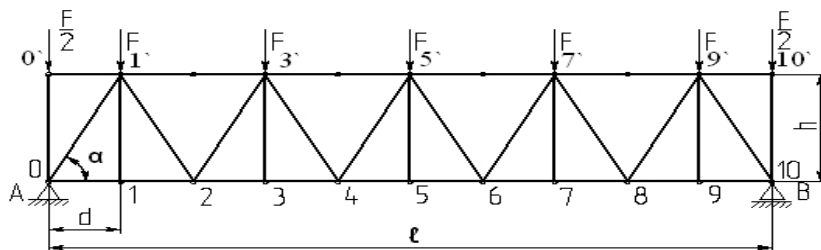


Рисунок 14 – Узел фермы

Методические указания для решения задачи 4.1.

1. Расчетное сопротивление R , МПа, для заданной марки стали определяют по формуле

$$R = 0.9 \times \sigma_T \cdot \beta \quad R = 0.9 \times \sigma_T \cdot \beta,$$

где σ_T - предел текучести заданной марки стали.

Справочно: для строительной марки стали предел текучести равен значению после буквы С. Например: С255- предел текучести равен 255МПа

Допускаемое напряжение $[\sigma_P]$, МПа, для основного материала определяют по формуле

$$[\sigma_P] = \frac{R \times m}{K_H},$$

где m – коэффициент условий работы;

K_H – коэффициент надежности.

Принимают $m = 0.8$, $K_H = 1$

Допускаемое напряжение материала шва определяют по формуле

$$[\sigma'] = 0,65 \cdot [\sigma_P] \cdot \beta.$$

2. Реакции в опорах фермы R_A , кН, определяют по формуле

$$R_A = R_B = \frac{\sum F_i}{2}$$

Используя метод сечений, рассекают ферму в среднем сечении и определяют расчетные усилия в нижнем и верхнем поясах. Подсчитывают необходимую площадь поперечного сечения поясов.

Площадь поперечного сечения верхнего пояса A_F , см², рассчитывают по формуле

$$A_F = \frac{N_B}{[\sigma_P] \cdot \varphi},$$

где N_B - усилие в верхнем поясе;

φ - коэффициент продольного изгиба.

Принимают $\varphi = 0.6$

Площадь поперечного сечения нижнего пояса A_H , см², определяют по формуле

$$A_H = \frac{N_H}{[\sigma_p]}$$

Подбирают сечение для нижнего и верхнего пояса фермы (равнополочный уголок), используя Приложение № .

3. Для заданного узла фермы определяют усилия в стержнях и стойках.

Пользуются методом разрезания фермы или стачением заданного узла.

Подсчитывают необходимую площадь поперечного сечения элементов фермы.

Площадь поперечного сечения верхнего пояса A_p , см², для растянутых элементов определяют по формуле

$$A_p = \frac{N_p}{[\sigma_p]}$$

Площадь поперечного сечения верхнего пояса A_c , см², для сжатых элементов определяют по формуле

$$A_c = \frac{N_c}{[\sigma_p] \times \varphi}$$

По полученным значениям подбирают сечение (равнополочный уголок). Приложение В.

5. Определяют необходимую длину фланговых швов, прикрепляющих раскосы и стойки с пояском фермы.

6. Разрабатывают эскиз узла в масштабе 1:1.

Таблица 8 - Варианты заданий к задаче 4.1

В а р и а н т	Материал	Нагрузка F,кН	Длина пролета ℓ,м	Длина панели d,м	Выс ота h,м	Узел	Угол α°
1	C235	25	12	1,0	1	3`	45
2	C235	25	12	1,0	1	3`	45
3	C235	25	12	1,0	1	5`	45
4	C235	15	12	1,0	1.5	5`	45
5	C235	15	12	1,0	1	1`	45
6	C235	15	12	1,0	1	3`	45

