Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тульский государственный университет»

Кафедра «Строительство, строительные материалы и конструкции»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

по дисциплине

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

Направление подготовки: *08.03.01 «Строительство»*
Профиль подготовки:
«Промышленное и гражданское строительство»

Форма обучения *заочная*

Тула 2017 г.

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях отражены вопросы, связанные с решением конкретных задач по расчету и конструированию соединений и простейших элементов металлических конструкций. Практические занятия на первом этапе изучения металлических конструкций являются основой приобретения практических навыков, расчета и проектирования конструкций.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.

Практические занятия способствуют применению теоретических знаний в практических расчетах конструкций, привитию начальных навыков проектирования.

Целью практических занятий является твердое усвоение основополагающих алгоритмов решения простейших задач по расчету конструкций. Студент должен свободно ориентироваться в выборах расчетных схем, расчетных формул и алгоритмов при решении простейших задач по расчету соединений и элементов металлических конструкций.

Понимание работы конструкций, а следовательно, сознательное проведение расчета их, основывается на умении анализировать напряженное состояние соединения элемента конструкции и применять знания, полученные при изучении курса “Сопротивления материалов”. Применение теоретических знаний в практических расчетах конструкций осложнено большим многообразием полученных студентом абстрактных теоретических знаний напряженного состояния объекта и не умением применять их для конкретных задач.

Важно на первых практических занятиях повторить материал теоретических курсов по определению напряжений в сечениях стержней. Положение напряженного состояния соединения или элемента конструкции позволит быстро и правильно подобрать нужную расчетную формулу, осознанно решить задачу. Поэтому начальным этапом освоения практических методов расчета металлических конструкций является повторение материала из теоретических курсов по построению эпюр напряжений в сечениях и воспроизведение формул по вычислению геометрических характеристик сечений стержней.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.

Большой объем разнообразных типов задач и ограниченный объем времени аудиторных занятий не позволяет проводить практические занятия в классическом стиле. Поэтому практические занятия рекомендуется проводить следующим образом. Преподаватель в начале занятия излагает на доске условия задачи и дает комментарий по особенностям данной задачи. С помощью студентов устанавливается тип задачи и на доске излагается обобщенный алгоритм решения. Затем все студенты решают задачу

самостоятельно. В конце занятия подводится итог решения задачи и разъясняются наиболее характерные ошибки студентов. При этом во время решения задачи преподаватель постоянно следит за работой и ошибками студентов. На дом дается аналогичная задача. Подведение итогов практических занятий осуществляется на зачете в конце семестра.

Все элементарные задачи по расчету соединений и элементов металлических конструкций в зависимости от поставленной цели можно свести к трем типам:

1) прямой тип, суть которого заключается в определении размеров соединения или сечения элемента при заданных значениях расчетного усилия, марок стали, условий работы и др. Это – наиболее сложный тип задач;

2) обратный тип – по определению несущей способности элементов при известных значениях их размеров, марки стали, условий работы;

3) поверочный тип, в котором известны все силовые и геометрические величины, марка стали, условия работы. Определяется напряжение и сравнивается с расчетным сопротивлением.

Для решения задач по расчету соединений возможен комбинированный тип: первый и второй совместно.

Решение задач по металлическим конструкциям рекомендуется вести по обобщенному единому алгоритму:

1) внимательно прочитать условие задачи (вникнуть в суть задачи) и уяснить:
   - исходные данные;
   - их размерности;
   - искомые величины;
   - тип задачи (прямой, обратный или поверочный);
2) установить по условию задачи и рисунку вид силового воздействия на рассматриваемый объект (осевое растяжение, осевое сжатие – устойчивость -, изгиб, сдвиг, срез, растяжение с изгибом, внецентренное сжатие);
3) применительно к установленному силовому воздействию и типу задач
4) подобрать расчетные формулы для определения напряжений или деформаций элемента;
5) выбрать размерности величин. Рекомендуется вести расчеты в кН, кПа, см;
6) проанализировать расчетные формулы на предмет того, какие величины известны и какие надо определить;
7) выбрать из СНиПа значения прочностных характеристик металла и приступить к определению необходимых величин в соответствии с условиями задачи, выбрав алгоритм по типу и виду задачи;
8) проанализировать полученный результат.

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.

Геометрические характеристики плоских сечений

Площадь всего сечения $F = \int_F dF$. Площадь является простейшей геометрической характеристикой сечения, имеет размерность L^2. Отметим два важных свойства: площадь всегда положительна и не зависит от выбора системы координат.

