

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ
ФГОУ ВПО КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра металлических конструкций и
испытания сооружений

СТАЛЬНОЙ КАРКАС ОДНОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

Методические указания к курсовому проекту
по металлическим конструкциям
для специальности 270102
«Промышленное и гражданское
строительство»
и направления 270100 «Строительство»
(бакалавры)
(часть II)

Казань
2008

Составители: М.А.Дымолазов, О.И.Ефимов, Л.А.Исаева,
УДК 624.014(075.8)

Стальной каркас одноэтажного производственного здания. Методические указания к курсовому проекту для специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и направления 270100 «Строительство» (бакалавры) (часть II). /Издание четвёртое дополненное и переработанное/. Под редакцией О.И.Ефимова. Составители: М.А.Дымолазов, О.И.Ефимов, Л.А.Исаева. Казань: КГАСУ, 2008г.- 72с.

В части II указаний рассматриваются вопросы расчета и конструирования стропильных ферм и ступенчатых колонн. Предназначены для использования в курсовом и дипломном проектировании.

Библиография: 12 наименований.

Рецензент: Ф.Х.Ахметзянов – доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Казанского государственного архитектурно-строительного университета

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2008г.

5. Расчет и конструирование стропильной фермы

В качестве несущих конструкций покрытия в курсовом проекте следует предусмотреть стропильные фермы с треугольной решёткой со стойками с очертанием и геометрической схемой, выбранными в пункте 2.1. [11].

5.1. Расчётная схема

Если раньше при статическом расчёте рамы ферма (ригель) представлялась в виде единого стержня, то теперь, при её статическом расчёте ферма представляется в виде свободно опёртой шарнирно-стержневой системы, отвечающей выбранной конструктивной схеме фермы (см. рис. 5.2).

5.2. Нагрузки. Комбинации загрузений

Ригель, «вырезанный» из рамы, с приложенными к нему внешними нагрузками и реактивными силами, представлен на рис. 5.1. В общем случае, на него действуют: собственный вес покрытия - g ; снег - S ; реактивные моменты левый - M_l и правый - M_n , возникающие вследствие защемления фермы в колоннах; прикладываемые в уровне нижнего пояса фермы реактивные усилия распора - H_p от обжатия фермы колоннами.

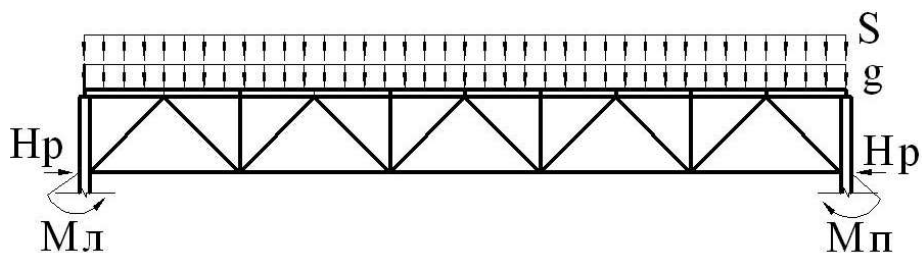


Рис. 5.1. Схема нагрузок, действующих на ферму

Равномерно распределённая по длине ригеля вертикальная нагрузка заменяется системой сосредоточенных сил, приложенных к узлам верхнего пояса фермы (см. рис. 5.2).

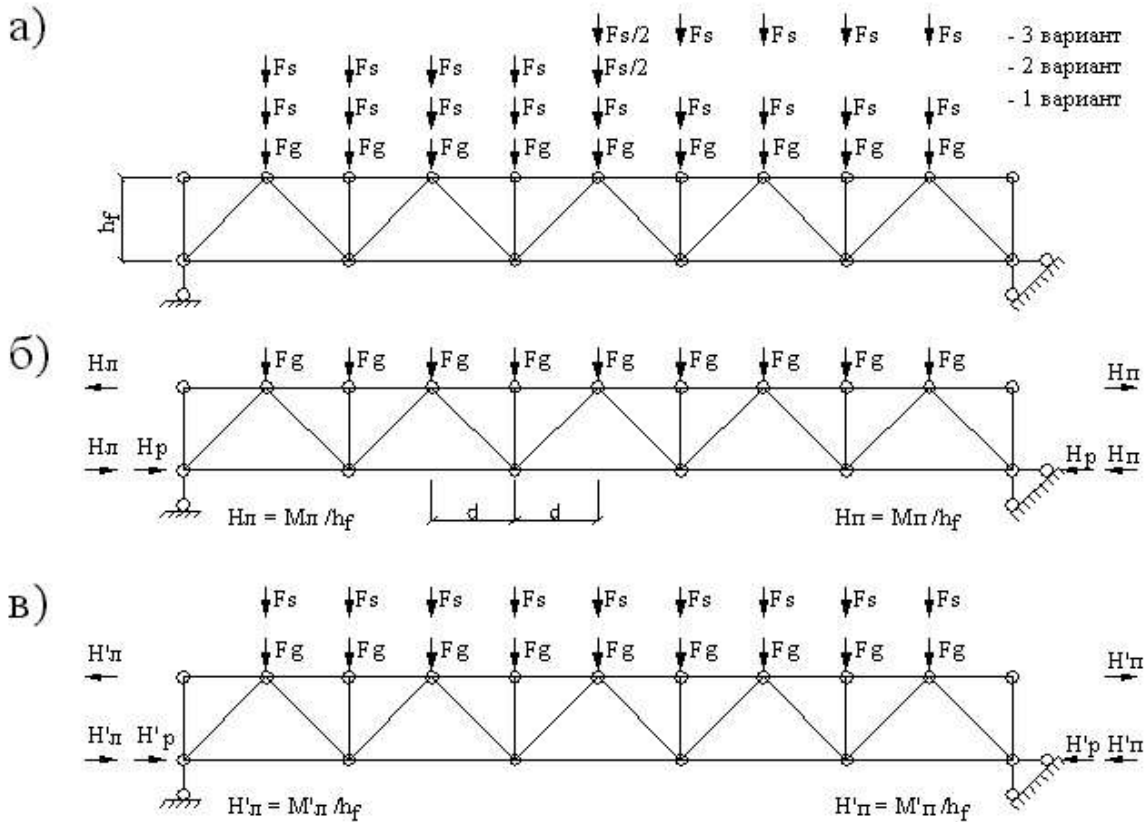


Рис. 5.2. Расчетные схемы фермы:

- а) для определения расчётных усилий в стержнях фермы; б) для проверки приопорных стержней нижнего пояса на возможное сжатие; в) для расчёта опорных узлов верхнего и нижнего поясов

Сосредоточенные расчётные вертикальные нагрузки в верхние узлы фермы от загрузки ригеля рамы собственным весом покрытия (постоянной нагрузкой) $F_g = g d$, аналогично, от загрузки снегом - $F_s = S d$. Здесь g и S - расчётные постоянная и снеговая погонные нагрузки на

ригель рамы (см. пункты 4.2.1. и 4.2.2. [11]), d - размер панели верхнего пояса фермы.

Моменты, возникающие от заземления фермы в колоннах, учитываются как нагрузки, приложенные на опорах свободно опертой фермы в виде пары горизонтальных сил (см. рис 5.2.б, в).

Из практики проектирования и эксплуатации стропильных ферм покрытий, определены наиболее неблагоприятные комбинации загружений, дающие расчётные внутренние усилия для подбора сечений стержневых элементов и расчёта узлов:

- комбинация загружений (см рис. 5.2.а), включающая загрузку постоянными нагрузками от собственного веса покрытия и загрузку снегом по всему пролёту, дающая расчётные внутренние усилия для подбора сечений всех, или почти всех, стержневых элементов и расчёта узлов, кроме опорных, (данная комбинация предполагает наличие возможных ошибок при монтаже в виде отсутствия крепления верхних опорных узлов фермы к колоннами и, как следствие, отсутствие разгружающих опорных моментов);
- комбинация (см. рис. 5.2.а), включающая загрузку постоянными нагрузками от собственного веса покрытия и загрузку снегом на правой или левой половине пролёта, возможно дающая расчётные внутренние усилия для подбора сечений раскосов и стойки, расположенных в середине фермы (как и в предыдущем случае, предполагается отсутствие разгружающих опорных моментов);
- комбинация (см. рис. 5.2.б), включающая загрузку фермы узловыми нагрузками от собственного веса покрытия, загрузку левым и правым опорными моментами и распором, возможно приводящая к появлению усилия сжатия в приопорных панелях нижнего пояса фермы (левый опорный момент M_n и соответствующая ему перерезывающая сила, равная

распору H_p , определяются по данным таблицы 4.2. [11] в сечении 4-4 при комбинации, учитывающей все возможные загрузки, кроме загрузки снегом, приводящей к возникновению максимального изгибающего момента, растягивающего наружные волокна колонны; правый опорный момент M_n определяется в сечении 5-5 (см. рис. 4.1 [11]) при этой же комбинации загрузок);

- комбинация (см. рис. 5.2.в), включающая нагружение фермы узловыми нагрузками от собственного веса покрытия и снега по всему пролету, нагружение левым и правым опорными моментами и распором, приводящая к максимальным усилиям в нижнем опорном узле фермы (левый опорный момент M'_l и соответствующая ему перерезывающая сила, равная распору H'_p , определяются по данным таблицы 4.2. [11] в сечении 4-4 при комбинации, учитывающей все возможные загрузки, приводящей к возникновению максимального изгибающего момента, растягивающего наружные волокна колонны; правый опорный момент M'_n определяется в сечении 5-5 (см. рис. 4.1 [11]) при этой же комбинации загрузок).

5.3. Общие замечания по статическому расчету фермы. Определение расчётных усилий в стержнях

Несмотря на то, что приходится рассматривать действие на ферму большого количества описанных выше комбинаций загрузок, статический расчёт выполняется всего для двух расчётных случаев действия единичных нагрузок: единичные вертикальные силы на левой половине фермы (см. рис. 5.3.а); единичный опорный момент на левой опоре фермы (см. рис. 5.3.б). При этом

очевидно, что от действия на ферму распора N_p продольные усилия возникают только в стержнях нижнего пояса и их величина равна распору. Определение усилий в стержнях фермы для обоих расчётных случаев может быть выполнено любым из известных методов строительной механики - методом вырезания узлов или методом сечений, либо с использованием прикладных программ на ЭЦВМ [8], [9]. Результаты статического расчёта, а затем и определение расчётных усилий, оформляются в табличной форме, куда заносятся усилия для стержней половины фермы, допустим левой. Примерная форма - см. таблицу 5.1.

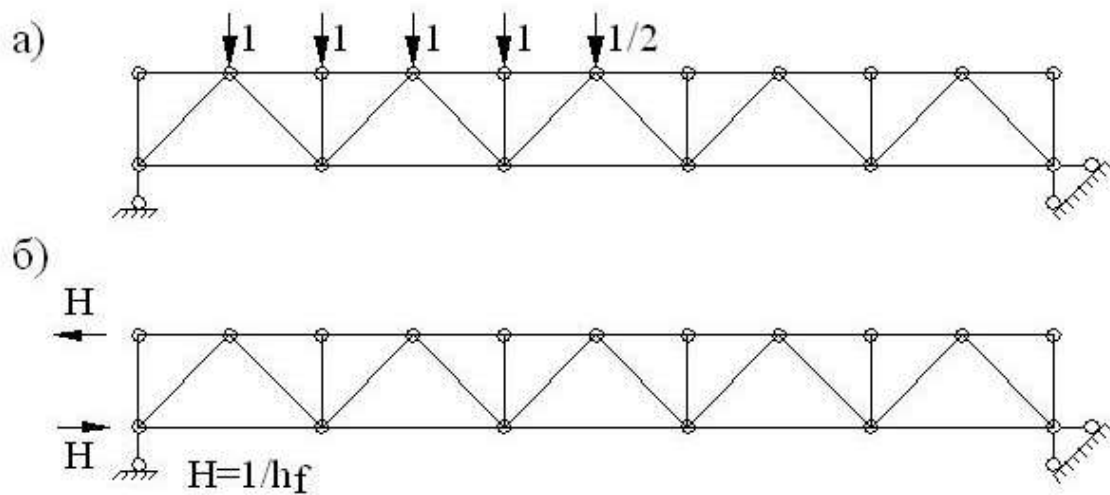


Рис. 5.3. Схемы приложения единичных нагрузок для статического расчёта:
 а) на действие вертикальных нагрузок; б) на действие опорных моментов

При заполнении таблицы значениями усилий в стержнях от единичных воздействий следует пользоваться приёмом «зеркального отображения». Например, из статического расчёта по рис. 5.3.а определено усилие N_{pl} в левом опорном раскосе и усилие N_{pr} в правом.

Теперь необходимо определить усилие в левом опорном раскосе, но при единичном нагружении правой половины фермы. Мысленно заглянув в «зеркало, поставленное напротив рис. 5.3.а», убеждаемся, что искомое усилие есть ранее найденное N_{pn} .

При определении расчётных усилий в стержнях фермы необходимо стремиться получать их максимальные значения по абсолютной величине, складывая усилия с одинаковыми знаками от разных нагружений. Принимая во внимание усилия от нагружения фермы снегом, надо помнить: снег может не действовать вообще; снег может действовать только на левую половину фермы; снег может действовать только на правую половину; снег может действовать на весь пролёт. Влияние защемления фермы в колоннах и распора следует учитывать, если эти факторы, действуя совместно, догружают стержень или меняют знак суммарного усилия в стержне.

5.4. Подбор сечений стержней стропильной фермы

В настоящее время широко применяются стропильные фермы со всеми стержневыми элементами из парных уголков, составленных в тавр, и фермы с поясами из прокатных тавров и решёткой из парных уголков, составленных в тавр. В рамках курсового проекта разрабатывается вариант фермы, указываемый преподавателем. Ниже приводятся рекомендации по расчёту и конструированию обоих вариантов.

5.4.1. Расчётные длины стержней фермы

Расчётные длины стержня в плоскости фермы l_{efx} и из плоскости фермы l_{efy} определяются в соответствии с

указаниями таблицы 11 [1]. При этом за расстояние между узлами верхнего пояса фермы, закрепленными от поперечного смещения из плоскости фермы при бесфонарном покрытии следует принимать: если несущими конструкциями кровли являются крупноразмерные железобетонные плиты - расстояние между смежными узлами пояса d ; если несущими конструкциями кровли являются профилированный настил и прогоны - расстояние между ближайшими узлами верхнего пояса, к которым примыкает решётка горизонтальной связевой фермы в торцевом блоке. Для стержневых элементов решётки за l_{efy} принимать расстояние между центрами соответствующих узлов.

Величины расчётных длин стержней заносятся в таблицу подбора сечений стержней, примерная форма которой см. таблицу 5.2.

5.4.2. Рекомендации по выбору типов тавровых сечений стержневых элементов

Выбор типов уголков для решётки (равнобокие или неравнобокие) осуществляется из соображений равноустойчивости стержня ($\lambda_x \approx \lambda_y$). При $l_{efx} = 0,8l_{efy}$ (решётка) наиболее рациональное сечение из двух равнобоких уголков. При $l_{efx} = l_{efy}$ (опорный раскос, верхний пояс) рационально сечение из двух неравнобоких уголков, составленных широкими полками. Однако, для повышения жёсткости фермы при транспортировании и монтаже, верхний пояс может приниматься с сечением из равнобоких уголков или даже неравнобоких, соединённых узкими полками. При $l_{efy} > l_{efx}$ (нижний пояс, верхний пояс) рационально сечение из неравнобоких уголков, составленных узкими полками.

Выбирая уголки по сортаменту, следует отдавать предпочтение более тонким уголкам. Количество типоразмеров уголков решётки не должно превышать 4. Разница в толщине профилей одинаковых габаритов должна быть не менее 2 мм. Минимальная ширина полки уголка 50 мм.

В фермах с поясами из тавров следует использовать прокатные тавры с индексом «Ш». При равной площади предпочтительны сечения с большими радиусами инерции.

В фермах пролетом до 30м включительно сечение верхнего и нижнего поясов назначается постоянным по длине фермы и подбирается по усилию в наиболее загруженной панели. В фермах пролетом 36м сечение поясов изменяется один раз (в верхнем поясе обычно в четвертом от опоры узле, считая опорный, в нижнем – во втором от опоры узле).

5.4.3. Подбор сечения сжатых стержней

При подборе сечения из двух уголков, составленных в тавр, для поясов, опорных раскосов и опорных стоек предварительное значение гибкости следует назначить в пределах $\lambda_0 = 80 \div 100$, для остальных стержней решётки $\lambda_0 = 100 \div 120$. Далее выполняется обычный расчет по подбору сечения для центрально сжатых стержней.

Требуемая площадь сечения центрально сжатого стержня

$$A_{cal} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c}, \quad (5.1)$$

где: N - расчётное продольное усилие в стержне; φ - коэффициент продольного изгиба при центральном сжатии, определяемый по таблице 72 [1] в зависимости от расчётного сопротивления стали R_y и предварительно

принятой гибкости λ_0 . Ориентировочные значения радиусов инерции будущего сечения стержня

$$i_x = l_{efx} / \lambda_0, \quad i_y = l_{efy} / \lambda_0 \quad (5.2)$$

Опираясь на эти три величины, из сортамента выбирается подходящие профили с несколько меньшей чем A_{cal} площадью. При выборе профилей необходимо учитывать зазор между уголками, равный толщине листовой фасонки, объединяющей стержни в узлах фермы. Толщина фасонки t_ϕ зависит от величины максимального усилия в раскосах, сходящихся в рассматриваемом узле. При $N \leq 250$ кН $t_\phi = 8$ мм, $N = 251 \div 400$ кН $t_\phi = 10$ мм, $N = 401 \div 600$ кН $t_\phi = 12$ мм, $N = 601 \div 1000$ кН $t_\phi = 14$ мм. Количество типоразмеров толщин фасонок на всю ферму должно быть не более 2.

Стержень, с назначенным таким образом сечением, проверяется на устойчивость по формуле

$$\frac{N}{\varphi_{min} A} \leq R_y \gamma_c, \quad (5.3)$$

где: A - площадь проверяемого сечения; φ_{min} - меньшее из значений коэффициентов продольного изгиба в плоскости φ_x и из плоскости φ_y , принимаемых по таблице 72 [1] в зависимости от действительных гибкостей стержня $\lambda_x = l_{efx} / i_x$ и $\lambda_y = l_{efy} / i_y$; i_x и i_y - радиусы инерции проверяемого сечения. При необеспечении устойчивости или значительном запасе сечение корректируется и вновь проверяется устойчивость стержня. Аналогично подбирается сечение из прокатного тавра.