Продолжение таблицы 8

7	C235	15	12	1,5	1,5	5`	45
8	C235	20	12	1,5	1	3`	45
9	C235	20	12	1,5	1	5`	45
10	C245	20	15	1,5	1,5	5`	45
11	C245	25	15	1,5	1,5	3`	45
12	C245	20	15	1,5	1,5	1`	45
13	C245	20	15	1,5	1,5	3`	45
14	C255	25	20	2,0	2	7`	45
15	C255	20	20	2,0	2	3`	45
16	C276	20	18	1,5	1,5	3`	45
17	C276	20	18	1,5	1,5	3`	45
18	C276	25	18	1,5	2	7`	45
19	C276	20	18	1,5	2	5`	45
20	C276	20	18	1,5	2	3`	45
21	C235	25	12	1,0	1	5`	45
22	C235	15	12	1,0	1	5`	45
23	C235	15	12	1,0	1	1`	45
24	C235	15	12	1,0	1,5	3`	45
25	C235	15	12	1,5	1	5`	45
26	C235	20	12	1,0	1	3`	45
27	C235	25	12	1,5	1	5`	45
28	C245	20	15	2,0	1,5	5`	45
29	C255	20	20	2,0	2	7`	45
30	C255	20	20	2,0	2	5`	45

Контрольные вопросы

1. Какие конструкции называются фермами?
2. Как называется расстояние между узлами решетки фермы?
3. Как классифицируют фермы по назначению и очертанию поясов?
4. Как называется расстояние между опорами фермы?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников В.С Сварные конструкции- М.: Стройиздат, 2012г
2. Г.А.Николаев, В.А.Винокуров Сварные конструкции. Расчет и проектирование.- М.: Высшая

Приложение А

Коэффициенты надёжности по назначению.

Класс конструкции	Степень активности объекта	Пример объекта	Коэффициент надёжности
1	Основные здания и сооружения объектов, имеющих особо важное народнохозяйственное или социальное значение.	Главные корпуса ТЭС, АЭС главные узлы доменных печей, резервуары для нефти и нефтепродуктов объёмом более 10 000 м ³ и т.п.	1

2	Здания и сооружения объектов, имеющих важное народнохозяйственное или социальное значение.	Объекты не вошедшие в 1 и 3 классы.	0,95
3	Здания и сооружения объектов, имеющих ограниченное народнохозяйственное или социальное значение	Склады для хранения сельхозпродуктов, угля, удобрений и др., теплицы, парники, временные здания и сооружения со сроком службы свыше 5 лет.	0,9

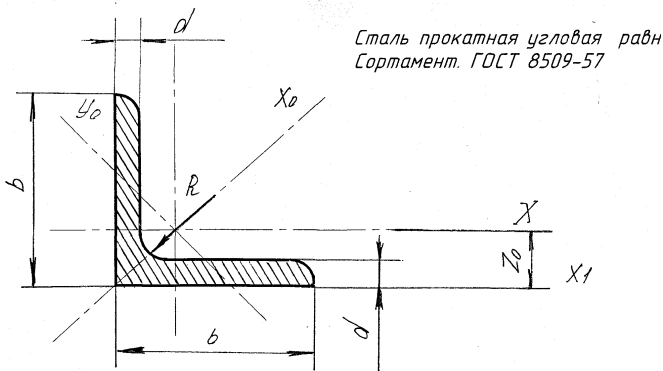
Примечание. Для временных зданий и сооружений со сроком службы до 5 лет допускается принимать $\gamma_c \pm 0,8$

Приложение Б

Коэффициенты условий работы для некоторых видов конструкций (по СНиП 11-23-81*)

Элементы конструкций	Коэффициент условий работы γ_c
Сплошные балки и сжатые элементы ферм перекрытий при весе перекрытий, равном или большем временной нагрузки	0,9