Статические моменты сечений.

Статическим моментом S_x сечения относительно оси x называется геометрическая характеристика, определяемая интегралом вида

$$S_x = \int_F y dF,$$

где y - расстояние от элементарной площадки dF до оси x.

$$S_x = \int_F y dF = F \cdot y_c,$$

где площадь сечения F представляет собой равнодействующую, координата y_c - плечо равнодействующей, c - центр тяжести сечения.

Статический момент относительно оси y равен

$$S_y = \int_F x dF = F \cdot x_c,$$

откуда следуют формулы для определения координат центра тяжести

$$x_c = \frac{S_y}{F}, \qquad y_c = \frac{S_x}{F}$$

Статические моменты могут быть положительными, отрицательными и равными нулю. В частности, относительно любых центральных осей (проходящих через центр тяжести С обозначаются x_c, y_c) статические моменты $S_{x_c} = S_{y_c} = 0$. Размерность статических моментов L^3. Для сложного сечения, состоящего из n частей

$$S_x = \int_F y dF = \sum_{i=1}^{n} S_x^i,$$

$$S_y = \int_F x dF = \sum_{i=1}^{n} S_y^i,$$

где S_x^i, S_y^i - статические моменты i-й части сечения относительно осей x и y соответственно.

Моменты инерции сечений.

Моментами инерции сечения называются геометрические характеристики, определяемые интегралами вида:

$$J_x = \int_F y^2 dF,$$

$$J_y = \int_F x^2 dF,$$

Размерность моментов инерции L^4. Осевые моменты инерции всегда положительны.

$$J_{x1} = J_{x_c} + a^2 F,$$
$$J_{y1} = J_{y_c} + a^2 F.$$

Алгоритм расчета центрально сжатой стойки из прокатных профилей:

1) Задаемся гибкостью $\lambda = 50\ldots90$; находим величину коэффициента продольного изгиба φ по λ и R_y.

2) Требуемая площадь сечения и радиус инерции:

$A_{mp} = \dfrac{N}{\varphi \cdot \gamma_c \cdot R_y}$ и $i_{mp} = \dfrac{\ell_{ef,x}}{\lambda}$.

3) По A_{mp} и i_{mp} в сортаменте выбираем номер профиля и его геометрические характеристики (A, i_x, i_y).

4) Вычисляем гибкость для принятого профиля $\lambda_y = \dfrac{\ell_{ef,x}}{i_y}$ и находим величину φ.

5) Проверяем принятый профиль на устойчивость по формуле $\dfrac{N}{\varphi \cdot A} \le R_y \cdot \gamma_c$.

6) В случае надобности (перенапряжение, что не допускается, или недонапряжение более 5%) корректируем сечение в ту или иную сторону и вновь проверяем стойку на устойчивость.

Следует заметить, что для прокатных профилей возможно принимать сечение при недонапряжении свыше 5%, если предыдущий номер профиля дает перенапряжение.

Алгоритм расчета центрально сжатой стойки из прокатных профилей, сваренных в коробку:

Подбирается сечение относительно оси $x - x$ и проверяется затем относительно оси $y - y$:

1) задаемся гибкостью $\lambda = 50\ldots90$; находим φ по λ и R_y,

2) требуемые площадь сечения и радиус инерции:

$A_{mp} = \dfrac{N}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}$ и $i_{mp} = \dfrac{\ell_{ef}}{\lambda}$,

3) по A_{mp} и i_{mp} подбираем номер профиля (A, i_x, i_y),

4) вычисляем гибкость стержня относительно оси $x - x$

$\lambda_x = \dfrac{\ell_{ef,x}}{i_x}$, затем находим φ_x,

5) проверяем принятое сечение относительно оси $x - x$

$$\frac{N}{\varphi_x \cdot 2 \cdot A} \le R_y \cdot \gamma_c,$$

6) в случае надобности корректируем сечение в ту или иную сторону и вновь следует проверка относительно оси $x - x$;

7) подобранное сечение относительно оси $x - x$ проверяем на устойчивость относительно оси $y - y$ по формуле

$$\frac{N}{\varphi_y \cdot 2 \cdot A} \le R_y \cdot \gamma_c,$$

где φ_y определяется по $\lambda_y = \dfrac{\ell_{ef,y}}{i_y}$, $i_y = \sqrt{\dfrac{J_y}{2 \cdot A}} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot (J_{y_0} + A \cdot c^2)}{2 \cdot A}}$;

c – расстояние от середины сечения стойки до центра тяжести одного из профилей.