Сечение слабонагруженных сжатых стержней решетки подбирается по предельной гибкости. Для чего, определяются минимально необходимые радиусы инерции подбираемого сечения $i_{x,min} = l_{efx} / [\lambda]$, $i_{y,min} = l_{yef} / [\lambda]$ и по ним из сортамента выбирается профиль. Предельная

гибкость $[\lambda]$ устанавливается по указаниям таблицы 19* [1]. В этом случае, проверка по (5.3) не производится.

Окончательные данные по принятым сечениям заносятся в таблицу 5.2.

5.4.4. Подбор сечения растянутых стержней

Требуемая площадь сечения растянутых стержней определяется по формуле

$$A_{cal} \geq \frac{N}{R_y \gamma_c} \quad (5.4)$$

По этому значению из сортамента выбирается необходимый профиль.

Гибкости растянутых стержней не должны превышать предельную гибкость $[\lambda]$, которая для них устанавливается по указаниям таблицы 20* [1]. При этом, расчётная длина нижнего пояса из плоскости фермы, как правило, равна расстоянию между узлами, к которым примыкают внутренние пояса продольных горизонтальных связевых ферм.

Данные по принятым здесь сечениям тоже заносятся в таблицу 5.2.

5.5. Расчет узлов и конструирование стропильной фермы из парных уголков

Для обеспечения совместной работы двух уголков, из которых состоит сечение стержневого элемента, между ними помещаются соединительные прокладки, устанавливаемые в соответствии требованиям пункта 5.7. [1].

Расчёты большинства узлов стропильной фермы сводятся к определению требуемой длины сварных угловых швов, прикрепляющих стержневые элементы к

объединяющей их листовой фасонке. Определение этих длин производится в табличной форме - см. таблицу 5.3. Здесь необходимо определить длины сварных швов прикрепления следующих стержневых элементов:

- всех раскосов;
- всех стоек;
- приопорного стержня нижнего пояса;
- стержней нижнего и верхнего поясов, примыкающих к узлам, где организуются изменения сечений поясов (при необходимости);
- стержней нижнего и верхнего поясов, примыкающих к узлам, где организуются монтажные укрупнительные стыки фермы.

Таблица 5.3

Длины сварных швов

Элемент	Расчетное усилие	Катет шва (мм)		Требуемая длина шва (см)				Принятая длина шва (см)	
		По перу	По обушку	По металлу шва		По границе сплавления		По перу	По обушку
				По перу	По обушку	По перу	По обушку		
	N_p	k_f^{nep}	$k_f^{об}$	l_{wf}^{nep}	$l_{wf}^{об}$	l_{wz}^{nep}	$l_{wz}^{об}$	l_w^{nep}	$l_w^{об}$

Требуемые длины сварных швов определяются формулами:

- по металлу шва

$$l_{wf}^{nep} = \frac{N_p \frac{z_0}{b}}{2\beta_f k_f^{nep} R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + l_{cm} ; \quad (5.5)$$

$$l_{wf}^{об} = \frac{N_p \frac{b-z_0}{b}}{2\beta_f k_f^{об} R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + l_{cm}$$

- по металлу границы сплавления

$$l_{wz}^{nep} = \frac{N_p \frac{z_0}{b}}{2\beta_z k_f^{nep} R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} + l_{cm} . \quad (5.6)$$

$$l_{wz}^{об} = \frac{N_p \frac{b-z_0}{b}}{2\beta_z k_f^{об} R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} + l_{cm}$$

Здесь: b - ширина нахлёстываемой на листовую фасонку полки уголка; z_0 - расстояние от обушка до центра тяжести уголка в направлении параллельном листовой фасонке; β_f и β_z - коэффициенты, характеризующие глубину проплавления и определяемые в соответствии с требованиями пункта 11.2 и таблицы 34 [1]; R_{wf} и R_{wz} - расчётные сопротивления сварного углового шва по металлу шва и металлу границы сплавления соответственно, принимаемые по указаниям таблиц 55, 56 и 3 [1]; γ_{wf} и γ_{wz} - коэффициенты условий работы шва, принимаемые по указаниям пункта 11.2 [1].

При назначении катетов сварных швов k_f^{nep} и $k_f^{об}$ учитывается следующее:

- количество типоразмеров катетов сварных швов - не более 3-х на всю ферму;

- минимальный катет шва - 4 мм, но не менее значений, указанных в таблице 38* [1];
- максимальный катет шва по перу уголка
 $k_f^{nep} \approx 0,8t$, по обушку $k_f^{об} \approx 1,2t$ (t - толщина полки уголка).

Для облегчения конструирования узлов фермы рекомендуется катет шва по обушку принимать на 1-2 мм больше катета шва по перу.

За окончательные длины сварных швов принимаются максимальные, из найденных по формулам (5.5) и (5.6), округленные в большую сторону до числа кратного 1 см, при этом должны быть выполнены требования пункта 12.8 в, г [1] по минимально и максимально возможным расчётным длинам шва.

Конструирование рядовых узлов фермы (см. рис. 5.4) производится на эскизе (чертеже) в следующей последовательности.

В сварных фермах центрирование стержней в узлах производится по осям, проходящим через центры тяжести сечений стержней. Поэтому, вначале изображаются сходящиеся в одну точку (центр) оси стержней, примыкающих к рассматриваемому узлу.

Наносятся габариты сечений стержневых элементов (ширина накладываемой на листовую фасонку полки уголка), при этом расстояние z_0 округляется до числа кратного 5 мм в большую сторону.

Принимая во внимание то, что концы стержней решётки не доводят до пояса на расстояние a (величина см. пункт 13.9* [1]) и то, что обрезку уголков стержней решётки предусматривают, преимущественно, перпендикулярно оси стержня, наносят положение торцов этих стержней.

От углов раскосных стержней откладывают принятые длины сварных швов, накладываемых по перу и обушку присоединяемого к листовой фасонке уголка.

После этого на эскизе узла наносятся границы листовой фасонки простого очертания (прямоугольник, реже трапеция) так, чтобы на ней умещались все сварные швы нужной длины.

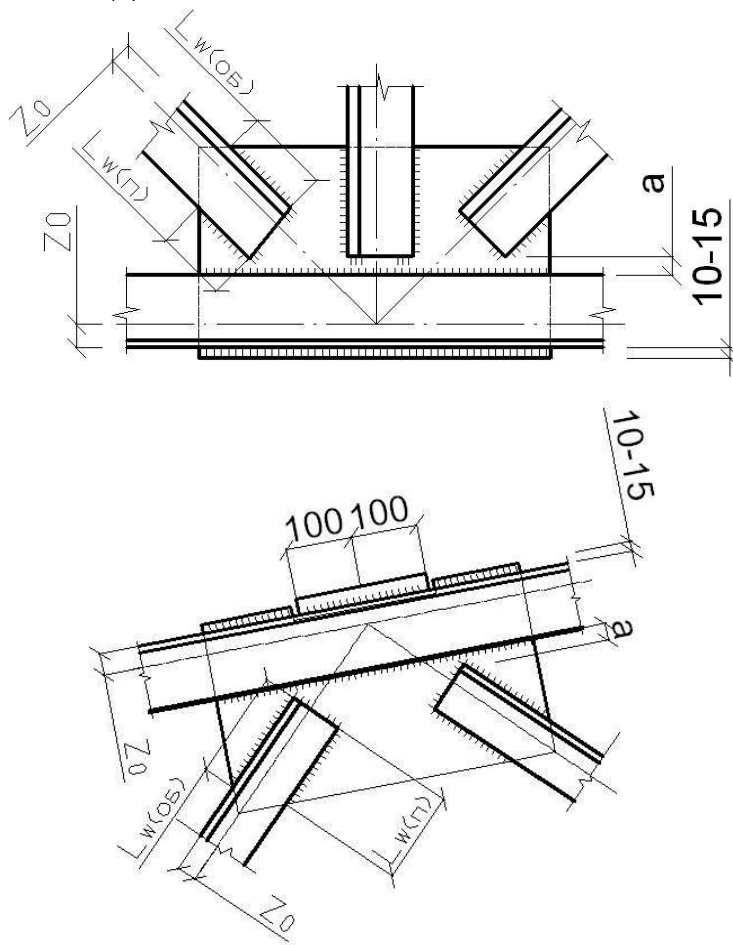


Рис. 5.4.
Рядовые узлы
фермы из
парных
уголков

Сплошные сварные швы, присоединяющие поясные уголки к листовой фасонке, рассчитываются на восприятие сдвигающего усилия, равного сумме проекций усилий в раскосах на ось пояса. Однако, при подобной последовательности конструирования рядовых узлов, эти швы получаются, как правило, с длиной большей, чем необходимо и, потому, в проверке их несущей способности не нуждаются.

В укрупнительном узле (см. рис. 5.5) горизонтальные накладки "1" принимаются толщиной 12-14мм и шириной примерно на 20мм больше ширины горизонтальной полки

поясного уголка, при этом площадь сечения каждой из них A_{Γ} должна быть не менее площади сечения перекрываемой горизонтальной полки уголка. Накладки “2” принимаются толщиной, равной толщине листовых фасонок t_{ϕ} в данном узле. Высота этих накладок l определяется из условия

$$l \geq \frac{N - 2A_{\Gamma}R_y\gamma_c}{2t_{\phi}R_y\gamma_c}, \quad (5.7)$$

где N – максимальное усилие в поясах. И здесь, площадь сечения каждой из вертикальных накладок $A_B = lt_{\phi}$ должна быть не менее площади сечения вертикальной полки поясного уголка.

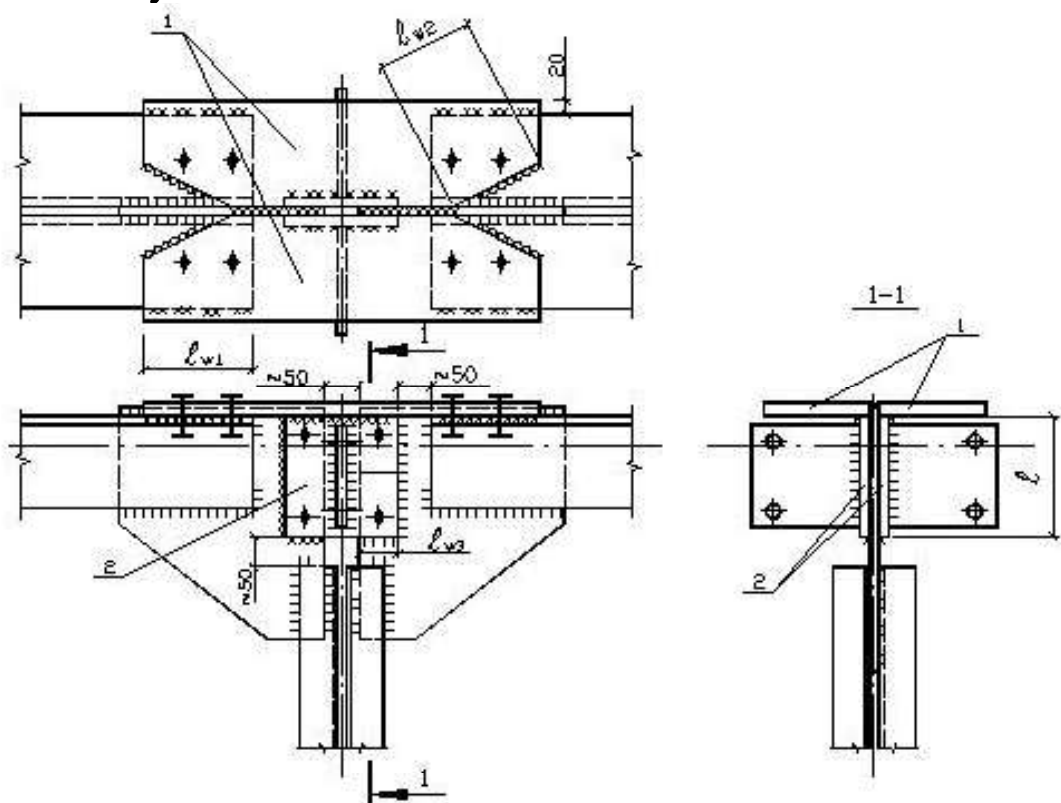


Рис 5.5. Укрупнительный узел верхнего пояса

Усилие, приходящееся на горизонтальную накладку

$$N_{\Gamma} = \frac{NA_{\Gamma}}{2(A_{\Gamma} + A_B)} \quad (5.8)$$

Следовательно, требуемая длина сварных швов, прикрепляющих горизонтальную накладку к поясу есть большее из значений:

- по металлу шва

$$l_{w1} + l_{w2} \geq \frac{N_{\Gamma}}{\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 2 \text{ см};$$

- по металлу границы сплавления

$$l_{w1} + l_{w2} \geq \frac{N_{\Gamma}}{\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} + 2 \text{ см}.$$

(5.9)

Здесь увеличение длины на 2см предполагает то, что швы завариваются раздельно в два приёма.

Усилие, приходящееся на вертикальную накладку

$$N_B = \frac{N A_B}{2(A_{\Gamma} + A_B)}.$$

(5.10)

Аналогично, требуемая длина сварного шва, прикрепляющего вертикальную накладку к листовой фасонке есть большее из значений:

- по металлу шва

$$l + l_{w3} \geq \frac{N_B}{\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 1 \text{ см};$$

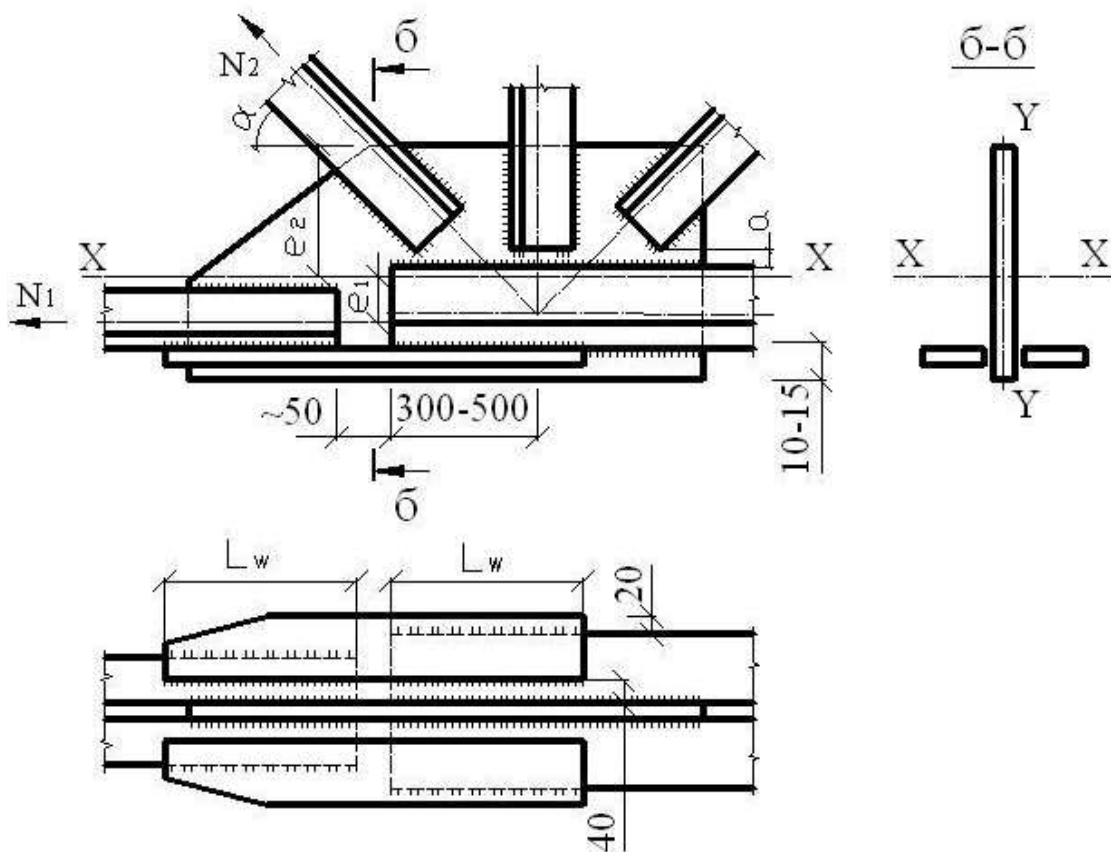
- по металлу границы сплавления

$$l + l_{w3} \geq \frac{N_B}{\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} + 1 \text{ см}.$$

(5.11)

Теперь, зная требуемые длины сварных швов, прикрепляющих уголки пояса и уголки стойки к листовой фасонке, на эскизе (чертеже) конструируется узел (см. рис. 5.5), посредством чего и определяются нужные размеры листовых фасонки и накладок. Укрупнительный узел нижнего пояса конструируется аналогично.

Узел нижнего пояса фермы с изменением сечения пояса представлен на рис. 5.6. Вначале он конструируется аналогично рядовым узлам, в результате чего устанавливаются габариты листовой фасонки.



5.6. Узел с изменением сечения пояса

Горизонтальные накладки по полкам поясных стержней принимаются толщиной приблизительно равной толщине полки более мощного уголка. Суммарная длина сварных швов, прикрепляющих горизонтальную накладку к уголку любой части пояса, большая из величин:

- по металлу шва

$$l_w \geq \frac{A_H R_y \gamma_c}{2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 1 \text{ см};$$

- по металлу границы сплавления (5.12)

$$l_w \geq \frac{A_H R_y \gamma_c}{2\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} + 1 \text{ см}.$$

Здесь A_H - площадь поперечного сечения горизонтальной накладки. Кроме этого, необходимо

проверить уровень нормальных напряжений в основном металле фасонки и накладок (сечение б-б)

$$\sigma = \frac{N_1 + N_2 \cos \alpha}{A^{\text{б-б}}} + \frac{N_2 e_2 \cos \alpha - N_1 e_1}{W_{X \min}^{\text{б-б}}} \leq R_y \gamma_c, \quad (5.13)$$

где: $A^{\text{б-б}}$ - площадь сечения б-б; $W_{X \min}^{\text{б-б}}$ - минимальный момент сопротивления сечения б-б относительно центральной оси X-X. Эксцентриситеты e_1 и e_2 определяются после определения положения центральной оси X-X сечения б-б.

Окончательные размеры опорного узла нижнего пояса (см. рис.5.7) устанавливаются после проверки несущей способности двух сварных швов, прикрепляющих опорные рёбра к листовой фасонке (w_{ϕ}) и трёх сварных швов, прикрепляющих опорные рёбра к колонне (w_k).