Балки, несущие статистическую нагрузку с прокатными и составными сварными сечениями, при расчёте на прочность	1,1
Колонны, несущие статистическую нагрузку, с прокатными и сварными сечениями, при расчёте на прочность	
Сжатые элементы ферм (кроме трубчатых)	0,95
Растянутые элементы в сварных стержневых конструкциях покрытий и перекрытий	0,95
Элементы ферм, несущих статическую нагрузку, при расчёте на прочность: а) сжатые элементы сварных ферм перекрытий б) растянутые элементы с прокатными или сварными сечениями	0,946 1,05



Размеры	Площадь	Вес	Справочные величины для осей
профиль			

					ноз. мѣра									
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	cm^2	kg	<i>X-X</i>		<i>X_O-X_O</i>		<i>Y_O-Y_O</i>		<i>X_I-X_I</i>	<i>Z_O</i>
							<i>I_X</i>	<i>i_X</i>	<i>I_{Xoma}_x</i>	<i>i_{Xoma}_x</i>	<i>I_{Yomi}_n</i>	<i>i_{Yomi}_n</i>	<i>I_{XI}</i>	
	<i>M</i> <i>M</i>	<i>M</i> <i>M</i>	<i>M</i> <i>M</i>	<i>M</i> <i>M</i>	cm^2	kg	cm^4	cm	cm^4	cm	cm^4	cm	cm^4	cm
2	20	3	3,5	1,2	1,1	0,8	0,4	0,5	0,62	0,75	0,17	0,39	0,8	0,6
		4			3	9	0	9	0,78	0,73	0,22	0,38	1,0	0,6
2,5	25	3	3,5	1,2	1,4	1,1	0,8	0,7	1,29	0,95	0,34	0,49	1,5	0,7
		4			3	2	1	5	1,62	0,93	0,44	0,48	2,1	0,7
2,8	28	3	4	1,3	1,6	1,2	1,1	0,8	1,84	1,07	0,48	0,55	2,2	0,8
3,2	32	3	4,5	1,5	1,8	1,4	1,7	0,9	2,80	1,23	0,74	0,63	3,2	0,8
		4			6	6	7	7	3,58	1,21	0,94	0,62	4,3	0,9
3,6	36	3	4,5	1,5	2,1	1,6	2,5	1,1	4,06	1,39	1,06	0,71	4,6	0,9
		4			0	5	6	0	5,21	1,38	1,36	0,70	6,2	1,0
4	40	3	5	1,7	2,3	1,8	3,5	1,2	5,63	1,55	1,47	0,79	6,3	1,0
		4			5	5	3	3	7,26	1,53	1,90	0,78	8,5	1,1
4,5	45	3	5	1,7	2,6	2,0	5,1	1,3	8,13	1,75	2,12	0,89	9,0	1,2
		4			5	8	3	9	10,5	1,74	2,74	0,89	12,	1,2
		5			8	3	3	8	12,7	1,72	3,33	0,88	15,	1,3
5	50	3	5,5	1,8	2,9	2,3	7,1	1,5	11,3	1,95	2,95	1,00	12,	1,3
		4			6	2	1	5	14,6	1,94	3,80	0,99	16,	1,3
		5			9	6	1	4	17,8	1,92	4,63	0,98	20,	1,4
5,6	56	3,5	6	2	3,8	3,0	11,	1,7	18,4	2,18	4,80	1,12	20,	1,5
		4			6	3	6	3	20,8	2,18	5,41	1,11	23,	1,5
		5			8	4	1	3	25,4	2,16	6,59	1,10	29,	1,5
		4			4,9	3,9	18,	1,9	29,9	2,45	7,81	1,25	33,	1,6

6, 3	63		7	2,3	6	0	9	5					1	9
		5			6,1 3	4,8 1	23, 1	1,9 4	36,6	2,44	9,52	1,25	41, 5	1,7 4
		6			7,2 8	5,7 2	27, 1	1,9 3	42,9	2,43	11,2	1,24	50, 0	1,7 8