Если неравенство не выполняется, т.е. имеет место перенапряжение, то следует увеличить номер профиля на один шаг. При этом проверка сечения относительно оси $x - x$ не требуется.

Алгоритм расчета центрально сжатой стойки сварного сечения:

1) задаемся $\lambda = 50\ldots90$; находим величину φ;

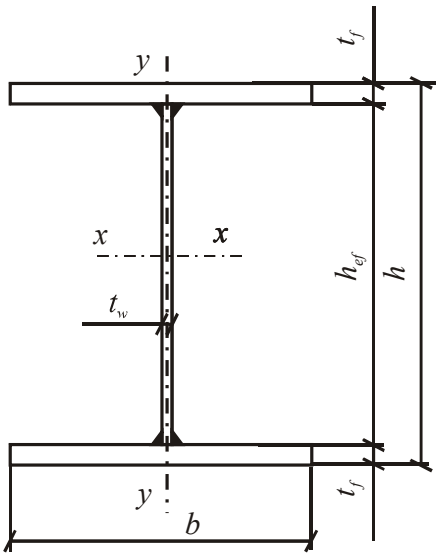


Рис. Сечение стержня.

2) определяем требуемые площадь сечения $A_{mp} = \dfrac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}$ и радиус инерции $i_{mp} = \dfrac{\ell_{ef,x}}{\lambda}$;

3) используем приближенное выражение для радиуса инерции через габариты сечения. Поскольку у двутаврового сечения при $b \le h$ расчетной осью будет ось $y - y$ ($i_y < i_x$), то используем зависимость $i_y \approx 0{,}24 \cdot b$. Отсюда $b = \dfrac{i_y}{0{,}24} = \dfrac{i_{mp}}{0{,}24}$, принимая $i_{mp} = i_y$;

4) компонуем некоторые размеры сечения. Следует принять величину b равной ширине полосы универсальной стали из сортамента; минимальную толщину стенки $t_{w,\min} = 6$ мм, а также условие $b \approx h$. Неизвестной остается толщина полок t_f;

5) определяем толщину полок сечения по требуемой площади всего сечения

$A_{mp} = 2 \cdot t_f \cdot b + t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)$; отсюда $t_f^{mp} = \dfrac{A_{mp} - t_w \cdot h}{2 \cdot (b - t_w)}$.

Следует принять величину t_f равной толщине листа из сортамента и не менее 6 мм. Если $t_f^{mp} < 6$ мм, то это означает, что задались неудачной величиной гибкости λ. Необходимо задаться большим значением гибкости λ и повторить процедуру вычислений до этого пункта.

При компоновке сечения следует учитывать рекомендацию: $t_f = (1{,}0 ... 2{,}5) \cdot t_w$;

6) уточняем высоту сечения стенки h_{ef}, принимая ее равной ширине

полосы универсальной стали из сортамента. Вычисляем геометрические параметры скомпонованного сечения: A; J_y; i_y; затем гибкость $\lambda_y = \frac{\ell_{ef,y}}{i_y}$ и величину φ_y.

Проверяем на устойчивость:

$\frac{N}{\varphi_y \cdot A} \le R_y \cdot \gamma_c$. Недонапряжение должно быть не более 5%;

7) В случае необходимости производится корректировка размеров сечения и проверка его на устойчивость.

Следует заметить, что полученное решение задачи не является оптимальным; результат зависит от удачного или неудачного задания величины гибкости λ.

Алгоритм расчета центрально сжатой стойки сквозного сечения:

Двухветвевой стержень сквозного сечения проектируют из прокатных швеллеров или двутавров.

Расчетом относительно материальной оси $x - x$ определяют сечение прокатного профиля; относительно свободной оси – расстояние между ветвями *в*.

При *N* до 1500 кН и длине стержня до 7м можно задаться гибкостью $\lambda = 60...90$. Для более мощных стержней с нагрузкой $N = 2000...3000$ *кН* можно принять $\lambda = 40...60$.