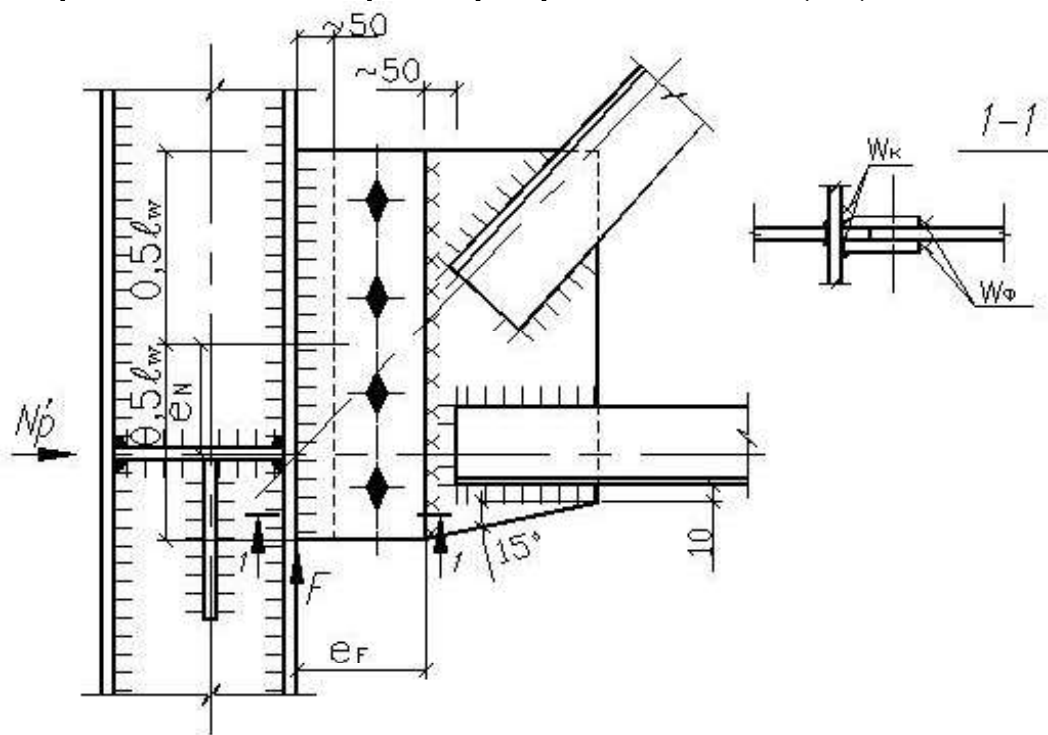


Рис 5.7. Опорный узел нижнего пояса

Вначале на эскизе (чертеже) компоуется опорный узел исходя из требуемых длин сварных швов, прикрепляющих опорный раскос и нижний пояс к листовой фасонке, и

нахлёста листовой фасонки на опорные рёбра приблизительно в 100мм. Таким образом выявляются первоначальная длина l_W и эксцентриситет e_N . Затем производится проверка несущей способности выше оговоренных сварных швов. Для швов w_ϕ

- по металлу шва

$$\tau_{wf}^R = \sqrt{\tau_{wfg}^2 + \tau_{wfv}^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.14)$$

- по металлу границы сплавления

$$\tau_{wz}^R = \sqrt{\tau_{wzg}^2 + \tau_{wzv}^2} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c. \quad (5.15)$$

Здесь
$$\tau_{wfg} = \frac{(Fe_F - N'_p e_N) \delta}{2\beta_f k_f (l_W - l)^2} + \frac{N'_p}{2\beta_f k_f (l_W - l)}; \quad (5.16)$$

$$\tau_{wfv} = \frac{F}{2\beta_f k_f (l_W - l)}; \quad (5.17)$$

$$\tau_{wzg} = \frac{(Fe_F - N'_p e_N) \delta}{2\beta_z k_f (l_W - l)^2} + \frac{N'_p}{2\beta_z k_f (l_W - l)}; \quad (5.18)$$

$$\tau_{wzv} = \frac{F}{2\beta_z k_f (l_W - l)}, \quad (5.19)$$

где: F - опорная реакция фермы (проекция расчётного усилия в опорном раскосе на вертикальную ось); N'_p - сила обжатия нижнего пояса фермы колоннами, $N'_p = H'_l + H'_p$ (см. рис. 5.2.в).

Аналогично, для швов w_k по формулам (5.14) и (5.15), но в этом случае:

$$\tau_{wfg} = \frac{N'_p e_N \delta}{3\beta_f k_f (l_W - l)^2} + \frac{N'_p}{3\beta_f k_f (l_W - l)}; \quad (5.20)$$

$$\tau_{wfv} = \frac{F}{3\beta_f k_f (l_W - l)}; \quad (5.21)$$

$$\tau_{wzg} = \frac{N'_P e_N b}{3\beta_z k_f (l_W - l)^2} + \frac{N'_P}{3\beta_z k_f (l_W - l)}; \quad (5.22)$$

$$\tau_{wzv} = \frac{F}{3\beta_z k_f (l_W - l)}. \quad (5.23)$$

При недостаточной несущей способности проверяемых швов, размер l_W увеличивается, вновь определяется эксцентриситет e_N и заново проверяется несущая способность увеличенных сварных швов.

5.6. Расчет узлов и конструирование стропильной фермы с поясами из тавров

Стальные фермы с поясами из прокатных тавров серии "Ш" конструируют с решеткой из парных (сжатых) и одиночных (растянутых, а также сжатых в средней части фермы) уголков.

Решетку таких ферм можно прикреплять непосредственно к стенке тавра без фасонки, что существенно упрощает их изготовление за счет снижения числа деталей и позволяет снизить расход стали на 10-12%.

Определение требуемой длины сварных угловых швов, прикрепляющих стержневые элементы к стенке тавра, выполняется так же, как и в случае прикрепления парных уголков к листовой фасонке (формулы 5.5 и 5.6).

Если швы крепления стержней решетки не удастся полностью разместить в пределах стенки тавра, то их размещают на фасонке, приваренной встык к стенке заподлицо с одной из ее граней (см. рис. 5.8). В этом случае рядовые узлы конструируются аналогично узлам ферм из парных уголков (см. стр. 15-16). При этом длина фасонки должна быть не меньше требуемой длины стыкового шва, которая определяется по формуле

$$l_{w,cal} \geq \frac{N_i - N_{i+1}}{tR_{ws}\gamma_c} + 2t, \quad (5.24)$$

где: $(N_i - N_{i+1})$ - разность усилий в примыкающих к узлу панелях пояса; R_{ws} - расчетное сопротивление сварного стыкового шва срезу, принимается по таблице 3 [1]; t - расчетная толщина шва, равная толщине наиболее тонкого из соединяемых элементов (фасонки или стенки) при подваренном корне шва. Особенностью рассматриваемых узлов является то, что для обеспечения местной устойчивости фасонки и стенки в зоне крепления сжатого раскоса, один из его уголков заводится на стенку тавра, при этом необходимо избегать пересечения сварных швов (см. рис. 5.8).

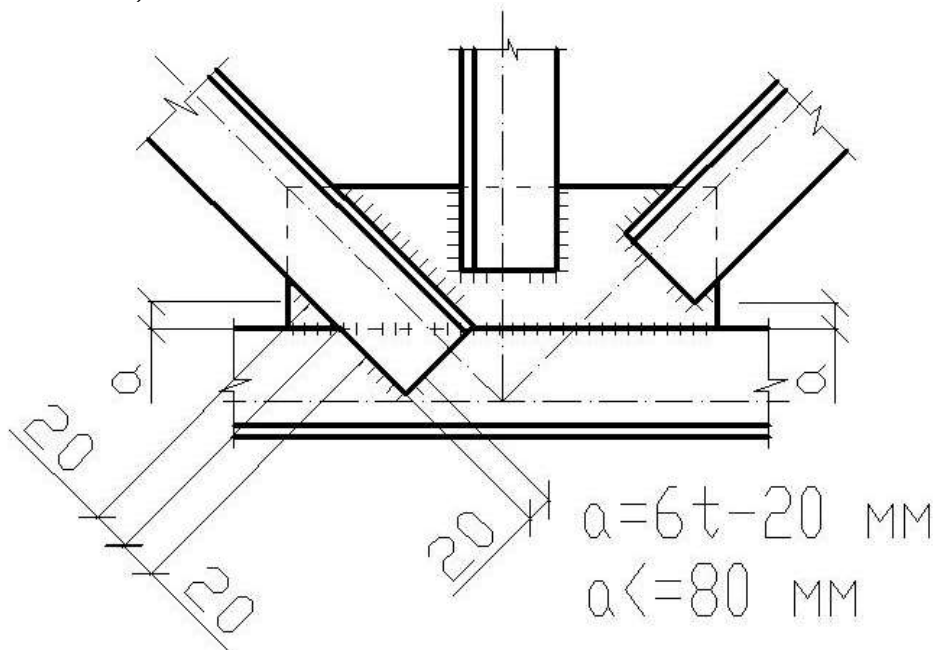


Рис. 5.8. Схема узла нижнего пояса фермы

Изменение сечений поясов выполняется встык (см. рис. 5.9) или с помощью горизонтальной накладки и вертикальной листовой вставки, обеспечивающей плавный переход от большего сечения к меньшему в виде скоса с уклоном 1:3 (см. рис. 5.10). Место стыка поясных элементов располагается на расстоянии не менее 100 мм от

края узловых швов. Для обеспечения равнопрочности наплавленного и основного металла заводского сварного соединения встык сварочные материалы назначаются в соответствии с приложением 2 [1]. Площадь сечения горизонтальной накладке должна быть не менее площади сечения полки меньшего тавра.

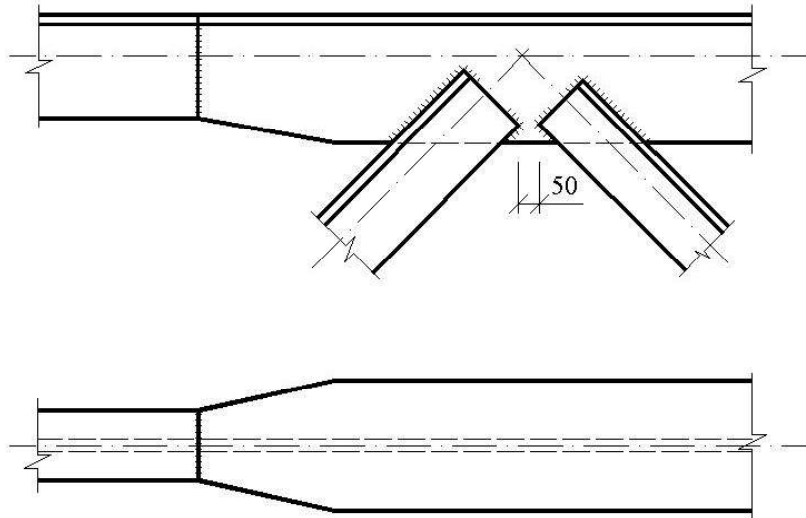


Рис. 5.9. Узел со стыком верхнего пояса фермы

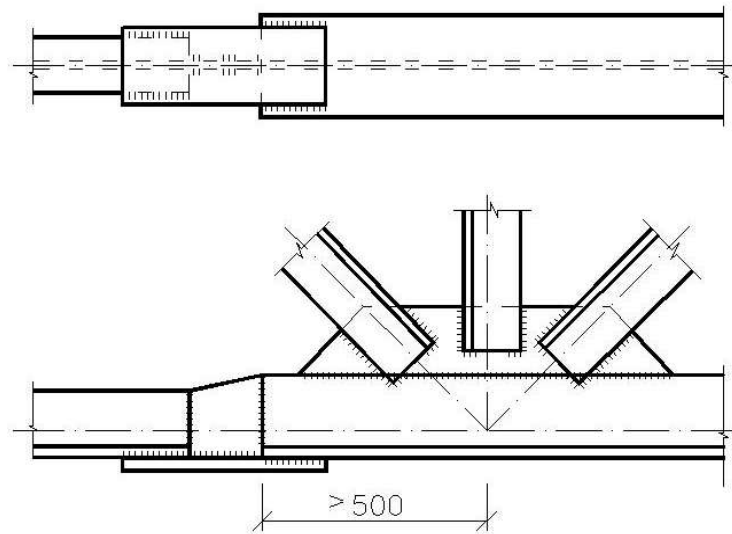


Рис. 5.10. Узел со стыком нижнего пояса фермы

Толщину вертикальной листовой вставки принимают не меньше толщины стенки меньшего из стыкуемых тавров.

Укрупнительный стык отпавочных марок фермы выполняется на сварке или высокопрочных болтах с использованием листовых накладок (см. рис. 5.11). Площадь сечения накладок и суммарная длина сварных швов, прикрепляющих накладки, определяются так же, как в аналогичных узлах ферм из парных уголков. При использовании болтовых укрупнительных стыков несущую способность болтов и их требуемое количество определяют по п.11.7, 11.8 или 11.13 [1].

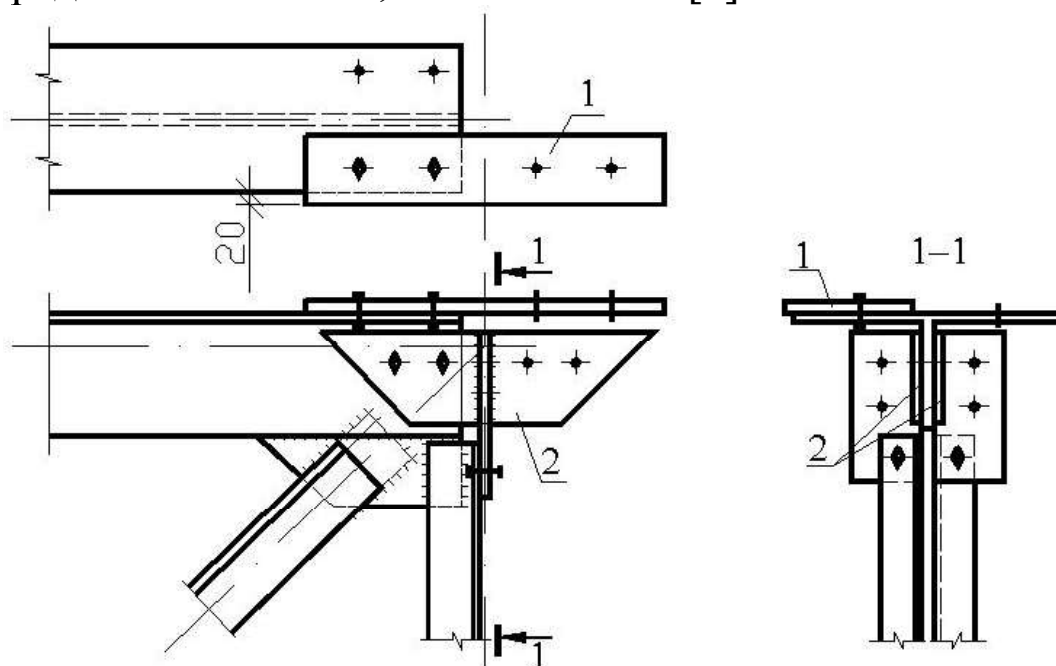


Рис. 5.11. Укрупнительный узел верхнего пояса фермы

Как уже отмечалось ранее при жестком сопряжении фермы с колонной в нижнем опорном узле происходит передача как вертикального опорного давления фермы, так и горизонтального усилия от опорного момента и распора.

Проверка несущей способности швов w_k , прикрепляющих фланец к фасонке (см. рис. 5.12), выполняется аналогично фермам из спаренных уголков по формулам (5.14) и (5.15), но с учетом того, что фасонка крепится к фланцу двумя сварными швами.

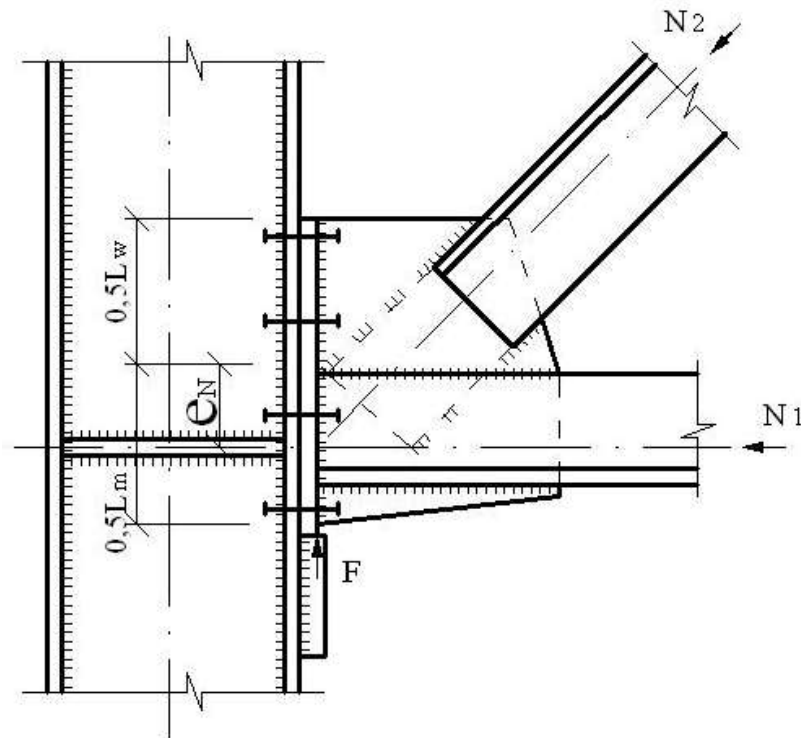


Рис. 5.12. Схема нижнего опорного узла фермы

Для крепления опорного фланца к полке колонны обычно используют болты грубой или нормальной точности и ставят их в отверстия на $3\div 4$ мм больше диаметра болта, при этом вертикальное давление стропильной фермы на колонну передается через опорный столик.

Опорный столик делают из листа толщиной $30\div 40$ мм, с размерами, превышающими толщину и ширину опорного фланца на $10\div 20$ мм. Высоту опорного столика определяют из условия размещения угловых швов, прикрепляющих столик к колонне. Угловые швы рассчитывают на опорное давление ригеля, увеличенное на двадцать процентов, что связано с возможным несовпадением торца опорного фланца с плоскостью верхней грани опорного столика.