№ профилей	Размеры				Площадь		Справочные величины для осей							
	b	d	R	r	профиль		X-X		X ₀ -X ₀		Y ₀ -Y ₀		X ₁ -X ₁	Z ₀
					пог.	метра	i _x	I _{X₀a_x}	i _{X₀a_x}	I _{Y₀m_n}	i _{Y₀m_n}	I _{X₁}		
													см ²	
мм	м	м	м	см ²	кг	см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴	см	
7	70	4,5	8	2,7	6,2 0	4,8 7	29,0	2,1 6	46,0	2,72	12,0	1,39	51,0	1,8 8
		5			6,8 6	5,3 8	31,9	2,1 6	50,7	2,72	13,2	1,39	56,7	1,9 0
		6			8,1 5	6,3 9	37,6	2,1 5	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,9 4
		7			9,4 2	7,3 9	43,0	2,1 4	68,2	2,69	17,8	1,37	80,1	1,9 9
		8			10, 7	8,3 7	48,2	2,1 3	76,4	2,68	20,0	1,37	91,9	2,0 2
7,5	75	5	9	3	7,3 9	5,8 0	39,5	2,3 1	62,6	2,91	16,4	1,49	69,6	2,0 2
		6			8,7 8	6,8 9	46,6	2,3 0	73,9	2,90	19,3	1,48	83,9	2,0 6
		7			10, 1	7,9 6	53,3	2,2 9	84,6	2,89	22,1	1,48	98,3	2,1 0
		8			11, 5	9,0 2	59,8	2,2 8	94,9	2,87	24,8	1,47	113	2,1 5
		9			12, 8	10, 1	66,1	2,2 7	105	2,86	27,5	1,46	127	2,1 8
8	80	5,5	9	3,3	8,6 3	6,7 8	52,7	2,4 7	83,6	3,11	21,8	1,59	93,2	2,1 7
		6			9,3 8	7,3 6	57	2,4 7	90,4	3,11	23,5	1,58	102	2,1 9
		7			10, 8	8,5 1	65,3	2,4 5	104	3,09	27,0	1,58	119	2,2 3
		8			12, 3	9,6 5	73,4	2,4 4	116	3,08	30,3	1,57	137	2,2 7
9	90	6	10	3,3	10, 6	8,3 3	82,1	2,7 8	130	3,50	34,0	1,79	145	2,4 3
		7			12, 3	9,6 4	94,3	2,7 7	150	3,49	38,9	1,78	169	2,4 7
		8			13, 9	10, 9	106	2,7 6	168	3,48	43,8	1,77	194	2,5 1
		9			13, 6	12, 2	118	2,7 5	186	3,46	48,6	1,77	219	2,5 5

10	100	6,5	12	4	12,8	10,1	122	3,09	193	3,88	50,7	1,99	214	2,68
		7			13,8	10,8	131	3,08	207	3,88	54,2	1,98	231	2,71
		8			15,6	12,2	147	3,07	233	3,87	60,9	1,98	265	2,75
		10			19,2	15,1	179	3,05	284	3,84	74,1	1,96	333	2,83
		12			22,8	17,9	209	3,03	331	3,81	86,9	1,95	402	2,91
		14			26,3	20,6	237	3,00	375	3,78	99,3	1,94	472	2,99
		16			29,7	23,3	264	2,98	416	3,74	112	1,94	542	3,06
11	110	7	12	4	15,2	11,9	176	2,40	279	4,29	72,7	2,19	303	2,96
		8			17,2	13,5	198	3,39	315	4,28	81,8	2,18	353	3,00
12,5	125	8	14	4,6	19,7	15,5	294	3,87	467	4,87	122	2,49	516	3,36
		9			22,0	17,3	327	3,86	520	4,86	135	2,48	582	3,40
		10			24,3	19,1	360	3,85	571	4,84	149	2,47	649	3,45
		12			28,9	22,7	422	3,82	670	4,82	174	2,46	782	3,53
		14			33,4	26,2	482	3,80	764	4,78	200	2,45	916	3,61
		16			37,8	29,6	539	3,78	853	4,75	224	2,44	1051	3,68
14	140	9	14	4,6	24,7	19,4	466	4,34	739	5,47	192	2,79	818	3,78
		10			27,3	21,5	512	4,33	814	5,46	211	2,78	911	3,82
		12			32,5	25,5	602	4,31	957	5,43	248	2,76	1097	3,90
16	160	10	16	5,3	31,4	24,7	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	1356	4,30
		11			34,4	27,0	844	4,95	1341	6,24	348	3,18	1494	4,35
		12			37,4	29,4	913	4,94	1450	6,23	376	3,17	1633	4,39
		14			43,3	34,0	1046	4,92	1662	6,20	431	3,16	1911	4,47