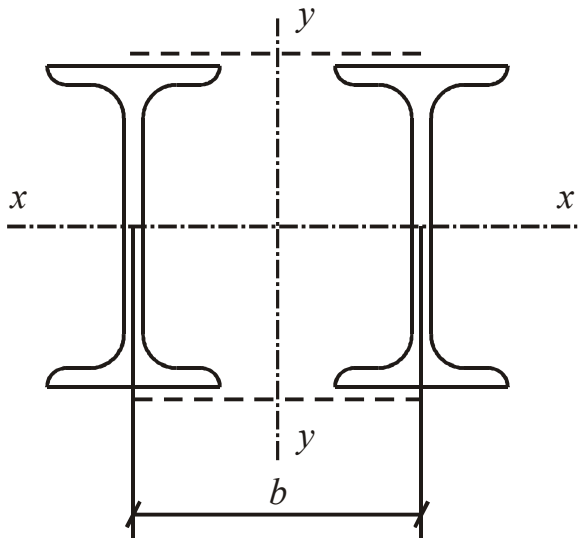


Рис. Сечение стержня.

Задавшись гибкостью λ и определив по ней и R_y коэффициент продольного изгиба φ_x , определяем требуемые площадь и радиус инерции сечения прокатного профиля , т.е.

$$A_{mp} = \frac{N}{2 \cdot \varphi_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \text{ и } i_{mp} = \frac{\ell_{ef}}{\lambda},$$

Определив требуемые площадь и радиус инерции, подбираем по сортаменту соответствующий им номер профиля.

Приняв сечение, проверяем его на устойчивость относительно оси $x - x$ по формуле

$$\frac{N}{\varphi_x \cdot 2 \cdot A} \le R_y \cdot \gamma_c,$$

где коэффициент φ_x определяется по действительной (а не заданной) гибкости

$$\lambda_x = \frac{\ell_{ef,x}}{i_x}.$$

Для определения расстояния между ветвями (ширины сечения) следует задаться гибкостью ветви $\lambda_1 = 20...40$.

В стержнях с планками требуемое значение гибкости относительно свободной оси $y - y$

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_1^2},$$

и радиус инерции

$$i_y = \frac{\ell_{ef,y}}{\lambda_y}.$$

Расстояние между ветвями

$$b = 2\sqrt{i_y^2 - \frac{J_1}{A}},$$

где $J_1 = J_y$ – по сортаменту для профиля.

Сварные соединения. Соединения со стыковыми швами.

Нормальные напряжения в сечении стыкового шва сварного соединения, воспринимающего осевое усилие N, определяются по формуле

$$\sigma_w = \frac{N}{A_w} \le \gamma_c \cdot R_{wy},$$

где $A_w = t_{\min}\left(b - 2 \cdot t_{\min}\right)$;

$t_{\min}$ – минимальная толщина детали в соединении;

b – ширина сечения детали;

$R_{wy} = R_y$ – расчетное сопротивление стыкового шва при физических методах контроля шва и $R_{wy} = 0{,}85R_y$ – при обычных методах контроля.

Сварные соединения. Соединения с угловыми швами.

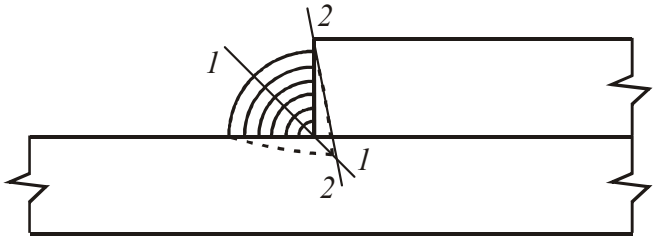


Рис. К определению расчетных сечений шва.

Угловые швы следует рассчитывать при действии продольной силы по формулам:

а) по металлу шва (сечение 1-1)

$$\tau_f = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot \sum \ell_f} \le R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c ;$$

б) по металлу границы сплавления (сечение 2-2)

$$\tau_z = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot \sum \ell_f} \le R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c ,$$

где β_f и β_z – коэффициенты, принимаемые по табл. 34* СНиП II-23-81* при $R_{yn} \le 58$ кН/см^2, связаны зависимостью $\beta_z = 1{,}41\sqrt{\beta_f^2 - 1{,}41 \cdot \beta_f + 1}$

γ_{wf} и γ_{wz} – коэффициенты условий работы шва, равные 1,0 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах I_1; I_2; II_2 и II_3, для которых $\gamma_{wf} = 0{,}85$ для металла шва с нормативным сопротивлением по временному сопротивлению $R_{wun} = 41$ кН/см^2 и $\gamma_{wz} = 0{,}85$ – для всех марок сталей. Климатические районы характеризуются расчетной температурой:

II_4 – $-30°C > t° \ge -40°C$;

II_5 и др. $t° \ge -30°C$.