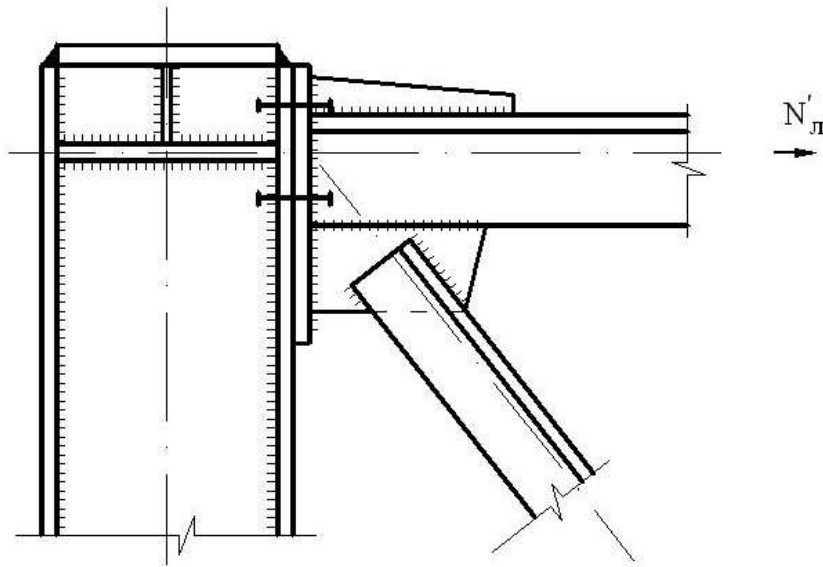


Рис. 5.13. Опорный узел верхнего пояса фермы

В узле крепления верхнего пояса к колонне, воспринимающем только усилие растяжения от опорного момента в ригеле, следует размещать болты симметрично относительно центра тяжести сечения тавра пояса. Диаметр и материал болтов для крепления назначают конструктивно, а их требуемое количество (не менее двух) определяется формулой

$$n = \frac{N'_л}{A_{bn} R_{bt} \gamma_c}, \quad (5.25)$$

где A_{bn} - площадь сечения болта по резьбе (нетто); R_{bt} - расчетное сопротивление болта растяжению (см. табл. 58* [1]).

6. Расчет и конструирование ступенчатой колонны

6.1. Определение расчетных длин участков ступенчатой колонны

Для одноступенчатых колонн одноэтажных промышленных зданий, жестко закрепленных в фундаментах при помощи анкерных болтов, значения коэффициентов приведения расчетной длины в плоскости рамы определяются раздельно: для нижнего μ_{x1} и верхнего μ_{x2} участков колонны. Коэффициент μ_{x1} следует принимать в зависимости от отношения погонных изгибных жесткостей участков (см. рис. 4.1. [11])

$$n = \frac{J_2 l_1}{J_1 l_2} \quad (6.1)$$

и величины отношения критических сил потери устойчивости по участкам

$$\alpha_1 = \frac{l_2}{l_1} \sqrt{\frac{J_1}{J_2 \beta}} \quad (6.2)$$

где: J_1, l_1, J_2, l_2 - моменты инерции сечений и длины соответственно нижнего и верхнего участков колонны (рис. 6.1.);

$$\beta = \frac{F_1 + F_2}{F_2} \quad (6.3)$$

Здесь $F_1 = D_{max}$ (см. п.4.2.3 [11]); F_2 - опорное давление ригеля от действия на него нагрузки от собственного веса и снега (см. табл. 4.2 [11] сеч. 4-4).

При верхнем конце колонны, закрепленном от поворота и возможности его свободного смещения вдоль рамы, коэффициент μ_{x1} определяется по табл. 68 [1].

Коэффициент расчетной длины μ_{x2} для верхнего участка колонны следует определять по формуле:

$$\mu_{x2} = \mu_{x1} / \alpha_1 \leq 3 \quad (6.4)$$

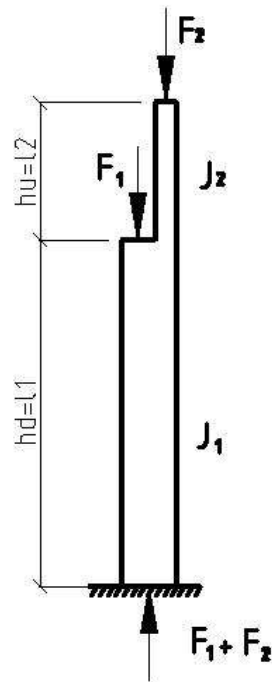


Рис. 6.1. Схема
одноступенчатой колонны
(к определению μ)

Из плоскости рамы участки ступенчатой колонны считаются закрепленными шарнирно и, поэтому, коэффициенты приведения расчетной длины μ_{y1} , μ_{y2} принимаются равными единице. Расчетные длины участков колонны в плоскости и из плоскости рамы определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 l_{efx1} &= \mu_{x1} \times l_1 & l_{efx2} &= \mu_{x2} \times l_2 \\
 l_{efy1} &= \mu_{y1} \times l_1 & l_{efy2} &= \mu_{y2} \times (l_2 - h_b) \quad (6.5)
 \end{aligned}$$

(h_b - высота подкрановой балки)

6.2. Расчет и конструирование надкрановой части колонны

Предварительный подбор сечения верхней части колонны производят по приближенной формуле Ясинского:

$$A_{cal} = \frac{N}{R_y} \left(1,25 + 2,2 \frac{e_x}{h} \right) \quad (6.6)$$

N - расчетное продольное усилие; $e_x = M_x / N$ - эксцентриситет действия продольной силы; M_x - расчетный изгибающий момент; $h = b_u$ - высота

сечения колонны (определяется при компоновке поперечной системы каркаса см. п. 2.1. [11]).

Расчетные значения продольной силы N и изгибающего момента M_x на участке колонны следует выбирать по данным табл. 4.2 [11] для сечений 3-3 или 4-4 (рис. 4.1 [11]) при одной и той же комбинации нагрузок. При этом за расчетные значения N и M_x принимаются такие для которых значение A_{cal} (по 6.6) максимально.

Составное сварное сечение верхней части колонны комплектуется из трех листов (рис. 6.2), которые должны соответствовать ГОСТ 82-70* “Сталь широкополосная универсальная” (см. приложение 1 [11]).

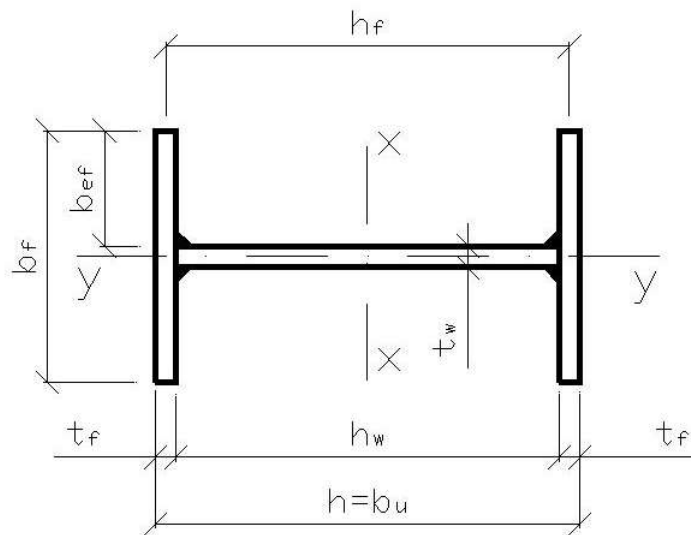


Рис. 6.2. Сечение верхней части колонны

Сначала определяются размеры стенки колонны $h_w \approx h - 2 \cdot (1 \div 2) \text{ см}$, $t_w \approx h_w / (60 \div 120)$, $t_w \geq 8 \text{ мм}$. (6.7)

Размеры полки колонны назначают из условий:

$$t_f \geq 8 \text{ мм}; t_f \leq 3 \cdot t_w;$$

$$b_f \leq h = b_u; b_f \geq \frac{A_{cal} - A_w}{2t_f}; \quad (6.8)$$

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0.5 \sqrt{\frac{E}{R_y}}; \frac{b_f}{l_2} \geq \frac{1}{20} \div \frac{1}{30} \quad (6.9)$$

Далее производится проверка несущей способности верхней части колонны с подобранным сечением.

По назначенным размерам сечения определяются его фактические геометрические характеристики: A - площадь поперечного сечения; J_x, J_y - моменты инерции сечения относительно центральных осей X-X и Y-Y; W_x - момент сопротивления крайних фибр сечения относительно оси X-X; i_x, i_y - радиусы инерции сечения относительно центральных осей X-X и Y-Y.

Определяются гибкости и условные гибкости стержня верхней части колонны в плоскости и из плоскости рамы:

$$\lambda_x = \frac{l_{efx}}{i_x}; \quad \bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{R_y / E}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{efy}}{i_y}; \quad \bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{R_y / E} \quad (6.10)$$

Для проверки устойчивости верхней части колонны в плоскости действия момента предварительно находят приведенный относительный эксцентриситет

$$m_{efx} = \eta \cdot m_x, \quad (6.11)$$

где: η – коэффициент влияния формы сечения (определяется по табл.73 [1]), зависящий от отношения площади сечения полки к площади сечения стенки A_f / A_w , условной гибкости стержня колонны $\bar{\lambda}_x$ и относительного эксцентриситета $m_x = e_x A / W_x$, здесь e_x - эксцентриситет действия силы см. (6.6).

В зависимости от $\bar{\lambda}_x$ и m_{efx} по табл. 74 [1] определяется коэффициент продольного изгиба при внецентренном сжатии φ_e . Проверка обеспечения устойчивости колонны в плоскости рамы выполняется по формуле

$$\frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \gamma_c \quad (6.12)$$

При изгибе колонны в плоскости наибольшей жесткости ($J_x > J_y$) необходимо выполнить проверку обеспечения устойчивости участка колонны из плоскости действия момента.

Так как в этом случае верхний участок колонны принят с шарнирно закрепленными концами, его устойчивость определяют изгибающие моменты в сечениях средней части участка. Поэтому, здесь при определении относительного эксцентриситета m_x за расчетный изгибающий момент принимается максимальный момент в пределах средней трети длины участка (но не менее половины наибольшего по длине участка момента).

Устойчивость верхней части колонны из плоскости рамы проверяется по формуле

$$\frac{N}{c \varphi_y A} \leq R_y \gamma_c \quad (6.13)$$

Здесь коэффициент c следует определять:

$$\text{при } m_x \leq 5 \text{ по формуле } c = \beta / (1 + \alpha \cdot m_x); \quad (6.14)$$

$$\text{при } m_x \geq 10 \text{ по формуле } c = 1 / (1 + m_x \cdot \varphi_y / \varphi_b), \quad (6.15)$$

где α и β - коэффициенты, принимаемые по табл. 10 [1]; φ_b - коэффициент, определяемый по прил. 7 [1]; φ_y - коэффициент продольного изгиба при центральном сжатии, находится по табл. 72 [1] в зависимости от $\lambda_y = l_{efy2} / i_y$ и R_y .

При определении коэффициента β по табл. 10 [1] значения коэффициента продольного изгиба φ_c находят по табл. 72 [1] при гибкости $\lambda_c = 3,14 \sqrt{E / R_y}$.

Если значения относительного эксцентриситета лежат в пределах $5 < m_x < 10$, то значение c определяются формулой

$$c = c_5(2 - 0,2m_x) + c_{10}(0,2m_x - 1), \quad (6.16)$$

где c_5 - определяется по формуле (6.14) при $m_x = 5$, а c_{10} - по формуле (6.15) при $m_x = 10$.

В случае, если гибкость $\lambda_y > \lambda_c = 3,14 \sqrt{E / R_y}$ коэффициент c не должен превышать значения

$$c = \frac{2}{\left[1 + \delta + \sqrt{(1 - \delta)^2 + \frac{16}{\mu} \left(\frac{M_x}{Nh_f} \right)^2} \right]} \quad (6.17)$$

где $\delta = 4\rho / \mu$; $\rho = (J_x + J_y) / (Ah_f^2)$

$$\mu = 2 + 0,156\lambda_y^2 J_t / (Ah_f^2); \quad J_t = 0,433 \sum b_i t_i^3$$

Здесь b_i, t_i - ширина и толщина листов, образующих сечение.

После проверок, выполняемых по формуле (6.12), (6.13), следует проверять местную устойчивость полок и стенки принятого сечения колонны. Местная устойчивость полок колоны будет обеспечена, если при $0,8 \leq \bar{\lambda}_x \leq 4$ отношение b_{ef} / t_f не будет превышать значений, определяемых по формуле

$$b_{ef} / t_f \leq (0,36 + 0,1\bar{\lambda}_x) \sqrt{E / R_y}. \quad (6.18)$$

При значениях $\bar{\lambda}_x < 0,8$ и $\bar{\lambda}_x > 4$ предельно допустимое отношение ширины свеса пояса к его толщине определяется формулой (6.18) с подстановкой соответственно $\bar{\lambda}_x = 0,8$ и $\bar{\lambda}_x = 4$.

Для проверки местной устойчивости стенки необходимо сначала найти параметр α , характеризующий

полноту эпюры нормальных напряжений сжатия в стенке (рис 6.3)

$$\alpha = (\sigma - \sigma_1) / \sigma , \quad (6.19)$$

где $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{J_x} y_c$ - наибольшее сжимающее

напряжение у границы стенки, $\sigma_1 = \frac{N}{A} - \frac{M_x}{J_x} y_p$ -

соответствующее напряжение у противоположной границы стенки. Оба напряжения берутся со своими знаками.

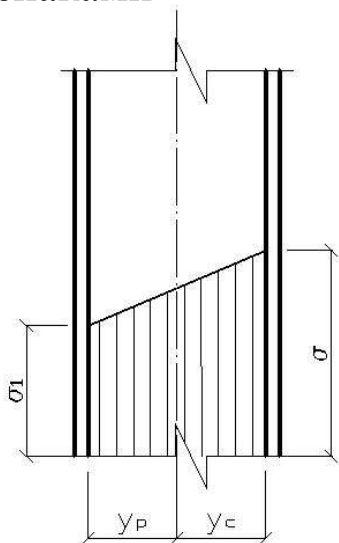


Рис 6.3.
К определению параметра α

Если $\alpha \leq 0,5$, предельное отношение h_w / t_w не должно превышать значения $\bar{\lambda}_{uw} \sqrt{E / R_y}$. Здесь при $\bar{\lambda}_x < 2$ $\bar{\lambda}_{uw} = 1,3 + 0,15 \bar{\lambda}_x^2$, а при $\bar{\lambda}_x \geq 2$ $\bar{\lambda}_{uw} = 1,2 + 0,35 \bar{\lambda}_x$, но не более 3,1 при $m_x \geq 1$ и не более 2,3 при $m_x < 1$.

Если $\alpha \geq 1$, то наибольшее отношение h_w / t_w ограничивается значением

$$4,35 \sqrt{\frac{(2\alpha - 1)E}{\sigma(2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2})}}, \text{ которое принимается не больше } 3,8 \sqrt{E / R_y}, \quad (6.20)$$

где $\beta = 1,4(2\alpha - 1)\tau / \sigma$, $\tau = Q/(t_w h_w)$ - усредненное касательное напряжение в стенке рассматриваемого сечения.

Если $0,5 \leq \alpha \leq 1$, то наибольшее отношение h_w/t_w определяется линейной интерполяцией между значениями, вычисляемыми при $\alpha = 0,5$ и $\alpha = 1$ по формуле (6.20).

При $h_w/t_w \geq 2,3\sqrt{E/R_y}$ стенку следует укреплять парными поперечными ребрами жесткости, расположенными на расстоянии $(2,5 \div 3)h_w$, поперечное сечение которых принимается так же, как для балок. Стенку верхней части колонны также следует укреплять парными симметричными поперечными ребрами жесткости в месте прикрепления поясов стропильной фермы.

Проверку прочности принятого сечения верхней части колонны выполнять не требуется, если $m_{ef} \leq 20$. В противном случае эта проверка проводится по формуле

$$\left(\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x W_{xn, \min} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (6.21)$$

где n и c_x - коэффициенты, характеризующие степень развития пластических деформаций по сечению, принимаемые по прил. 5 табл. 66 [1] в зависимости от отношения A_f/A_w .

Катет угловых швов, прикрепляющих стенку к поясам верхней части колонны в курсовом проекте принимается конструктивно (табл. 38 [1]).

6.3. Расчет и конструирование нижней части колонны

Расчет нижней части сплошностенчатой колонны выполняется аналогично расчету верхней части колонны.

Компоновать сечение нижней части колонны следует согласно рис. 6.4.

В курсовом проектировании рекомендуется сечение нижней части колонны принимать сквозным.

Сечение нижней части сквозной колонны принимается состоящим из двух ветвей: подкрановой и наружной (шатровой), соединенных в двух плоскостях решеткой (рис. 6.5).

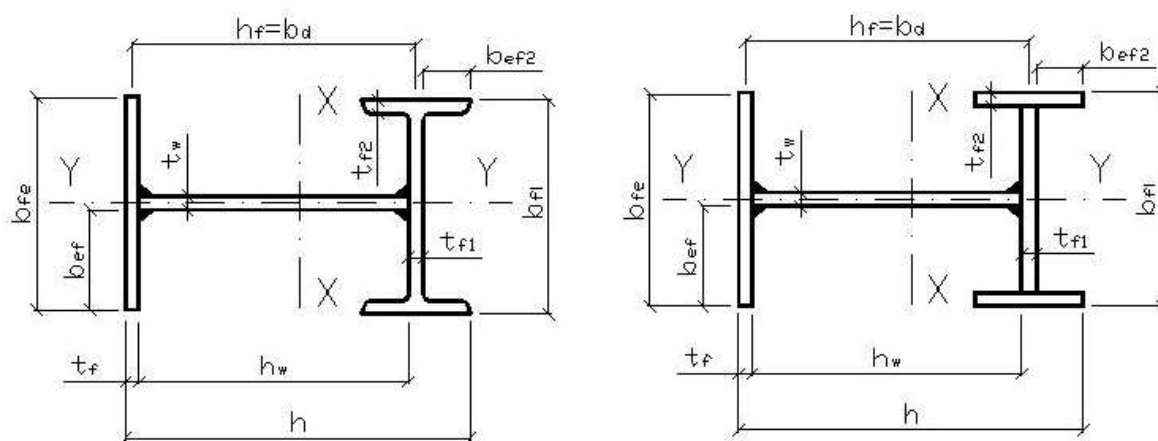


Рис 6.4. Компоновка сечения нижней части колонны

Расчет нижней части колонны начинают с выбора расчетных значений внутренних усилий для наружной (N_2 , M_2 , растягивающий внутренние волокна стержня колонны) и подкрановой (N_1 , M_1 , растягивающий наружные волокна стержня колонны) ветвей колонны. Эти нагрузки выбираются из таблицы расчетных сочетаний [11] (табл. 4.2, сечения 1-1 или 2-2).