Приложение Г

Коэффициенты ρ продольного изгиба центрально-сжатых элементов

Гибкость Элементов λ	Расчетные сопротивления $R=0.9 \sigma_{T.3 T}$, МПа							
	200	240	280	320	400	480	520	600
30	939	931	924	917	90	895	891	883
40	906	894	883	873	854	849	832	820
50	869	852	836	822	796	775	764	729
60	827	805	785	766	721	672	650	608
70	782	754	724	687	623	568	542	494
80	734	686	641	602	532	741	442	386
90	665	612	565	522	447	380	349	305
100	599	542	493	448	369	309	286	250
110	537	478	427	381	306	258	239	209
120	479	419	366	321	260	219	203	178
130	425	364	313	276	223	189	175	153
140	376	315	272	240	195	164	153	134
150	328	276	239	211	171	145	134	118
160	290	244	212	187	152	129	120	105
170	259	218	189	167	136	115	107	94
180	233	196	170	150	123	104	97	85
190	210	177	154	136	111	98	88	77
200	191	161	140	124	101	86	80	71

Приложение Д

Расчетные сопротивления стали и сварных соединений для марок сталей ограниченного сортамента.

Г О С Т и л	Марка стали	Вид про ката	толщ ина	Нормативные сопротивления, МПа	Расчетные сопротивления, МПа	Расчетное сопротивления сварных соединений, МПа
----------------------------	----------------	--------------------	-------------	--------------------------------------	------------------------------------	---

и Т У											
				Ру _п	Ру _п	Ру	Rs	Ру, Rp	Rw y	Rw z	Rw z
380- 88	ВСтЗкп 2	Лист	4...20	225	365	215	125	350	180	165	180
		Фасон	21...40	215		205	120		175		
	ВСтЗпс 6	Лист	4...20	235	370	225	130	350	190	165	180
		Фасон	4...20	245		235	135		200		
	ВСтЗсп 5	Лист	4...20	235	370	225	130	350	190	165	180
		Фасон	4...20	245		235	135		200		
	ВСтЗГп с5	Лист	4...20	235	370	225	130	350	190	165	180
		Фасон	4...20	245		235	135		200		
	ВСтЗкп 2-1	Лист	4...10	225	355	220	125	345	185	160	180
			11...20	215	345	210	120	355	180	155	180
		Фасон	4...10	235	365	230	130	355	195	165	180
			11...20	225	355	220	125	345	185	160	180
ВСтЗпс 6-1	Лист	4...10	235	365	230	130	355	195	160	180	
		11...20	235	355	230	130	345	195	160	180	
	Фасон	4...10	245	370	240	140	360	205	165	180	
		11...20	245	365	240	140	355	205	165	180	
21...30	225	355	220	125	345	185	160	180			
ВСтЗпс6 -2	Лист	4...10	275	370	270	155	360	220	165	180	
		11...20	265	365	260	150	355	220	165	180	
	Фасон	4...10	275	380	270	370	370	230	170	180	
		11...20	275	370	270	360	360	230	160	180	
ВСтЗсп5 -1	Лист	4...10	245	365	240	355	355	205	165	180	
		11...20	235	365	230	355	355	195	165	180	
	Фасон	4...10	255	380	250	370	370	210	170	180	
		11...20	245	370	240	140	140	205	165	180	
21...30	235	365	230	355	355	195	165	180			
ВСтЗсп 5-2	Лист	4...10	275	380	270	255	370	230	170	180	
		11...20	265	370	260	150	360	220	165	180	
	Фасон	4...10	285	390	280	160	380	240	175	180	
		11...20	275	380	270	155	370	230	170	180	
19282 -73*	09Г2	Лист	4...20	305	440	290	170	420	245	200	200
			21...32	295	440	280	160	420	240	200	200
	09Г2С	фасон	4...9	345	490	330	190	465	280	220	240
			10...20	325	470	310	180	450	265	210	215
21...32	305	460	290	170	440	245	205	215			