Для угловых швов в элементах из стали с $R_{yn} \le 29$ кН/см^2 следует применять электроды или сварочную проволоку, соблюдая требования $R_{wf} > R_{wz}$, а при ручной сварке $R_{wf} \ge 1{,}1 \cdot R_{wz}$, но не превышать значения $R_{wz} \cdot \frac{\beta_z}{\beta_f}$.

Выбор электродов или сварочной проволоки следует выполнять в соответствии с табл. 55* СНиП II-23-81*.

Болтовые соединения. Соединения на обычных болтах

Диаметры обычных болтов ГОСТ 22356-70*: 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48.

Болты класса точности В и С рекомендуется применять для конструкций из стали с $R_{yn} \le 37{,}5$ кН/см^2.

Для строительных металлических конструкций рекомендуются болты следующих классов прочности:

5.6 ($R_{bs} = 21$ кН/см^2; $R_{bt} = 22{,}5$ кН/см^2) – из углеродистой стали обыкновенного качества;

8.8 ($R_{bs} = 32$ кН/см^2; $R_{bt} = 43{,}5$ кН/см^2) – из низколегированной стали;

10.9 ($R_{bs} = 40$ кН/см^2; $R_{bt} = 54$ кН/см^2)

12.9 ($R_{bs} = 42$ кН/см^2; не рекомендуется применять для работы на растяжение)

} - из высоко-прочной стали

Расчетные усилия, воспринимаемые одним болтом:

при срезе $N_{bs} = R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_c$;

при смятии $N_{bp} = R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_c$;

при растяжении $N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c$,

где R_{bs}, R_{bp}, R_{bt} – расчетные сопротивления одноболтовых соединений на срез, смятие и растяжение;

A_b и A_{bn} – соответственно, площадь сечения болта и площадь сечения болта нетто;

d_b – диаметр болта;

γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения.

Для многоболтового соединения при $R_{yn} \le 28{,}5$ кН/см^2 для болтов класса точности А при работе их на срез или смятие $\gamma_b = 1{,}0$; для болтов класса точности В и С при работе на срез или смятие $\gamma_b = 0{,}9$.

Размещение болтов по горизонтали – на минимальных расстояниях, а по вертикали – не менее минимальных и не более максимальных (см. табл. 39 СНиПа II-23-81*).

Болтовые соединения. Соединения на высокопрочных болтах

Диаметры ГОСТ 22356: 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48 мм.

Для фрикционных соединений применяют высокопрочные болты из стали марки 40Х «СЕЛЕКТ».

Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой плоскостью трения элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, определяется по формуле:

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

где $R_{bh} = 0{,}7 \cdot R_{bun}$;

γ_h – коэффициент надежности, принимаемый в зависимости от способа обработки поверхностей трения и контроля натяжения;

γ_b – коэффициенты условия работы болтового соединения;

$\gamma_b = 0{,}8$ при $n_b \le 5$; $\gamma_b = 0{,}9$ при $5 < n_b \le 10$; $\gamma_b = 1{,}0$ при $n_b > 10$.

Требуемое количество болтов

$$n_b = \frac{N}{Q_{bh} \cdot n_\mu \cdot \gamma_c},$$

где n_μ – количество плоскостей трения.

Расчет на прочность соединяемых элементов, ослабленных отверстиями во фрикционном соединении, выполняют с учетом того, что половина усилия, приходящегося на каждый болт, передана силами трения. При этом проверку ослабленных сечений выполняют при статической нагрузке по площади сечения брутто A при A_n(нетто) $\ge 0{,}85A$, либо по условной площади $A_{ef} = 1{,}18 \cdot A_n$ при $A_n < 0{,}85 \cdot A$.

При динамических нагрузках – по площади сечения нетто A_n.

Алгоритм подбора балки из прокатных двутавровых профилей

Для балок, работающих в упругой области и изгибаемых в одной из главных плоскостей, требуемый момент сопротивления определяется по формуле:

$$W_{mp} = \frac{M}{R_y \cdot \gamma_c}.$$

Подобранное по сортаменту сечение проверяют на прочность от действия касательных напряжений по формуле:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S}{J \cdot t_w} \le R_s \cdot \gamma_c,$$

где S – статический момент сдвигаемой части сечения;

$R_s = 0.58R_y$ – расчетное сопротивление стали срезу;

J – момент инерции сечения.