Предварительно продольные усилия в ветвях колонны находят следующим образом:

в подкрановой ветви

$$N_n = N_1(y_2/h_0) + M_1/h_0;$$

в наружной ветви

$$N_n = N_2(y_1/h_0) + M_2/h_0,$$

(6.22)

где y_1, y_2 - расстояния от центра тяжести сечения нижней части колонны до центра тяжести соответствующей ветви (на этой стадии $y_1 = y_2 \approx h_0/2$).

Ориентировочная требуемая площадь ветвей находится по формулам

$$A_n = \frac{N_n}{(0,7 \div 0,9)R_y}, \quad A_n = \frac{N_n}{0,85 R_y} \quad (6.23)$$

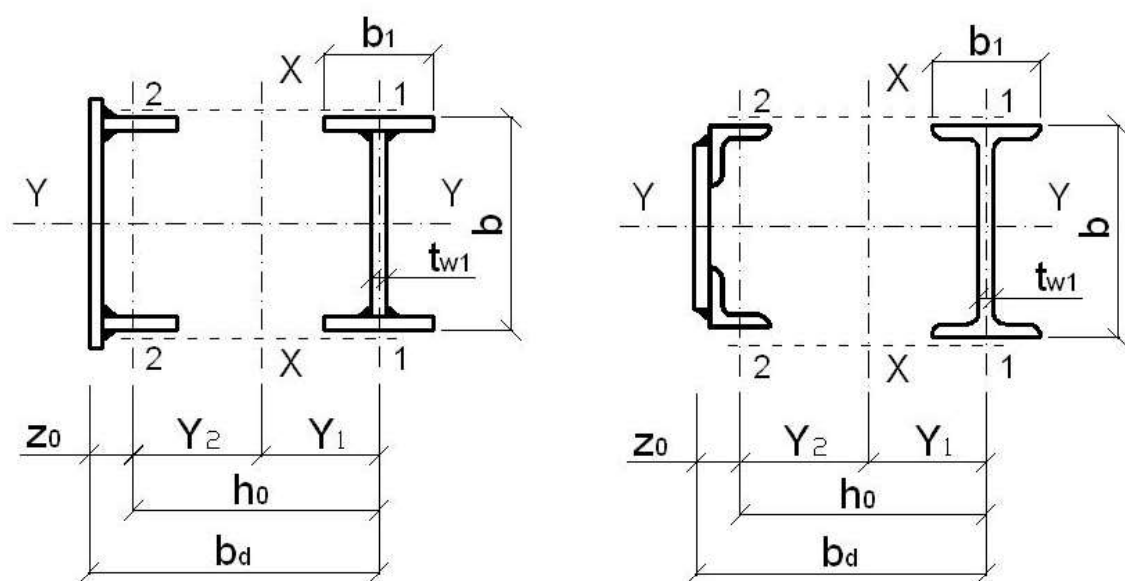


Рис. 6.5. Примеры компоновки нижней части сквозной колонны

Далее назначаются сечения ветвей колонны по одному из вариантов, приведенных на рис. 6.5, и определяются точные геометрические характеристики сечений ветвей и всего сечения колонны ($A_n, A_n, A, J_{xn}, J_{xn}, J_x, J_{yn}, J_{yn}, i_{xn}, i_{xn}, i_x, i_{yn}, i_{yn}$).

Вновь вычисляются продольные усилия в обеих ветвях по формулам (6.22) с подстановкой в них точных значений y_1 и y_2 .

После этого производится проверка устойчивости каждой из ветвей из плоскости рамы по формулам:

$$\frac{N_n}{\varphi_{yn}A_n} \leq R_y\gamma_c, \quad \frac{N_H}{\varphi_{yH}A_H} \leq R_y\gamma_c. \quad (6.24)$$

Здесь φ_{yn} и φ_{yH} - коэффициенты продольного изгиба при центральном сжатии соответственно для подкрановой и наружной ветвей, определяемые по табл. 72 [1] в зависимости от гибкостей этих ветвей из плоскости рамы

$$\lambda_{yn} = \frac{h_d}{i_{yn}} \quad \text{и} \quad \lambda_{yH} = \frac{h_d}{i_{yH}}$$

(i_{yn} , i_{yH} - радиусы инерции сечений подкрановой и наружной ветвей относительно оси у-у, h_d - высота нижней части колонны рис. 6.1).

Если устойчивость какой либо из ветвей по формулам (6.24) не обеспечена, то следует или увеличить сечение соответствующей ветви или ввести в продольную систему каркаса дополнительные распорки по нижней части колонны на всю длину температурного блока, что уменьшит расчетную длину ветвей и нижней части колонны в целом и, как следствие, уменьшит гибкости ветвей из плоскости рамы. В этом случае распорки следует крепить к узлом примыкания вертикальных связей по колоннам к колоннам в связевом блоке.

Далее, из соображения равноустойчивости каждой из ветвей в плоскости и из плоскости рамы определяется максимально возможное расстояние между узлами соединительной решетки (см. рис. 6.6)

$$l_{1\max} = \lambda_{yn}i_{xn} \quad \text{и} \quad l_{1\max} = \lambda_{yH}i_{xH}.$$

Затем выбирается система соединительной решетки между ветвями и расстояние между ее узлами $l_1 \leq l_{1\max}$ так, чтобы высота нижней части колонны (h_d) за вычетом высоты соединительной траверсы (h_t) (см. рис. 6.7) была кратна этому расстоянию. При этом угол наклона раскосов решетки следует назначать близким к 45° , а самый верхний

и самый нижний раскосы подходили к верхнему и нижнему узлам подкрановой ветви.

Проверку устойчивости каждой из ветвей колонны в плоскости рамы производят в предположении, что ветви работают на центральное сжатие с расчетной длиной равной расстоянию между узлами соединительной решетки l_1 по формулам аналогичным (6.24), где φ_{xn} и φ_{xn} - коэффициенты продольного изгиба соответственно для подкрановой и наружной ветвей, определяемые по табл.72 [1] в зависимости от гибкостей этих ветвей в плоскости рамы $\lambda_{xn} = l_1 / i_{xn}$ и $\lambda_{xn} = l_1 / i_{xn}$ (здесь i_{xn} и i_{xn} - радиусы инерции сечений соответственно подкрановой и наружной ветвей относительно их центральных осей, параллельных оси X-X).

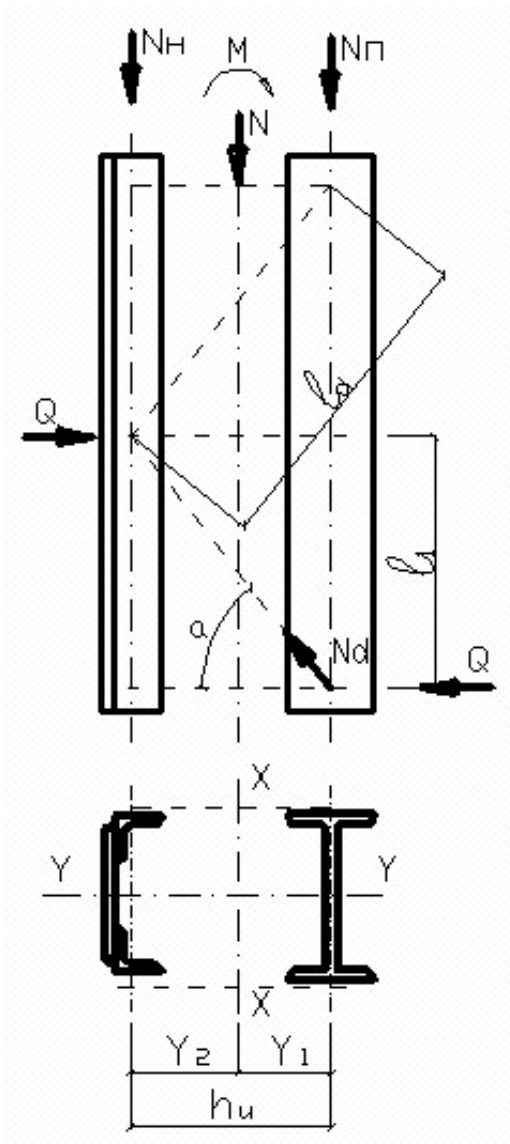
Проверку устойчивости колонны как единого стержня составного сечения начинают с подбора сечения элементов решетки.

Раскосы решетки рассчитывают на бо'льшую из поперечных сил - действующую при комбинации загружений 1,2,3,6,10 (табл. 4.2 [11] сечение 1-1) или условную

$$Q_{fc} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E / R_y) N / \varphi , \quad (6.25)$$

где φ - коэффициент продольного изгиба при центральном сжатии, принимаемый для составного стержня в плоскости соединительных элементов.

Поперечная сила распределяется поровну между решетками, лежащими в плоскостях, перпендикулярных оси, относительно которой производится проверка устойчивости.



Продольное усилие в раскосе находят по формуле

$$N_d = \frac{Q_{\max}}{2 \cos \alpha}, \quad (6.26)$$

где α - угол наклона раскоса.

Требуемая площадь сечения раскоса, выполняемого из одиночного уголка

$$A_{TP} = \frac{N_d}{(0,7 \div 0,9) R_y \gamma_c}; \quad (6.27)$$

Здесь γ_c см. табл. 6 [1].

По сортаменту подбирается подходящее сечение раскоса с площадью A_d и выписывается i_{\min} . Расчетная длина и максимальная гибкость определяется формулами

$$l_d = h_0 / \cos \alpha, \\ \lambda_{d \max} = l_d / i_{\min} \quad (6.28)$$

Рис. 6.6. К расчету соединительной решетки

Далее выполняется проверка устойчивости раскоса как центрально сжатого с подобранным сечением

$$\frac{N_d}{\varphi A_d} \leq R_y \gamma_c. \quad (6.29)$$

Гибкость стержня нижней части колонны относительно свободной центральной оси X-X

$$\lambda_x = l_{efx} / i_x \quad (6.30)$$

Приведенная гибкость сквозной нижней части колонны при соединении ветвей раскосной решеткой

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_x^2 + \alpha_1 (A / A_d)}, \quad (6.31)$$

где α_1 - коэффициент, определяемый по табл. 7 [1].

Условная приведенная гибкость

$$\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef} \sqrt{R_y / E}. \quad (6.32)$$

Проверка устойчивости нижней части колонны как единого стержня в плоскости действия момента производится по формуле (6.12). Заранее неизвестно, какая из групп внутренних усилий (N_2, M_2) и (N_1, M_1) определяет общую устойчивость. Поэтому, по каждой группе внутренних усилий определяются относительные эксцентриситеты.

Для группы внутренних усилий, вызывающих наибольшее сжатие в подкрановой ветви:

$$m_x = \frac{M_1 A (y_1 + b_1 / 2)}{N_1 J_x}. \quad (6.33)$$

Для группы внутренних усилий, вызывающих наибольшее сжатие в наружной ветви:

$$m_x = \frac{M_2 A (y_2 + z_0)}{N_2 J_x}. \quad (6.34)$$

По $\bar{\lambda}_{ef}$ и каждому из относительных эксцентриситетов m_x по табл. 75 [1] определяются коэффициенты φ_{e1} и φ_{e2} .

Наконец, проверка устойчивости нижней части колонны как единого стержня в плоскости действия момента производится по формуле (6.12) для каждой группы внутренних усилий со своим φ_e .

Устойчивость сквозной колонны из плоскости действия момента как единого стержня очевидно обеспечена, если обеспечена устойчивость отдельных ветвей из плоскости рамы (см. стр.40).

6.4. Расчет и конструирование стыка верхней части колонны с нижней

Сопряжение нижней части колонны с верхней осуществляется через траверсу (рис. 6.7).

Толщина стенки траверсы определяется из условия смятия давлением D_{max} , распределенного на длине $l_{ef} = a + 2t_{f1}$, где a - ширина опорного ребра подкрановой балки и t_{f1} - толщина верхней полки траверсы, принимаемая предварительно 25÷30 мм.

Тогда

$$t_{wt} \geq \frac{D_{max}}{l_{ef} \cdot R_p \cdot \gamma_c} \quad (6.35)$$

Здесь R_p - расчетное сопротивление смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки) материала стенки траверсы (см. табл. 1* [1]).

Толщина нижней полки траверсы предварительно назначается $t_{f2}=10\div14$ мм.

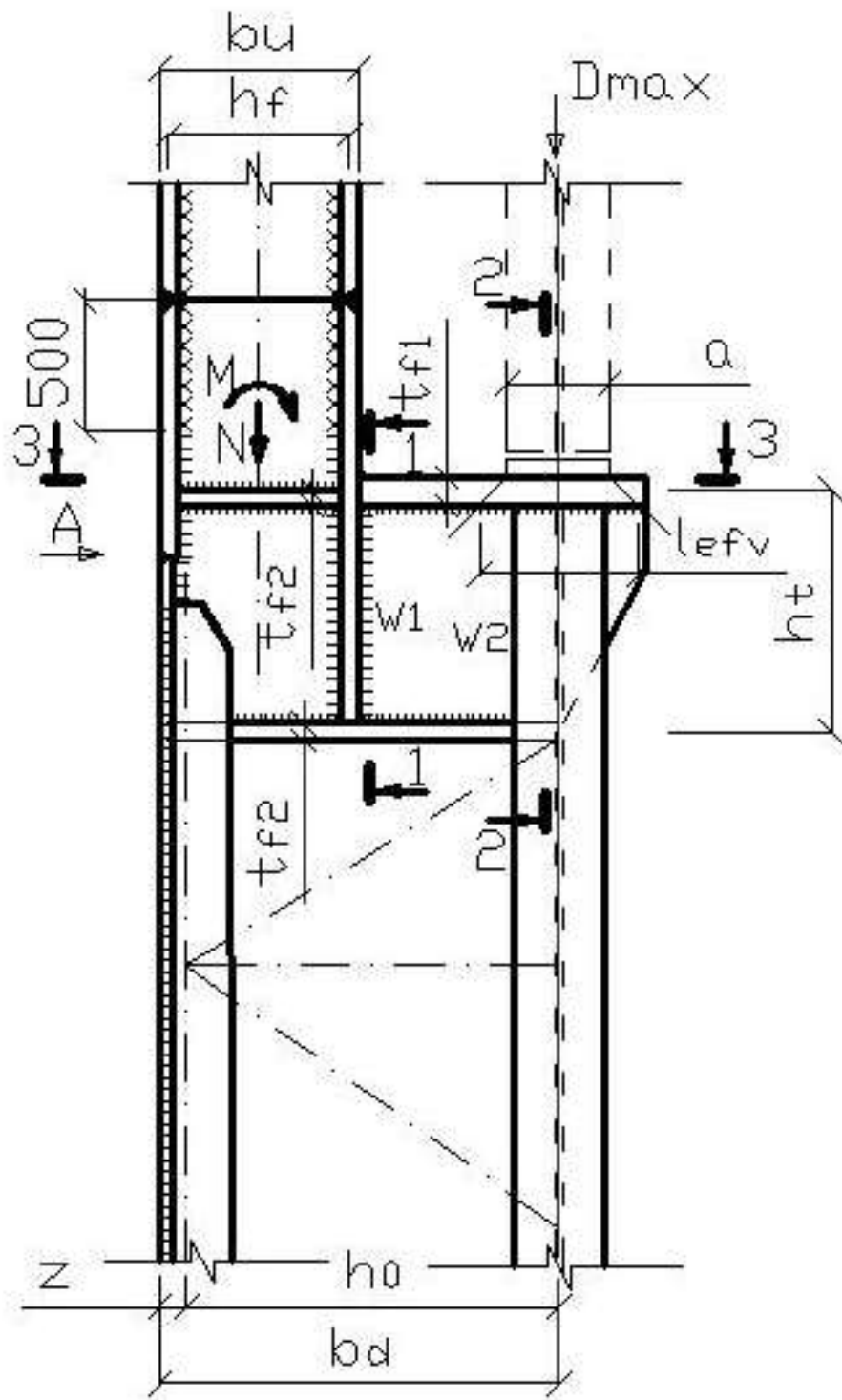
При расчете данного узла условно считается, что нагрузка с верхней части колонны на нижнюю передается только полками верхней части колонны, а траверса рассматривается как однопролетная свободно опертая балка пролетом b_d с расчетной схемой по рис. 6.8.

Здесь $N_{n1} = N / 2 + M / h_f$.