			33...60	285	250	270	155	430	230	200	200
19281 -73*		Фасон	4...9 10...20 21...32	345 325 305	490 470 460	330 310 290	190 180 170	465 450 440	280 265 245	220 210 205	240 215 215
19282 -73*	16Г2АФ	Лист	4...32 33...50	440 410	590 570	400 375	230 220	535 520	340 320	265 255	280 280
14- 1- 1217 -75	10ХНД П	лист	4...9 10...16	345 295	470 440	330 280	190 160	450 420	280 240	210 200	215 200

Приложение Е

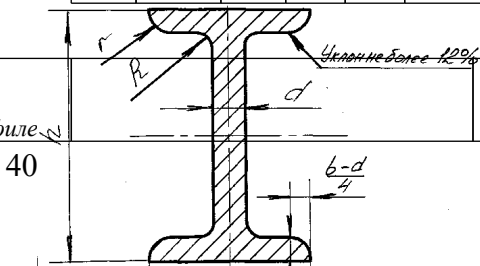
Сталь
прокатная
швеллер

Справочные величины для осей



№ пр о фи	Ве с 1 по г. м е т ра	Размеры			П ло щ а д ь се че ни я	X-X				Y-Y			Z ₀	
		h	b	d		J _X	W _X	i _X	S _X	J _Y	W _Y	i _Y		
														кг
		м	м	м		см ²	см ⁴	см ³	см	см ³	см ⁴	см ³		см
5	4,84	50	32	4,4	6,16	22,8	9,1	1,9	5,5	5,6	2,7	0,95	1,1	
6.5	5,90	65	36	4,4	7,51	48,6	15,0	2,5	9,0	8,7	3,6	1,08	1,2	
8	7,05	80	40	4,5	8,98	89,4	22,4	3,1	13,3	12,8	4,7	1,19	1,3	
10	8,59	100	46	4,5	10,9	174	34,8	3,9	20,4	20,4	6,4	1,37	1,4	
12	10,4	120	52	4,8	13,3	304	50,6	4,7	29,6	31,2	8,5	1,53	1,5	
14	12,3	140	58	4,9	15,6	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11,0	1,70	1,6	
14 а	13,3	140	62	4,9	17,0	545	77,8	5,6	45,1	57,5	13,3	1,84	1,8	
16	14,2	160	64	5,0	18,1	747	93,4	6,4	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8	
16 а	15,3	160	68	5,0	19,5	823	103,9	6,4	59,4	78,8	16,4	2,01	2,0	
18	16,3	180	70	5,1	20,7	1090	121,4	7,2	69,8	86,0	17,0	2,04	1,9	
18 а	17,4	180	74	5,1	22,2	1190	132,2	7,3	76,1	105,0	20,0	2,18	2,1	
20	18,4	200	76	5,2	23,4	1520	152,7	8,0	87,8	113,5	20,5	2,20	2,0	
20 а	19,8	200	80	5,2	25,2	1670	167,5	8,1	95,9	139,2	24,2	2,35	2,2	
22	21,0	220	82	5,4	26,7	2110	192,9	8,8	110,9	151,1	25,1	2,37	2,2	
22 а	22,6	220	87	5,4	28,8	2330	212,0	8,9	121,0	187,0	30,0	2,55	2,4	
24	24,0	240	90	5,6	30,6	2900	242,3	9,7	139,3	208,6	31,6	2,60	2,4	
24 а	25,8	240	95	5,6	32,9	3180	265,4	9,8	151,4	254,2	37,2	2,78	2,6	