Для прокатных разрезных балок, несущих статическую нагрузку и обеспеченных от потери общей устойчивости, разрешается использовать упруго-пластическую работу стали. При изгибе в одной из главных плоскостей и при $\tau \le 0.9 \cdot R_s$ требуемый момент сопротивления определяется по формуле

$$W_{mp} = \frac{M}{c_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c},$$

где c_1 – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций по сечению.

Первоначально принимается $c_1 = 1{,}1$, а затем это значение уточняется в зависимости от отношения площади сечения полки A_f к площади сечения стенки A_w.

При $\frac{A_f}{A_w} = 0.25$ $c_1 = 1{,}19$;

При $\frac{A_f}{A_w} = 0.5$ $c_1 = 1{,}12$;

При $\frac{A_f}{A_w} = 1$ $c_1 = 1{,}07$.

При равномерно распределенной нагрузке относительный прогиб балки проверяется по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384}\frac{q^H \cdot l^3}{E \cdot J} \le \left[\frac{f}{l}\right].$$

Алгоритм подбора балки в виде сварного двутавра с равными полками

Для сечения рассматриваемого типа балки (рис. 60) рекомендуется применять стандартные размеры ширины выпускаемых листов: 500, 510, 600, 650, 670, 700, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 1500 мм, далее кратно 100 мм. В связи с этим необязательно принимать высоту сечения балки кратной 100 мм.

Для разрезных балок ориентировочно можно принимать величину отношения высоты сечения к длине балки в пределах $\frac{h}{l} = \frac{1}{10}...\frac{1}{13}$.

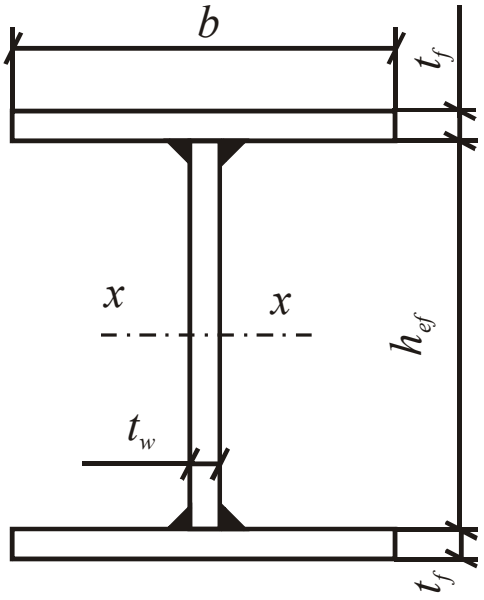


Рис. Сечение сварной балки.

Рекомендуемые толщины стенок балок

h, м	t_w, мм
0,5	6…8
1,0	8…10
1,5	10…12
2,0	12…14

1) Требуемый момент сопротивления

$$W_{mp} = \frac{M}{R_y \cdot \gamma_c};$$

2) Предварительно назначается высота сечения балки $h = \left(\frac{1}{10} ... \frac{1}{13}\right) l$ и толщина стенки t_w по таблице 2.

3) Оптимальная высота сечения по формуле:

$$h_{onm} = 1.15\sqrt{\frac{W_{mp}}{t_w}},$$

4) Минимальная высота сечения по формуле:

$$h_{\min} = \frac{5}{24}\frac{R_y \cdot l}{E} \cdot \left[\frac{l}{f}\right] \cdot \frac{q_H}{q},$$

5) Предварительно назначается толщина полок t_f. Ориентировочно можно принять:

$t_f = 8...10$ *мм* при $h = 0.5…1.0$ *м*

$t_f = 11...14$ *мм* при $h = 1.0…1.5$ *м*

$t_f = 14...20$ *мм* при $h = 1.6…2.0$ *м*

6) Принимается высота сечения балки *h,* с учетом $h_{опт}$, h_{min}, t_f и рекомендуемых размеров листов.

7) Требуемый момент инерции:

$$J_{mp} = W_{mp} \cdot \frac{h}{2},$$

8) Требуемый момент инерции полок:

$$J_{f,mp} = 2 \cdot t_f \cdot b \cdot \left(\frac{h_1}{2}\right)^2 = J_{mp} - J_w,$$

где $h_1 = h - t_f$; $J_w = \frac{t_w \cdot h_{ef}^3}{12}$; $h_{ef} = h - 2 \cdot t_f$.

