

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Облегченные и пространственные конструкции**

Направление подготовки
Направленность (профиль)
Форма обучения

08.03.01 Строительство
Проектирование зданий
очная

Ставрополь

Содержание

Введение.....	4
1. Подбор и проверка сечения трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов.	5
2. Подбор и проверки сечения трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов.	13
3. Компоновка и подбор сечения балки с гибкой стенкой.	19
4. Проверки прочности, устойчивости и деформативности балки с гибкой стенкой.	27
5. Компоновка и подбор сечения балки с гофрированной стенкой.	38
6. Проверки прочности, устойчивости и деформативности балки с гофрированной стенкой.	45
7. Подбор и проверка сечений элементов стропильной фермы из цилиндрических труб	52
8. Подбор и проверка сечений элементов стропильной фермы из гнутосварных профилей.....	65
9. Расчет промежуточного узла легкой стропильной фермы из замкнутых гнутосварных профилей.....	74
Список литературы, рекомендуемой к использованию по данной теме.....	86

Введение

Изучению дисциплины «Облегченные и пространственные конструкции» предшествует изучение таких базовых специальных дисциплин, как «Строительная механика», «Проектирование и расчет железобетонных и каменных конструкций», «Проектирование и расчет металлических конструкций», «Проектирование и расчет конструкций из дерева и пластмасс». Знания этих дисциплин помогают студентам в освоении основ проектирования облегченных и пространственных конструкций, применяемых в зданиях и сооружениях, а также выбрать наиболее экономичные решения.

При подготовке к каждому занятию необходимо проработать ту тему лекционного курса на основе, которой проводится практическое занятие. Ознакомиться с краткими пояснениями основных положений по расчету и конструированию, которые приводятся в теоретической части, а также разобрать пример решения конкретной задачи, приводимой к каждому практическому занятию.

Методические указания могут быть использованы при самостоятельной работе студентов при проработке отдельных вопросов по данной дисциплине.

Практические работы

1. Подбор и проверка сечения трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов

Цель: научиться выполнять компоновку, сбор нагрузок, силовой расчет и основные проверки предельных состояний трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

– знать компоновку, сбор нагрузок, силовой расчет и основные проверки предельных состояний трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов (ПК-7, ПК-16);

– уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);

– владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок и иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании компоновки, сбора нагрузок, силового расчета и основных проверок предельных состояний трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

Расчет сплошной трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов выполняют на изгиб с учетом особенности работы обшивок и среднего слоя (рисунок 1).