Приложение Ж. Сталь прокатная двутавровая
Справочные величины для осей



вес <i>l</i> по з. м е т ра	Размеры						пл о щ а д ь с е ч е н и я	X-X				Y-Y		
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>		<i>J_X</i>	<i>W_X</i>	<i>i_X</i>	<i>S_X</i>	<i>J_Y</i>	<i>W_Y</i>	<i>i_Y</i>
	мм	мм	мм	мм	мм	мм		см ⁴	см ³	см	см ³	см ⁴	см ³	см
9,46	10 0	55	4,5	7,2	7	2,5	12,0	198	39,7	4,0 6	23,0	17,9	6,4 9	1,2 2
11,5	12 0	64	4,8	7,3	7,5	3	14,7	350	58,4	4,8 8	33,7	27,9	8,7 2	1,3 8
13,7	14 0	73	4,9	7,5	8	3	17,4	572	81,7	5,7 3	46,8	41,9	11, 5	1,5 5
15,9	16 0	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,5 7	62,3	58,6	14, 5	1,7 0
18,4	18 0	90	5,1	8,1	9	3,5	23,4	1290	143	7,4 2	81,4	82,6	18, 4	1,8 8
19,9	18 0	10 0	5,1	8,3	9	3,5	25,4	1430	159	7,5 1	89,8	114	22, 8	2,1 2
21,0	20 0	10 0	5,2	8,4	9,5	4	26,8	1840	184	8,2 8	104	115	23, 1	2,0 7
22,7	20 0	11 0	5,2	8,6	9,5	4	28,9	2030	203	8,3 7	114	155	28, 2	2,3 2
24,0	22 0	11 0	5,4	8,7	10	4	30,6	2550	232	9,1 3	131	157	28, 6	2,2 7
25,8	22 0	12 0	5,4	8,9	10	4	32,8	2790	25,4	9,2 2	143	206	34, 3	2,5 0
27,3	24 0	11 5	5,6	9,5	10, 5	4	34,8	3460	289	9,9 7	163	198	34, 5	2,3 7
29,4	24 0	12 5	5,6	9,8	10, 5	4	37,5	3800	317	10, 1	178	260	41, 6	2,6 3
31,5	27 0	12 5	6,0	9,8	11	4,5	40,2	5010	371	11, 2	210	260	41, 5	2,5 4
33,9	27 0	13 5	6,0	10, 2	11	4,5	43,2	5500	407	11, 3	229	337	50, 0	2,8 0
36,5	30 0	13 5	6,5	10, 2	12	5	46,5	7080	472	12, 3	268	337	49, 9	2,6 9
39,2	30 0	14 5	6,5	10, 7	12	5	49,9	7780	518	12, 5	292	436	60, 1	2,9 5
42,2	33 0	14 0	7,0	11, 2	13	5	53,8	9840	597	13, 5	339	419	59, 9	2,7 9
48,6	36 0	14 5	7,5	12, 3	14	6	61,9	13380	743	14, 7	423	516	71, 1	2,8 9
56,1	40 0	15 5	8,0	13, 0	15	6	71,4	18930	947 1	6,3	540	666	85, 9	3,0 5
65,2	45	16	8,6	14,	16	7	83,0	27450	122	18,	699	807	101	3,1

	0	0		2					0	2				2
3	50 0	17 0	9,5	15, 2	17	7	97,8	39290	157 0	20, 0	905	104 0	122	3,2 6
89,8	55 0	18 0	10, 3	16, 5	18	7	114	55150	200 0	22, 0	115 0	135 0	150	3,4 4
104	60 0	19 0	11, 1	17, 8	20	8	132	75450	251 0	23, 9	145 0	172 0	181	3,6 0
120	65 0	20 0	12, 0	19, 2	22	9	153	10140 0	312 0	25, 8	180 0	217 0	217	3,7 7