9) Определяется требуемая ширина полки

$$b = \frac{1}{2} \cdot \frac{J_{mp} - J_w}{t_f} \left(\frac{2}{h_1}\right)^2.$$

Ширина полки должна находиться в пределах $b = \left(\frac{1}{3}...\frac{1}{5}\right)h$.

Если полученная величина «*b*» окажется вне указанных пределов, то надо изменить толщину полки t_f и вернуться к пункту 8.

10) Рекомендуется ширину полки принимать в соответствии с рядом размеров полос универсальной стали.

11) Проверяется ширина полки, исходя из ее местной устойчивости

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \le 0.5\sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

где $b_{ef} = \frac{b - t_w}{2}$.

12) Проверяется необходимость постановки продольных ребер жесткости

$$t_w \ge \frac{h_{ef}}{5.5}\sqrt{\frac{\sigma}{E}},$$

где $\sigma = \frac{M}{W_x} \le R_y \cdot \gamma_c$.

Перенапряжение не допускается, а недонапряжение рекомендуется получать таким, чтобы $\sigma = (0{,}95…1{,}0)R_y$.

Алгоритм определения несущей способности центрально сжатой стойки:

Несущая способность центрально сжатого стержня определяется по формулам:

$N_x = \varphi_x \cdot 2 \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c$;

$N_y = \varphi_y \cdot 2 \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c$

и принимается меньшая из них.

Вычисляем геометрические характеристики заданного сечения (A; J_x; i_x, J_y; i_y).

Если $i_y < i_x$, то расчетной осью является ось $y - y$, относительно которой гибкость будет больше, а коэффициент продольного изгиба меньше ($\varphi_y < \varphi_x$).

Определяем гибкость λ_y; φ

Вычисляем несущую способность центрально сжатого стержня.

Библиографический список

9.1 Основная литература

1. Кудишин, Ю.И. Металлические конструкции : учебник для вузов / Ю.И.Кудишин [и др.];под ред.Ю.И.Кудишина .— 9-е изд.,стер. — М. : Академия, 2007 .— 688с. : ил. — (Высшее профессиональное образование:Строительство) .— Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-7695-3603-9 (в пер.) : 484,00.

2. Нехаев, Г.А. Проектирование стального каркаса одноэтажного производственного здания : учеб. пособие для вузов .— М. : АСВ, 2009 .— 184 с. : ил. — Библиогр.: с.168 .— ISBN 978-5-93093-541-7 : 209,00.

3. Проектирование элементов балочной клетки из горячекатаных и холодногнутых тонкостенных профилей : учеб. пособие / Г. А. Нехаев ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2011 .— 123 с. : ил .— Библиогр.: с.107 .— ISBN 978-5-7679-2019-8.

9.2 Дополнительная литература

1. Нехаев, Г.А. Металлические конструкции в примерах и задачах : учеб. пособие / Г. А. Нехаев, И. А. Захарова .— М. : АСВ, 2010 .— 140 с. : ил .— Библиогр.: с. 139 .— ISBN 978-5-93093-716-9.

2. Нехаев, Г.А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления : учеб. пособие / Г.А.Нехаев .— М. : АСВ, 2005 .— 216с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-93093-366-9 : 158.84.

3. Металлические конструкции: Учебник для вузов: В 3 т. Т.1, Элементы конструкций / В.В.Горев, Б.Ю.Уваров, В.В.Филиппов и др.; Под ред. В.В.Горева.— 3-е изд., стер. — М. : Высш. шк., 2004 .— 551с. : ил. — ISBN 5-06-003695-2 (т.1) /в пер./ : 112.86 .— ISBN 5-06-003697-9.

4. Металлические конструкции: Учебник для вузов: В 3 т. Т.2, Конструкции зданий / В.В.Горев, Б.Ю.Уваров, В.В.Филиппов и др.; Под ред. В.В.Горева .— 3-е изд., стер. — М. : Высш. шк., 2004 . — 528с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-06-003696-0 (т.2) /в пер./ : 107.01 .— ISBN 5-06-003695-2.

5. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная версия СНиП II-23-81*. – М.: ФЦС, 2011. – 172 с.

6. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная версия СНиП 2.01.07-85*. – М.: ФЦС, 2011. – 80 с.