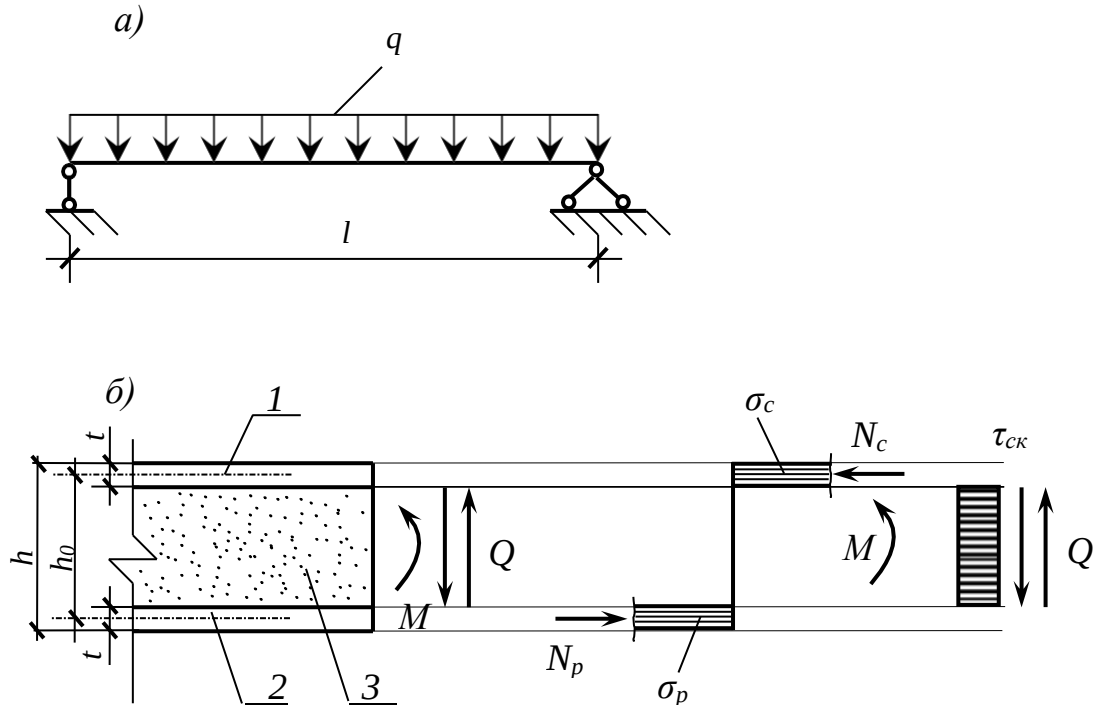


Рисунок 1 – Схема работы плиты: а – расчетная схема; б – работа обшивок и среднего слоя плиты; 1 – асбестоцементная верхняя обшивка; 2 – асбестоцементная нижняя обшивка; 3 – средний слой из пенопласта

У таких плит прочность и жесткость обшивок значительно выше, чем у среднего пенопластового слоя, поэтому основная часть нормальных напряжений растяжения и сжатия возникают в обшивках. Скалывающие напряжения в сплошных плитах, как правило, относительно малы и их может воспринять средний слой, прочность которого при скалывании достаточна рисунок 1. Прочность клеевых соединений, работающих на скалывание и обеспечение устойчивости обшивок, тоже достаточна.

Поскольку прочность обшивок велика, можно считать, что все нормальные напряжения σ от растяжения и сжатия воспринимаются только обшивками, и работу среднего слоя на эти напряжения можно не учитывать. Также можно не учитывать работу относительно тонких обшивок на

скалывание и считать, что все скалывающие напряжения τ воспринимаются только средним слоем. Можно пренебречь также собственной жесткостью тонких обшивок и считать, что нормальные напряжения по их толщине распределяются равномерно рисунок 1.

Разрушение плит с асбестоцементными обшивками может происходить от разрыва нижних растянутых обшивок в середине пролета в зоне действия максимальных изгибающих моментов. При этом разрывается и пенопласт, а плита теряет несущую способность.

Геометрические характеристики сечения плиты, с достаточной точностью, можно найти по формулам

$$- \text{момент инерции } J_x = b \cdot t \cdot h_0^2 / 2, \quad (1)$$

$$- \text{момент сопротивления } W_x = b \cdot t \cdot h_0, \quad (2)$$

$$- \text{статический момент } S_x = b \cdot t \cdot h_0 / 2, \quad (3)$$

где: b – ширина плиты, см;

t – толщина обшивки, см;

h_0 – расстояние между осями толщин обшивок, см.

Проверки прочности выполняют:

– по нормальным напряжениям в обшивках от изгибающего момента

$$\sigma_c = \frac{M}{W_x} \leq R_c, \quad (4)$$

$$\sigma_p = \frac{M}{W_x} \leq R_p. \quad (5)$$

– по касательным напряжениям в среднем слое от поперечной силы

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{J_x \cdot b} \leq R_{ск}, \quad (6)$$

где: M – расчетный изгибающий момент, кН·м; $M = \frac{q \cdot l^2}{8}$, здесь l – расчетный

пролет плиты, м; q – расчетная погонная равномерно распределенная нагрузка на плиту, кН/м;

Q – расчетная поперечная сила, кН; $Q = \frac{q \cdot l}{2}$;

R_c – расчетное сопротивление сжатию материала обшивки, кН/см²;

R_p – расчетное сопротивление растяжению материала обшивки, кН/см²;

σ_c – нормальное напряжение в сжатой обшивке, кН/см²;

σ_p – нормальное напряжение в растянутой обшивке, кН/см²;

τ – касательное напряжение в среднем слое, кН/см²;

$R_{ск}$ – расчетное сопротивление скалыванию материала среднего слоя, кН/см².