Для получения расчетных внутренних усилий N и M в таблице 4.2 [11] отыскивается такая комбинация загрузений, которая дает в сечении 3-3 по возможности максимальное сжимающее усилие и максимальный изгибающий момент со знаком "-", (растягивающий

наружные волокна верхней части колонны) без действия кранового нагружения.

a)



б)

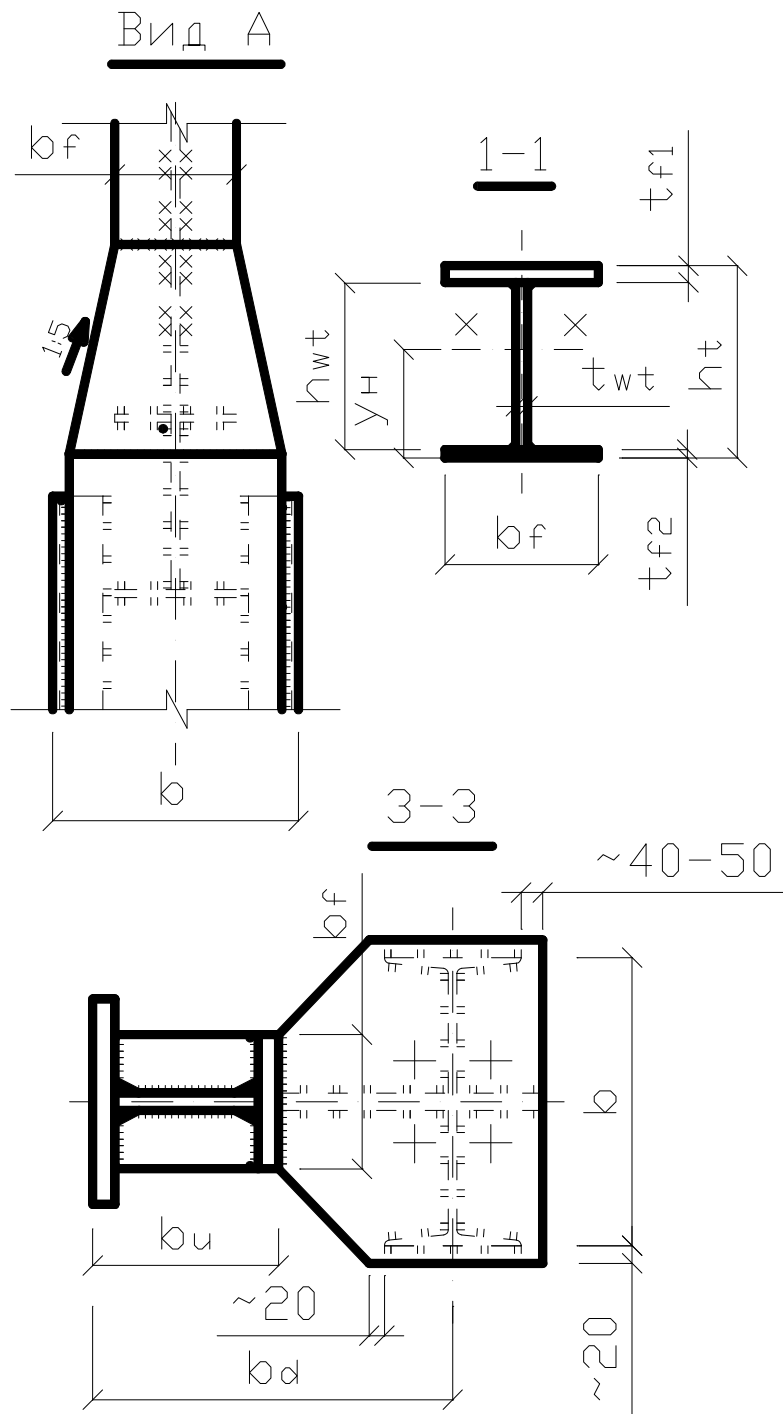


Рис. 6.7. Конструкция стыка верхней части колонны с нижней

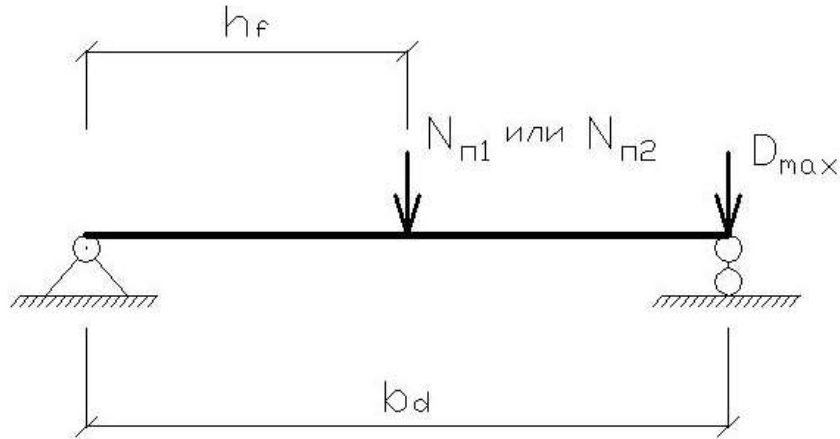


Рис. 6.8. К расчету траверсы

Высота сечения траверсы h_t диктуется несущей способностью четырех сварных швов w_1 или w_2 (см. рис. 6.7).

Сварные швы w_1 должны воспринимать усилие N_{n1} , поэтому по металлу шва

$$h_{wt} \geq l_{w1f} = \frac{N_{n1}}{4\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 1 \text{ см},$$

по металлу границы сплавления (6.36)

$$h_{wt} \geq l_{w1z} = \frac{N_{n1}}{4\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} + 1 \text{ см}.$$

Сварные швы w_2 должны быть способны воспринимать максимально возможную опорную реакцию. Отсюда, по металлу шва

$$h_{wt} \geq l_{w2f} = \frac{\frac{N_{n2}}{b_d} h_f + 0,9 D_{\max}}{4\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 1 \text{ см},$$

по металлу границы сплавления (6.37)

$$h_{wt} \geq l_{w2z} = \frac{\frac{N_{n2}}{b_d} h_f + 0,9 D_{\max}}{4\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} + 1 \text{ см}.$$

Здесь N_{n2} - усилие, передаваемое внутренней полкой верхней части колонны на траверсу при предыдущей комбинации загрузок с добавлением загрузок D_{max} и того поперечного торможения, которое дает максимальный возможный изгибающий момент в сечении 3-3 со знаком "-", т.е.

$$N_{n2} = N_{n1} + \frac{0,9(M_K + M_T)}{h_f}, \quad M_K - \text{момент в сечении 3-3}$$

при действии D_{max} , M_T - момент в сечении 3-3 от поперечного торможения (см. табл. 4.2 [11]; коэффициент 0,9 учитывает то, что используется второй тип основного сочетания (следить за направлением действия N_{n2} !).

В обоих случаях швы w_1 и w_2 должны отвечать требованиям п. 12.8 [1].

После определения h_{wt} назначается полная высота сечения траверсы h_b , которая не должна быть меньше 400÷500 мм.

Далее проверяется прочность траверсы при ее работе на изгиб в сечении 1-1 (см. рис. 6.7). Для этого определяется положение центральной оси $x-x$ и относительно нее момент инерции сечения траверсы J_x .

Максимальный изгибающий момент в этом сечении

$$M_{\max} = \frac{N_{n1}}{b_d} h_f (b_d - h_f) \quad (6.38)$$

Уровень максимальных нормальных напряжений в сечении траверсы

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{J_x} y_H \leq R_y \gamma_c \quad (6.39)$$

Если данное неравенство не выполняется, то следует увеличить высоту траверсы и вновь проверить ее сечение. В сечении 2-2 (см. рис. 6.7) прочность траверсы проверяется при ее работе на сдвиг. Максимально возможная перерезывающая сила

$$Q_{\max} = \frac{N_{n2}}{b_d} h_f + 0,9 D_{\max} \cdot 1,2 \quad (6.40)$$

Здесь коэффициент 1,2 учитывает неравномерную передачу давления (следить за направлением действия N_{n2} !).

Уровень максимальных усредненных касательных напряжений в стенке траверсы

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{h_{wt} \cdot t_{wt}} \leq R_s \gamma_c \quad (6.41)$$

6.5. Расчет и конструирование баз колонны

База внецентренно сжатой колонны состоит из тех же основных элементов, что и база центрально сжатой колонны. Отличие заключается в том, что при внецентренном сжатии база развита в плоскости действия изгибающего момента, а анкерные болты воспринимают растягивающие усилия от этого момента.

Конструкции баз внецентренносжатых колонн сплошного сечения приведены на рис. 6.9 а,б. Для этих баз характерно неравномерное распределение давления на фундамент (рис 6.10).

Площадь опорной плиты базы определяется из условия, что наибольшее суммарное напряжение в бетоне σ_b^{\max} по краю плиты не должно превышать расчетного сопротивления смятию бетона фундамента.

Задавшись из конструктивных соображений шириной опорной плиты b_s (кратно 10мм), определяем ее минимально возможную длину

$$l_{s,\min} = \frac{N}{2b_s R_{b,loc}} + \sqrt{\left(\frac{N}{2b_s R_{b,loc}}\right)^2 + \frac{6M}{b_s R_{b,loc}}}, \quad (6.42)$$

где N и M - внутренние усилия в опорном сечении колонны, возникающие при комбинации нагрузок, дающей

наибольшее сжатие бетона у края плиты (см. таблицу 4.2 [11]); $R_{b,loc}$ – расчетное сопротивление смятию бетона фундамента $R_{b,loc} = \xi R_b$, здесь $\xi = \sqrt[3]{A_\phi / A_s}$, A_ϕ – площадь обреза фундамента, $A_s = b_s l_s$; R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию. Предварительно коэффициент $\xi = 1,2 \div 1,4$. Окончательно размер l_s назначается с учетом возможности размещения на опорной плите стержня колонны, кратно 10мм.

Наибольшее и наименьшее напряжения в бетоне фундамента под опорной плитой

$$\begin{aligned} \sigma_b^{\max} &= \frac{N}{b_s l_s} + \frac{6M}{b_s l_s^2} \leq R_{b,loc} \\ \sigma_b^{\min} &= \frac{N}{b_s l_s} - \frac{6M}{b_s l_s^2} \end{aligned} \quad (6.43)$$

Толщина опорной плиты базы определяется из ее расчета на изгиб как пластинки, нагруженной реактивным давлением бетона фундамента. Расчет опорной плиты выполняют по отдельным участкам, при этом на каждом участке давление принимают равномерно-распределенным, равным по интенсивности наибольшему напряжению в бетоне на этом участке. Максимальный изгибающий момент для каждого участка

$$M = \alpha q d^2 \quad (6.44)$$

где d – один из размеров участка; α – коэффициент, принимаемый в зависимости от соотношения сторон участка.

Для консольного участка 1 (см. рис. 6.9) d – вылет консоли и $\alpha = 0,5$.

Для участка 2, опертого по четырем сторонам, d – меньшая из его сторон, а α – принимается по табл. 6.1. Для участка 3, опертого по трем сторонам, d – длина свободного края, а α – принимается по табл. 6.2. Здесь при

отношении менее 0,5 плита рассчитывается как консольная с вылетом, равным длине закрепленного края.

Для участка, опертого по двум смежным сторонам, d – размер диагонали участка и α – принимается по табл. 6.2.

Таблица 6.1

Коэффициент α для расчета плит, опертых на четыре стороны, при отношениях большей стороны к меньшей

1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	> 2
0.048	0.055	0.063	0.069	0.075	0.081	0.086	0.091	0.094	0.098	0.1	0.125

Таблица 6.2

Коэффициент α для расчета плит, опертых на три стороны, при отношениях длины опертой стороны к длине свободного края (или на две стороны при отношениях длины перпендикуляра, опущенного из угла на диагональ, к длине диагонали)

0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	2,0	> 2
0.06	0.074	0.088	0.097	0.107	0.112	0.120	0.126	0.132	0.133

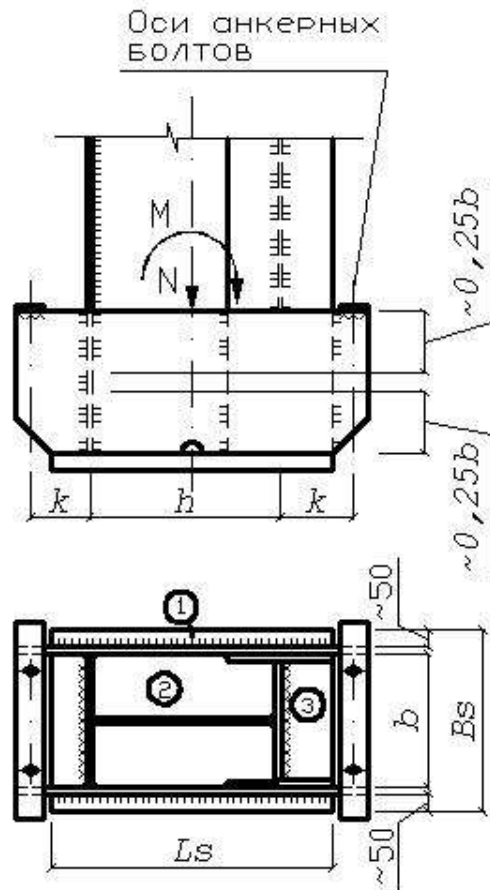
Если значения моментов по участкам отличаются на порядок и более, следует подкрепить опорную плиту на участке с максимальным моментом дополнительными ребрами или диафрагмами, устанавливаемыми так, чтобы он уменьшился.

Толщина опорной плиты определяется по максимальному изгибающему моменту на участках плиты:

$$t_s = \sqrt{\frac{6M_{\max}}{R_y \gamma_c}} \quad (6.45)$$

Полученная величина уточняется в соответствии с сортаментом и принимается в пределах 20 ÷ 40 мм. Траверсы, ребра и диафрагмы рассчитываются так же, как и в базах центрально сжатых колонн. Эти элементы в курсовом проекте могут быть назначены конструктивно.

а)



б)

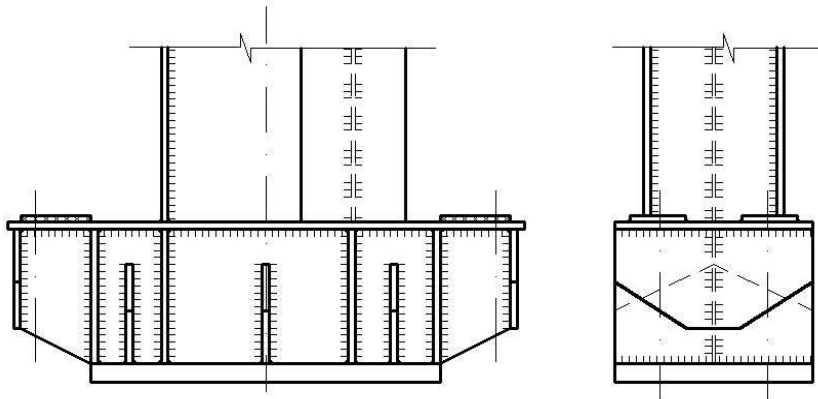


Рис. 6.9. Конструкции баз внецентренножатых колонн

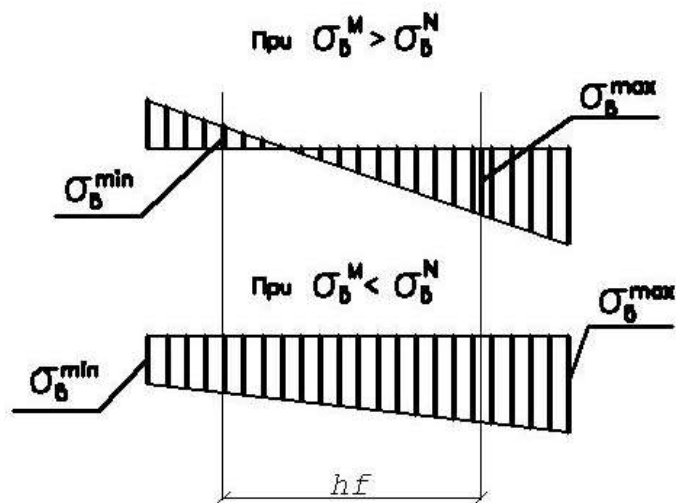


Рис. 6.10.
Распределение
давления под
опорной плитой

На рис. 6.11. приведена расчетная схема для расчета анкерных болтов в базах сплошных колонн.

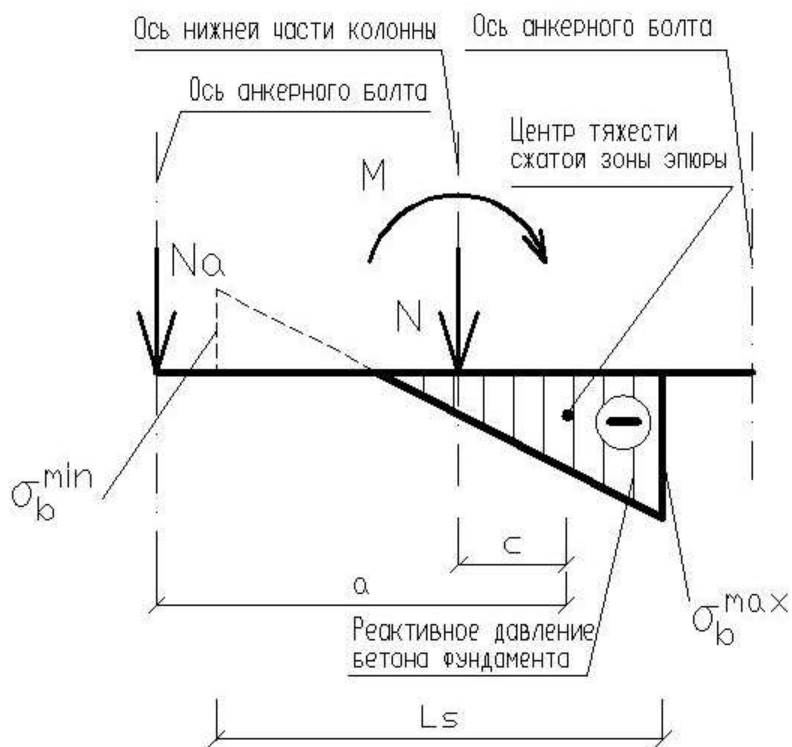


Рис. 6.11. К расчету анкерных болтов

Усилие, приходящееся на анкерные болты, устанавливаемые с одной стороны колонны

$$N_a = \frac{M - N \cdot c}{a}, \quad (6.46)$$

где M и N - внутренние усилия в опорном сечении колонны (см. стр. 37 и табл. 4.2 [11]).

Необходимая площадь сечения одного анкерного болта определяется формулой

$$A_{bn} \geq \frac{N_a}{n \cdot R_{bt} \cdot \gamma_c}. \quad (6.47)$$

Здесь: n - число анкерных болтов с одной стороны; R_{bt} - расчетное сопротивление анкерных болтов растяжению (табл. 60 [1]).

Конструкция базы внецентренно сжатой сквозной колонны принимается обычно отдельной, а ее расчет проводится так же, как расчет базы центрально сжатой колонны. Сечение анкерных болтов подбирается по формуле

$$A_n \geq \frac{M - N(h_0 - y)}{h_0 \cdot n \cdot R_{bt} \cdot \gamma_c}, \quad (6.48)$$

где: y - расстояние от центра тяжести колонны до оси анкерных болтов; h_0 - см. рисунок 6.5; n и R_{bt} - см. формулу (6.47).

7. Требования к оформлению проекта

7.1. Расчетно-пояснительная записка

В расчетно-пояснительную записку включается весь текстовый материал проекта: компоновочная часть, в которой приводятся соображения, обоснования и расчеты по выбору конструктивной схемы и размеров основных конструкций; расчетно-конструктивная часть, в которых отражаются расчеты основных конструкций —

подкрановых конструкций, расчет рамы, стропильной фермы, ступенчатой колонны. В тексте должны быть описаны схемы связей, материалы несущих и ограждающих конструкций с необходимым числом эскизов, чертежей, эюр, таблиц и т.д. Расчетно-пояснительная записка должна быть составлена подробно со ссылками на нормативные и литературные источники, таблицы и рисунки, идущие по ходу текста. Текст и чертежи записки выполняются на листах формата А4 и оформляются согласно требованиям ЕСКД.

7.2. Графическое оформление проекта

Графическое выполнение проекта выполняется с соблюдением требований ЕСКД на двух листах формата А1. Первый лист выполняется в стадии КМ. На левой половине этого листа вычерчиваются: поперечный разрез промздания с указанием основных отметок и конструкций шатра (несущих и ограждающих) и кранового оборудования в масштабе $1:100, 1:200$, планы связей по верхним и нижним поясам ферм в масштабе $1:200 \div 1:500$, разрезы здания с вертикальными связями по фермам и колоннам в масштабе $1:200 \div 1:500$. На правой половине этого листа размещается колонна в масштабе $1:40 \div 1:50$, основные узлы каркаса с необходимым числом проекций (примыкание фермы к колонне, опирание подкрановой балки на колонну, опирание колонны на фундамент) в масштабе $1:10 \div 1:20$ и, возможно, схема торцевого фахверкового заполнения. На поперечном разрезе изображаются сечения участков колонны, ее привязка к разбивочной оси, наносятся сечения всех элементов фермы и указываются другие размеры, необходимые для разработки по этому листу рабочих и детализированных чертежей (стадия КМД). На этом листе, над штампом, помещается ведомость монтажных элементов на весь каркас, а ниже даются

технические требования с указанием материала конструкций, информации по выполнению сварных и болтовых монтажных соединений, особенностей сборки каркаса в целом и т.п.

Второй лист выполняется в стадии КМД и отводится для детализовочного чертежа отправочного элемента стропильной фермы и, возможно, подкрановой балки. В левом верхнем углу вычерчивается геометрическая схема фермы в масштабе 1:100, 1:200 с указанием геометрических размеров (длин стержней по осям) и величины расчетных усилий по стержням. На центральной части листа помещается чертеж отправочной марки фермы, где кроме бокового вида фермы даются проекции верхнего и нижнего поясов, опорной части фермы и стоек, к которым примыкают вертикальные связи. Обычно проекция того или иного элемента вычерчивается со стороны этого элемента. Геометрическую схему отправочной марки вычерчивают в масштабе 1:10, 1:15. На этом чертеже указываются расстояния от разбивочной оси стержня до края элемента (z_0), расстояния от центра узла до торца уголков решетки. В верхнем правом углу листа над штампом помещается спецификация металла, в которую вносят по порядку все детали фермы. Под спецификацией помещаются примечания с указанием материала конструкций, условий сварки и материалов для сварки со ссылкой на соответствующие ГОСТы, размеров неоговоренных сварных швов, диаметры неоговоренных отверстий и т.п.

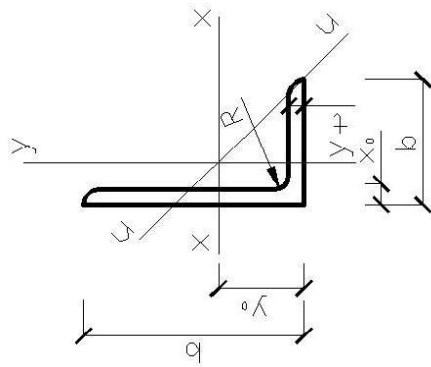
ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции /Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. - 96 с.
2. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия /Госстрой России. - М: ГП ЦПП, 2001, 44 с.

3. Металлические конструкции: Общий курс: Учебник для ВУЗов /Г.С. Ведеников, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.; Под ред. Г.С. Веденикова. - 7-е издание, переработанное и дополненное - М.: Стройиздат, 1998. - 760 с.: илл.
4. Металлические конструкции. В 3-х томах. Т.1. Элементы стальных конструкций: Учебное пособие для строительных ВУЗов /В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под редакцией В.В. Горева. - М.: Высш.шк., 1997. - 527 с.: илл.
5. Металлические конструкции. В 3-х томах. Т.2. Конструкции зданий: Учебное пособие для строительных ВУЗов /В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под редакцией В.В. Горева. - М.: Высш.шк., 1999. - 528 с.: илл.
6. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для ВУЗов /Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведеников и др.; Под общ. ред. Е.И. Беленя - 6-е издание, переработанное и дополненное - М.: Стройиздат, 1986. - 560 с.: илл.
7. Михайлов А.М. Сварные конструкции: Учебное пособие для техникумов. - М.: Стройиздат, 1983. - 367 с.: илл.
8. Составление исходной информации к пакету прикладных программ ЛИРА (ЕС ОС ЭВМ): Метод. указания для спец. 2903 / Каз.инж.-стр.ин-т; Сост.: Г.Н. Шмелев, И.Р. Харитонов. Казань, 1993, 43 с.
9. Статический расчет строительных конструкций поперечных рам промышленных зданий, ферм, трехшарнирных арок с применением микро-ЭВМ «Электроника ДЗ-28»: Метод. указания / Каз.инж.-стр.ин-т; Сост.: М.А. Дымолазов. Казань, 1986, 34 стр.
10. Металлические конструкции. В 3-х томах. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) /Под общей редакцией В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им.

Н.П. Мельникова) - М.: изд-во АСВ, 1998. - 512 стр.: илл.

11. Методические указания к курсовому проекту по металлическим конструкциям "Стальной каркас одноэтажного производственного здания" для спец. 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и направления 270100 «Строительство» (бакалавры) (часть I). /КГАСА, Сост. Дамолазов М.А., О.И.Ефимов, Л.А.Исаева, И.Р. Казань, 2008, 44 стр., илл.
12. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений /Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др./; под ред. Ю.И. Кудишина. – 9-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 688с.



Приложение 1.

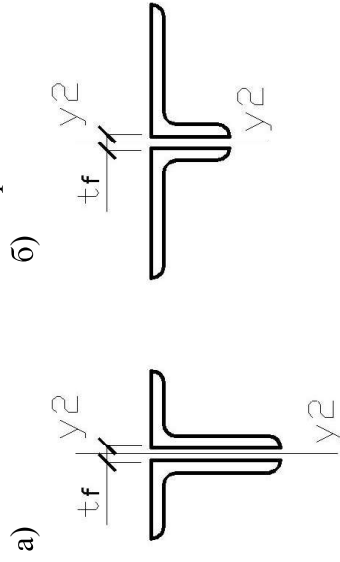


Таблица 1. Сортамент горячекатаных
неравнополочных уголков по ГОСТ 8510-86*

Номер уголка	Размер, мм		Масса 1 м уголка кг	A, см ²	Справочные данные для осей						x ₀ , см	y ₀ , см			
	B	b			x - x			y - y					u - u		
					I _{x,4} см ⁴	W _{xmin,3} см ³	i _x см	I _{y,4} см ⁴	W _{ymin,3} см ³	i _y см			I _{u,4} см ⁴	W _{u,3} см ³	i _u см
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5/3,2			3	2,42	6,18	1,82	1,6	1,99	0,81	0,91	1,18	0,68	0,7	0,72	1,6
	50	32	4*	3,17	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,9	1,52	0,88	0,69	0,76	1,65
5,6/3,6			4	3,58	11,37	3,01	1,78	3,7	1,34	1,02	2,19	1,13	0,78	0,84	1,82
	56	36	5	4,41	13,82	3,7	1,77	4,48	1,65	1,01	2,65	1,37	0,78	0,88	1,87
			4	4,04	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	3,07	1,41	0,87	0,91	2,03
6,3/4			5	4,98	19,91	4,72	2	6,26	2,05	1,12	3,73	1,72	0,86	0,95	2,08
	63	40	6	5,9	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	4,36	2,02	0,86	0,99	2,12
			8	7,68	29,6	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	5,58	2,6	0,85	1,07	2,2
			5	5,56	23,41	5,2	2,05	12,08	3,23	1,47	6,41	2,68	1,07	1,26	2
			6	6,6	27,46	6,16	2,04	14,12	3,82	1,46	7,52	3,15	1,07	1,3	2,04
6,5/5*			7	7,62	31,32	7,08	2,03	16,05	4,38	1,45	8,6	3,59	1,06	1,34	2,08
	65	50	8	8,62	35	7,99	2,02	18,88	4,93	1,44	9,65	4,02	1,06	1,37	2,12
7/4,5			5	5,59	27,76	5,88	2,23	9,05	2,62	1,27	5,34	2,2	0,98	1,05	2,28

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7,5/5	75	50	5*	6,11	4,79	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	7,24	2,73	1,09	1,17	2,39
			6	7,25	5,69	40,92	8,08	2,38	14,6	3,85	1,42	8,48	3,21	1,08	1,21	2,44
			7*	8,37	6,57	46,77	9,31	2,36	16,61	4,43	1,41	9,69	3,69	1,08	1,25	2,48
			8	9,47	7,43	52,38	10,52	2,35	18,52	4,88	1,4	10,87	4,14	1,07	1,29	2,52
8/5	80	50	5	6,36	4,49	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	7,57	2,75	1	1,13	2,6
			6	7,55	5,92	48,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,4	8,88	3,24	1,08	1,17	2,65
8/6*	80	60	6	8,15	6,39	52,06	9,42	2,53	25,18	5,58	1,76	13,61	4,66	1,29	1,49	2,47
			7	9,42	7,39	59,61	10,87	2,52	28,74	6,43	1,75	15,58	5,34	1,29	1,53	2,52
			8	10,67	8,37	66,88	12,38	2,5	32,15	7,26	1,74	17,49	5,99	1,28	1,57	2,56
			5,5	7,86	6,17	65,28	10,74	2,88	19,67	4,53	1,58	11,77	3,81	1,22	1,26	2,92
9/5,6	90	56	6	8,54	6,7	70,58	11,66	2,88	21,22	4,91	1,58	12,7	4,12	1,22	1,28	2,95
			8	11,18	8,77	90,87	15,24	2,85	27,08	6,39	1,56	16,29	5,32	1,21	1,36	3,04
10/6,3	100	63	6	9,58	7,53	98,29	14,52	3,2	30,58	6,27	1,79	18,2	5,27	1,38	1,42	3,23
			7	11,09	8,7	112,86	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	20,83	6,06	1,37	1,46	3,28
			8	12,57	9,87	126,96	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	23,38	6,82	1,36	1,5	3,32
			10	15,47	12,14	153,95	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	28,34	8,31	1,35	1,58	3,4
10/6,5*	100	65	7	11,23	8,81	114,05	16,87	3,19	38,32	7,7	1,85	22,77	6,43	1,41	1,52	3,24
			8	12,73	9,99	128,31	19,11	3,18	42,96	8,7	1,84	25,24	7,26	1,41	1,56	3,28
			10	15,67	12,3	155,52	23,45	3,15	51,68	10,64	1,82	30,6	8,83	1,4	1,64	3,37
			6,5	11,45	8,98	142,42	19,11	3,53	45,61	8,42	2	26,94	7,05	1,53	1,58	3,55
11/7	110	70	8	13,93	10,93	171,54	23,22	3,51	54,64	10,2	1,98	32,31	8,5	1,52	1,64	3,61
			8	18	14,13	363,68	38,25	4,49	119,79	17,19	2,58	70,27	14,39	1,58	2,03	4,49
14/9	140	90	10	22,24	17,46	444,45	47,19	4,47	145,54	21,14	2,58	85,51	17,58	1,96	2,12	4,58
			9	22,87	17,96	605,97	56,04	5,15	186,03	23,96	2,85	110,4	20,01	2,2	2,24	5,19
16/10	160	100	10	25,28	19,85	666,59	61,91	5,13	204,09	26,42	2,84	121,16	22,02	2,19	2,28	5,23
			12	30,04	23,58	784,22	73,42	5,11	238,75	31,23	2,82	142,14	25,93	2,18	2,36	5,32
			14	34,72	27,26	897,19	84,65	5,08	271,6	35,89	2,8	162,49	29,75	2,16	2,43	5,4
			10	28,33	22,2	952,28	78,59	5,8	276,37	32,27	3,12	165,44	26,96	2,42	2,44	5,88
18/11	180	110	12	33,69	26,4	1122,56	93,33	5,77	324,09	38,2	3,1	194,28	31,83	2,4	2,52	5,97
			11	34,87	27,37	1449,02	107,31	6,45	446,36	45,98	3,58	263,84	38,27	2,75	2,79	6,5
20/12,5	200	125	12	37,89	29,74	1568,19	116,51	6,43	481,93	49,85	3,57	285,04	41,45	2,74	2,83	6,54
			14	43,87	34,43	1800,83	134,64	6,41	550,77	57,43	3,54	326,54	47,57	2,73	2,91	6,62
			16	49,77	39,07	2026,08	152,41	6,38	616,66	64,83	3,52	366,99	53,66	2,72	2,99	6,71
			16	49,77	39,07	2026,08	152,41	6,38	616,66	64,83	3,52	366,99	53,66	2,72	2,99	6,71

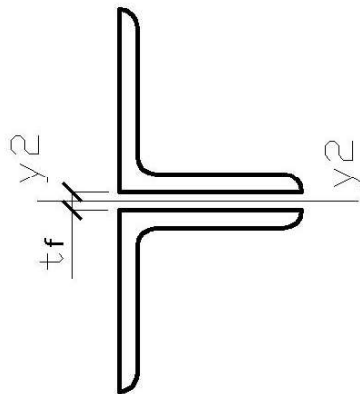
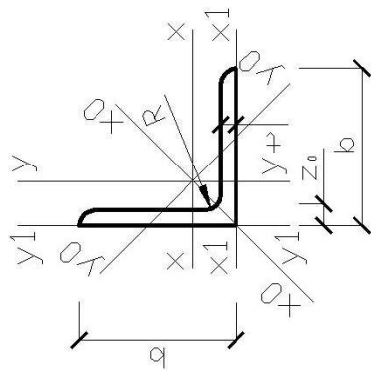
Продолжение табл.

Номер уголка	Размер, мм			$I_{y1}, \text{см}^4$	$I_{z1}, \text{см}^4$	$I_{x1}, \text{см}^4$	Радиус инерции $i_{1,2}$ для двух уголков по схеме											
	B	b	t				"а" при t_f мм				"б" при t_f мм							
							8	10	12	14	8	10	12	14				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	14	14	14	
6.3/4	63	40	5	10.8	41,4	1.75	1.83	1.91	1.99	3.19	3.26	3.34	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	
			6	13.1	49,9	1.78	1.89	1.94	2.02	3.21	3.29	3.36	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45
			8	17.9	66,9	1.83	1.91	1.99	2.08	3.26	3.34	3.42	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
7/4.5	70	45	5	15.2	56,7	1.93	2.01	2.08	2.17	3.49	3.56	3.64	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	
			5	20.8	69,7	2.13	2.21	2.28	2.36	3.67	3.75	3.83	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
			6	25.2	83,9	2.15	2.22	2.3	2.38	3.7	3.78	3.86	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94
7.5/5	75	50	8	34.2	112	2.19	2.27	2.37	2.43	3.75	3.83	3.91	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	
			5	20.8	84,6	2.08	2.16	2.23	2.3	3.94	4.02	4.11	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19
			5	25.2	102	2.1	2.18	2.26	2.34	3.97	4.05	4.13	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21
8/5	80	50	5.5	32.2	132	2.29	2.36	2.44	2.52	4.4	4.47	4.55	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	
			6	35.2	155	2.3	2.38	2.45	2.53	4.42	4.49	4.57	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	
			6	47.8	194	2.35	2.43	2.51	2.58	4.47	4.52	4.62	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	
9/5.6	90	56	6	49.9	198	2.55	2.62	2.7	2.77	4.84	4.92	4.99	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	
			7	58.7	232	2.57	2.64	2.72	2.78	4.87	4.95	5.02	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	
			8	67.6	266	2.59	2.66	2.74	2.82	4.89	4.97	5.04	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	
10/6.3	100	63	10	85.8	383	2.64	2.71	2.79	2.87	4.94	5.01	5.09	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	
			6.5	74.3	286	2.81	2.88	2.96	3.03	5.3	5.37	5.44	5.52	5.52	5.52	5.52		
			7	80.3	309	2.82	2.89	2.97	3.04	5.31	5.38	5.45	5.53	5.53	5.53	5.53		
11/7	110	70	8	92.3	353	2.84	2.92	2.99	3.07	5.33	5.41	5.49	5.56	5.56	5.56	5.56		

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
12.5/8	125	80	7	119	452	3.17	3.24	3.31	3.39	5.96	6.04	6.11	6.19
			8	137	518	3.19	3.27	3.34	3.41	5.98	6.06	6.13	6.21
			10	173	648	3.23	3.31	3.37	3.46	6.04	6.11	6.19	6.27
			12	210	781	3.28	3.35	3.43	3.51	6.08	6.15	6.23	6.31
14/9	140	90	8	194	727	3.55	3.61	3.69	3.76	6.64	6.72	6.79	6.86
			10	245	911	3.6	3.67	3.74	3.82	6.96	6.77	6.81	6.92
			9	300	1221	3.87	3.95	4.02	4.09	7.6	7.67	7.75	7.82
16/10	160	100	10	335	1359	3.9	3.97	4.04	4.12	7.62	7.69	7.77	7.84
			12	405	1634	3.9	4.02	4.09	4.16	7.67	7.75	7.82	7.9
			14	477	1910	3.98	4.05	4.13	4.2	7.51	7.58	7.86	7.94
			10	444	1933	4.22	4.29	4.36	4.43	8.55	8.62	8.69	8.77
18/11	180	110	12	537	2324	4.26	4.33	4.4	4.47	8.59	8.67	8.75	8.82
			11	718	2920	4.79	4.86	4.93	5	9.44	9.51	9.59	9.66
			12	786	3189	4.81	4.88	4.95	5.02	9.46	9.54	9.62	9.68
20/12.5	200	125	14	922	3726	4.85	4.92	4.99	5.06	9.5	9.58	9.65	9.73
			16	1061	4264	4.89	4.95	5.03	5.1	9.55	9.63	9.7	9.78
			12	1634	6212	6.07	6.13	6.2	6.27	11.62	11.71	11.77	11.85
			16	2200	8308	6.14	6.21	6.27	6.34	11.73	11.78	11.86	11.94
25/16	250	160	18	2487	935?	6.18	6.21	6.31	6.38	11.76	11.84	11.91	11.98
			20	2776	10410	6.2	6.28	6.28	6.42	11.81	11.95	12.03	12.03

Таблица 2. Соргамент горячекатаных равнополочных уголков по ГОСТ 8509-93



Номер уголка	Размер, мм		А, см ²	Масса 1 кг/м	Справочные данные для осей												Радиус инерции I _{y2} (см) двух уголков при t _ф мм			
					x-x ₀				y ₀ -y ₀				Z ₀							
					I _x ⁴ см ⁴	W _x ³ см ³	i _x см	I _{x0} ⁴ см ⁴	i _{x0} см	I _{y0} ⁴ см ⁴	W _{y0} ³ см ³	i _{y0} см	Z ₀ см	8	10	12				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
4,5	45	6*	4,29	3,37	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	1,3	2,16	2,24	2,32	2,4			
		4	5,08	3,99	9,35	2,95	1,36	14,8	1,71	3,9	2,06	0,88	1,34	2,18	2,26	2,34	2,42			
		5	3,89	3,05	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,8	1,95	0,99	1,38	2,35	2,43	2,51	2,59			
		6	4,8	3,77	11,2	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,3	0,98	1,42	2,38	2,45	2,53	2,61			
5	50	7*	5,69	4,47	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	1,46	2,40	2,48	2,56	2,64			
		8*	6,56	5,15	14,84	4,23	1,5	23,47	1,89	6,21	2,93	0,97	1,5	2,42	2,50	2,58	2,66			
		4	7,41	5,82	16,51	4,76	1,49	26,03	1,87	6,98	3,22	0,97	1,53	2,44	2,52	2,60	2,68			
5,6	56	5	4,38	3,44	13,1	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	1,52	2,58	2,66	2,73	2,81			
		4	5,41	4,25	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,1	1,57	2,61	2,72	2,77	2,85			
		4	4,72	3,71	16,21	3,7	1,85	25,69	2,33	6,72	2,93	1,19	1,62	2,74	2,82	2,89	2,97			
		5	5,83	4,58	19,79	4,56	1,84	31,4	2,32	8,18	3,49	1,18	1,66	2,76	2,84	2,92	2,99			
		6	6,92	5,43	23,21	5,4	1,83	36,81	2,31	9,6	3,99	1,18	1,7	2,79	2,86	2,94	3,02			
6*	60	8	9,04	7,1	29,55	7	1,81	46,77	2,27	12,34	4,9	1,17	1,78	2,83	2,91	2,99	3,07			
		10	11,08	8,7	35,32	8,52	1,79	55,64	2,24	15	5,7	1,16	1,85	2,87	2,95	3,03	3,11			
		4	4,96	3,9	18,86	4,09	1,95	29,9	2,45	7,81	3,26	1,25	1,69	2,86	2,93	3,01	3,09			
6,3	63	5	6,13	4,81	23,10	5,05	1,94	36,8	2,44	9,52	3,87	1,25	1,74	2,89	2,96	3,04	3,12			
		6	7,28	5,72	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	1,78	2,9	2,99	3,06	3,14			

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	70	4,5	6,2	4,87	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	1,88	3,21	3,21	3,29	3,37
		5	6,86	5,38	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	1,9	3,16	3,23	3,3	3,38
		6	8,15	6,39	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	1,94	3,18	3,25	3,33	3,4
		7	9,42	7,39	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	1,99	3,2	3,28	3,38	3,44
		8	10,67	8,37	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	2,02	3,22	3,29	3,37	3,45
		10*	13,11	10,29	57,9	11,82	2,1	91,52	2,64	24,27	8,17	1,36	2,1	3,27	3,34	3,42	3,50
		5	7,39	5,8	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	2,02	3,35	3,42	3,49	3,57
		6	8,78	6,89	46,57	8,57	2,3	73,87	2,9	19,28	6,62	1,48	2,06	3,3	3,44	3,52	3,6
7,5	75	7	10,15	7,96	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	2,1	3,4	3,47	3,54	3,62
		8	11,5	9,02	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,8	8,16	1,47	2,15	3,43	3,5	3,57	3,65
		9	12,83	10,07	66,1	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	2,18	3,44	3,51	3,59	3,67
		5,5	8,63	6,78	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,8	7,1	1,59	2,17	3,57	3,64	3,71	3,79
		6	9,38	7,36	56,97	9,8	2,47	90,4	3,11	23,54	7,6	1,58	2,19	3,58	3,65	3,72	3,8
		7	10,85	8,51	65,31	11,32	2,45	103,6	3,09	26,97	8,55	1,58	2,23	3,6	3,67	3,75	3,82
		8	12,3	9,65	73,36	12,8	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	2,27	3,62	3,69	3,77	3,84
		10*	15,14	11,88	83,58	15,67	2,42	140,31	3,04	36,85	11,09	1,56	2,35	3,62	3,69	3,77	3,85
8	80	12*	17,9	14,05	102,74	18,42	2,4	162,27	3,01	43,21	12,62	1,55	2,42	3,7	3,78	3,85	3,93
		6	10,61	8,33	82,10	12,49	2,78	130	3,5	33,97	9,88	1,79	2,43	3,96	4,04	4,11	4,19
		7	12,28	9,64	94,3	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	2,47	3,99	4,06	4,13	4,21
		8	13,93	10,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,8	12,34	1,77	2,51	4,01	4,08	4,16	4,23
		9	15,6	12,2	118	18,29	2,75	186	3,46	48,6	13,48	1,77	2,55	4,04	4,11	4,18	4,26
		10*	17,17	13,48	128,6	20,07	2,74	203,93	3,45	53,27	14,54	1,76	2,59	4,05	4,13	4,20	4,28
		12*	20,33	15,96	149,67	23,85	2,71	235,88	3,41	62,4	16,53	1,75	2,67	4,1	4,17	4,25	4,33
		6,5	12,82	10,06	122,1	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	2,68	4,36	4,43	4,5	4,57
9	90	7	13,75	10,79	130,59	17,9	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	2,71	4,38	4,45	4,52	4,59
		8	15,6	12,25	147,19	20,3	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	2,75	4,47	4,54	4,62	4,62
		10	19,24	15,1	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	2,83	4,44	4,52	4,59	4,66
		12	22,8	17,9	208,9	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,1	1,95	2,91	4,48	4,56	4,63	4,71
		14	26,28	20,63	237,15	33,83	3	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	2,99	4,53	4,6	4,68	4,76
		15*	27,99	21,97	250,68	35,95	2,99	395,87	3,76	105,48	24,62	1,94	3,03	4,55	4,63	4,70	4,78
		16	29,68	23,3	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	3,06	4,64	4,72	4,72	4,8
		10	100	16	29,68	23,3	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	3,06	4,64	4,72

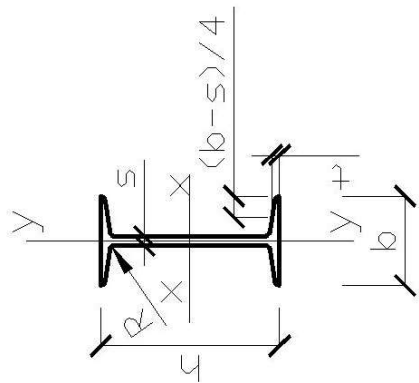
Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
11	110	7	15,15	11,89	175,61	21,83	3,4	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	2,96	4,78	4,85	4,92	5
		8	17,2	13,5	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	3	4,8	4,87	4,95	5,02
		8	18,8	14,76	259,75	29,68	3,72	412,45	4,68	107,04	23,29	2,39	3,25	5,21	5,28	5,35	5,42
		10	23,24	18,24	317,16	36,59	3,69	503,79	4,66	130,54	27,72	2,37	3,33	5,25	5,32	5,39	5,47
12	120	12	27,6	21,67	371,8	43,3	3,67	590,28	4,62	153,33	31,79	2,36	3,41	5,29	5,36	5,44	5,51
		15	33,99	26,68	448,9	52,96	3,63	711,32	4,57	186,48	37,35	2,34	3,53	5,35	5,43	5,50	5,58
		8	19,69	15,46	294,36	32,2	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	3,36	5,39	5,46	5,53	5,6
		9	22	17,3	327,48	36	3,86	520	4,86	135,88	28,26	2,48	3,4	5,41	5,48	5,56	5,63
		10	24,33	19,1	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	3,45	5,44	5,52	5,58	5,66
12,	125	12	28,89	22,68	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	3,53	5,48	5,55	5,62	5,7
5		14	33,37	26,2	481,76	54,17	3,8	763,9	4,78	199,62	39,1	2,45	3,61	5,52	5,6	5,67	5,75
		16	37,77	29,65	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,1	2,44	3,68	5,66	5,72	5,72	5,78
		9	24,72	19,41	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	3,78	6,02	6,1	6,16	6,24
14	140	10	27,33	21,45	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	3,82	6,05	6,12	6,19	6,26
		12	32,49	25,5	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	3,9	6,08	6,15	6,25	6,3
		10	29,33	23,02	634,76	58,07	4,65	1008,56	5,86	260,97	45,34	2,98	4,07	6,45	6,52	6,59	6,66
15	150	12	34,89	27,39	747,48	68,9	4,63	1187,86	5,83	307,09	52,32	2,97	4,15	6,49	6,56	6,63	6,70
		15	43,08	33,82	908,38	84,66	4,59	1442,6	5,79	374,17	61,96	2,95	4,27	6,55	6,62	6,69	6,77
		18	51,09	40,11	1060,08	99,86	4,56	1680,92	5,74	439,24	70,91	2,93	4,38	6,60	6,68	6,75	6,82
		10	31,43	24,67	774,24	66,19	4,96	1229,1	6,25	319,38	52,52	3,19	4,3	6,84	6,91	6,97	7,05
		11	34,42	27,02	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	4,35	6,86	6,93	7	7,13
		12	37,39	29,35	912,89	78,62	4,94	1450	6,23	375,78	60,53	3,17	4,39	6,88	6,95	7,02	7,09
		14	43,57	33,97	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,2	430,81	68,15	3,16	4,47	6,91	6,98	7,05	7,13
		16	49,07	38,52	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	4,55	6,95	7,03	7,1	7,18
		18	54,79	43,01	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	4,63	7	7,07	7,14	7,22
		20	60,4	47,44	1418,85	125,6	4,85	2248,26	6,1	589,43	90,02	3,12	4,7	7,04	7,11	7,18	7,26
		11	38,8	30,47	1216,44	92,47	5,6	1933,1	7,06	499,78	72,86	3,59	4,85	7,67	7,74	7,81	7,82
		12	42,19	33,12	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	4,89	7,69	7,76	7,83	7,84
18	180	15*	52,18	40,96	1607,36	123,74	5,55	2554,99	7	659,73	93,11	3,56	5,01	7,75	7,82	7,89	7,96
		18*	61,99	48,66	1884,07	146,36	5,51	2992,69	6,95	775,44	106,88	3,54	5,13	7,81	7,88	7,95	8,02
		20*	68,43	53,72	2061,11	161,07	5,49	3271,31	6,91	850,92	115,71	3,53	5,2	7,84	7,91	7,98	8,06

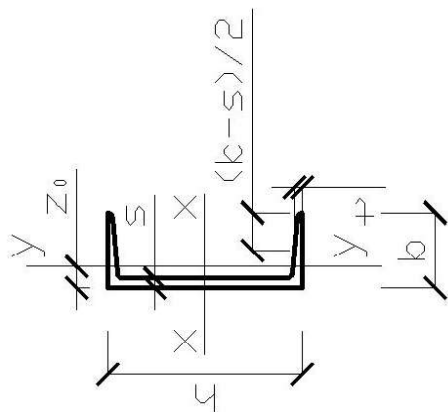
Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
20	200	12	47,1	36,97	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,4	98,68	3,99	5,37	8,48	8,55	8,62	8,69
		13	50,85	39,92	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	5,42	8,5	8,58	8,64	8,71
		14	54,6	42,8	2097	144,17	6,2	3333	7,81	861	111,5	3,97	5,46	8,52	8,6	8,66	8,73
		16	61,98	48,65	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	5,54	8,56	8,64	8,7	8,77
		18*	69,3	54,4	2620,64	182,22	6,15	4164,54	7,75	1076,74	135,48	3,94	5,62	8,61	8,68	8,75	8,82
		20*	76,54	60,08	2871,47	200,73	6,12	4560,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	5,7	8,65	8,72	8,79	8,86
		24*	90,78	71,26	3350,66	236,77	6,08	5313,5	7,65	1387,73	167,74	3,91	5,85	8,72	8,79	8,86	8,93
		25	94,29	74,02	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	5,89	8,74	8,81	8,88	8,95
		30	111,54	87,56	4019,6	288,57	6	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	6,07	8,83	8,9	8,97	9,05
		22	220	14	60,38	47,4	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,6	1158,56	138,62	4,38	5,91	9,31	9,37
25	250	16	68,58	53,83	3175,44	198,71	6,8	5045,37	8,58	1305,52	153,34	4,36	6,02	9,35	9,42	9,49	9,56
		16	78,4	61,55	4717,1	258,43	7,76	7492,1	9,78	1942,09	203,45	4,98	6,75	10,55	10,62	10,68	10,75
		18	87,72	68,86	5247,24	288,82	7,73	8336,69	9,75	2157,78	223,39	4,96	6,83	10,59	10,65	10,72	10,8
		20	96,96	76,11	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52	4,94	6,91	10,62	10,69	10,76	10,83
		22	106,12	83,31	6270,32	348,26	7,69	9961,6	9,69	2579,04	260,52	4,93	7	10,67	10,74	10,81	10,88
		25	119,71	93,97	7006,39	391,72	7,65	11125,52	9,84	2887,26	287,14	4,91	7,11	10,72	10,79	10,86	10,93
		28	133,12	104,5	7716,86	434,25	7,61	12243,84	9,59	3189,89	311,98	4,9	7,23	10,78	10,85	10,92	10,99
		30	141,96	111,44	8176,52	462,11	7,59	12964,66	9,56	3388,98	327,82	4,89	7,31	10,82	10,89	10,96	10,03

Таблица 3. Сортамент горячекатаных двутавров
(с уклоном внутренних граней полок 6-12%) по ГОСТ 8239-89



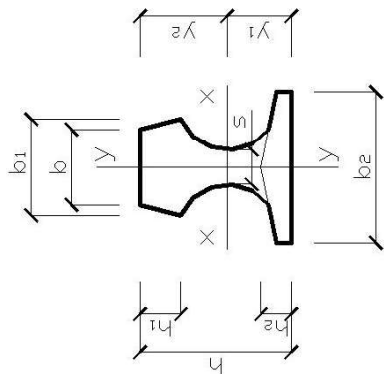
Номер двутавра	Размер, мм					А, см ²	Масса 1 кг/м	I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	I _y , см ⁴
	h	b	s	t	R									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	100	55	4,5	7,2	7	12	9,46	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	14,7	11,5	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	8	17,4	13,7	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5	7,8	8,5	20,2	15,9	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7
18	180	90	5,1	8,1	9	23,4	18,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	200	100	5,2	8,4	9,5	26,8	21	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	8,7	10	30,6	24	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
24	240	115	5,6	9,5	10,5	34,8	27,3	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	270	125	6	9,8	11	40,2	31,5	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	300	135	6,5	10,2	12	46,5	36,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	330	140	7	11,2	13	53,8	42,2	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	14	61,9	48,6	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13	15	72,6	57	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	450	160	9	14,2	16	84,7	66,5	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10	15,2	17	100	78,5	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11	16,5	18	118	92,6	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12	17,8	20	138	108	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54



Т а б л и ц а 4. Соргамент горячекатаных швеллеров
(с уклоном внутренних граней полок) по ГОСТ 8240-89

Номер швеллера	Размер, мм				А _с , см ²	Масса 1 кг/м	I _х , см ⁴	W _х , см ³	i _х , см	S _х , см ³	I _у , см ⁴	W _у , см ³	I _у , см ⁴	z ₀ , см
	h	b	s	t										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	160	64	5	8,4	18,1	14,2,	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
18	180	70	5,1	8,7	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
30	300	100	6,5	11	40,5	31,8	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	11,7	46,5	36,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59

Таблица 5. Соргамент крановых рельсов по ГОСТ 4121-76*



Тип рельса	Размеры рельса, мм										Расстояние до центра тяжести, см		I_x , см ⁴	I_y , см ⁴	I_p , см ⁴
	b	b ₁	b ₂	s	h	h ₁	h ₂	А, см ²	Масса 1 м рельса, кг	y ₁	y ₂				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
КР70	70	76.5	120	28	120	32.5	24	67.22	52.77	5.93	6.07	1083.25	319.68	1402.92	
КР80	80	87	130	32	130	35	26	81.84	64.24	6.47	6.53	1523.69	468.55	1992.24	
КР100	100	108	150	38	150	40	30	113.44	89.05	7.63	7.37	2805.88	919.52	3725.4	
КР120	120	129	170	44	170	45	35	150.69	118.29	8.69	8.31	4794.22	1671.96	6466.18	
КР140	140	150	170	60	170	50	40	187.24	146.98	8.75	8.25	5528.27	2608.71	8136.98	

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
5. Расчет и конструирование стропильной фермы.....	3
5.1. Расчетная схема.....	3
5.2. Нагрузки. Комбинации загрузжений.....	3
5.3. Общие замечания по статическому расчету фермы. Определение расчётных усилий в стержнях...	6
5.4. Подбор сечений стержней стропильной фермы.....	9
5.4.1 Расчётные длины стержней ферм.....	9
5.4.2 Рекомендации по выбору типов тавровых сечений стержневых элементов.....	10
5.4.3 Подбор сечения сжатых стержней.....	12
5.4.4 Подбор сечения растянутых стержней.....	14
5.5. Расчет узлов и конструирование стропильной фермы из парных уголков.....	14
5.6. Расчет узлов и конструирование стропильной фермы с поясами из тавров.....	24
6. Расчет и конструирование ступенчатой колонны.....	29
6.1. Определение расчетных длин участков ступенчатой колонны	29
6.2. Расчет и конструирование надкрановой части колонны.....	31
6.3. Расчет и конструирование нижней части колонны....	37
6.4. Расчет и конструирование стыка верхней части колонны с нижней.....	44
6.5. Расчет и конструирование баз колонны.....	49
7. Требования к оформлению проекта.....	54
7.1 Расчетно-пояснительная записка.....	54
7.2. Графическое оформление проекта.....	55
Литература.....	56
Приложение 1.....	59

Методические указания

для курсового и дипломного проектирования по металлическим конструкциям для специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и направления 270100 «Строительство» (бакалавры) «Стальной каркас одноэтажного производственного здания» (часть II).

Составители: М.А.Дымолазов, О.И.Ефимов, Л.А.Исаева.

Редактор: В.В.Попова

Корректор: М.А. Рожавина

Рецензент: ктн, доцент Ахметзянов Ф.Х.

Редакционно-издательский отдел КГАСУ

Подписано в печать	Тираж 300	Формат 60x84/16
Заказ	Печать	Уч. изд. л. 4,45
Бумага тип №1	ризографическая	Усл. печ. л. 4,45

Печатно-множительный отдел КГАСУ
420043, Казань, Зеленая 1.