Требуемую высоту плиты между осями обшивок находят из условия прочности работы среднего слоя на скалывание по формуле (7)

$$h_{0,mp} = \frac{Q_{\max}}{b \cdot R_{ск}} \quad (7)$$

Проверку плиты на прогиб от нормативной нагрузки выполняют с учетом коэффициента сдвиговой податливости среднего слоя. Относительный прогиб плиты:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^n \cdot l^3 \cdot K}{E \cdot J_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (8)$$

где: q^n – нормативная погонная равномерно распределенная нагрузка на плиту, кН/см;

l – расчетный пролет плиты, см;

E – модуль упругости материала обшивок, кН/см²;

$\left[\frac{f}{l} \right]$ – нормируемая величина относительного прогиба определяется по

таблице 1;

K – коэффициент сдвиговой податливости, учитывающий дополнительный прогиб плиты в результате деформаций сдвига среднего слоя (утеплителя)

$$K = 1 + \frac{9,6 \cdot E \cdot J_x \cdot l_2}{G(h_0 + t) \cdot b \cdot l_2}, \quad (9)$$

где G – модуль сдвига материала среднего слоя (утеплителя), кН/см².

Таблица 1 – Относительные предельные прогибы плит, балок (отвечающие эстетико-психологическим требованиям)

Пролет l , м	≤ 1	3	6	24 (12)	36 (24)
Относительный прогиб	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$

При промежуточных значениях пролетов величины прогибов принимаются по линейной интерполяции. Значения, указанные в скобках, следует принимать при расстоянии от низа рассчитываемых конструкций до пола помещения не более 6 метров (следует учитывать, если в условиях задачи оговаривается отметка низа рассчитываемой конструкции).

Рассмотрим расчет плиты на примере

Пример 1.1

Подобрать и проверить сечение сплошной трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов и среднего слоя из пенопласта (рисунок 2). Размеры плиты в плане: длина $L=2,95$ м, ширина $b=1$ м. Плита опирается концами на основные несущие конструкции покрытия. На плиту нормально к ее поверхности действуют равномерные нагрузки от собственного веса и веса снега следующих величин: нормативная $g^n=2,0$ кН/м², расчетная $g=3,0$ кН/м². Равномерно распределенная погонная нагрузка на плиту:

- нормативная нагрузка $q^n = g^n \cdot b = 2,0 \cdot 1 = 2,0$ кН/м;
- расчетная нагрузка $q = g \cdot b = 3,0 \cdot 1 = 3,0$ кН/м.

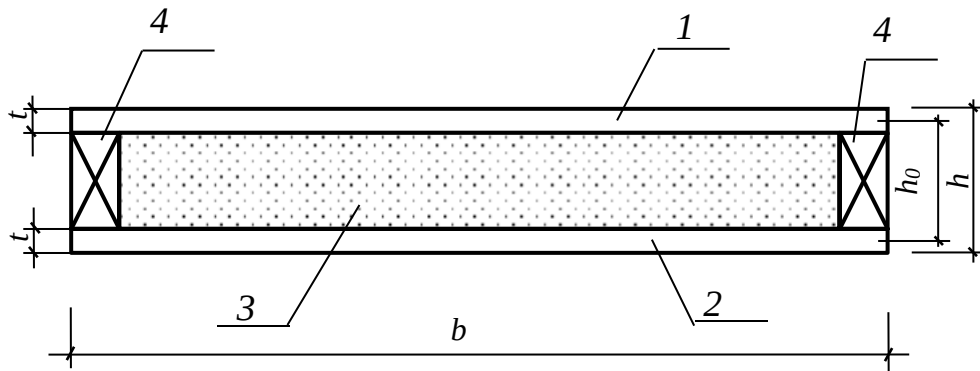


Рисунок 2 – сечение трехслойной плиты покрытия с асбестоцементными обшивками: 1 – верхняя обшивка; 2 – нижняя обшивка; 3 – средний слой (пенопласт); 4 – обрамляющие бруски

Решение

Принимаем расчетную схему плиты в виде однопролетной разрезной шарнирно опертой балки (рисунок 3).

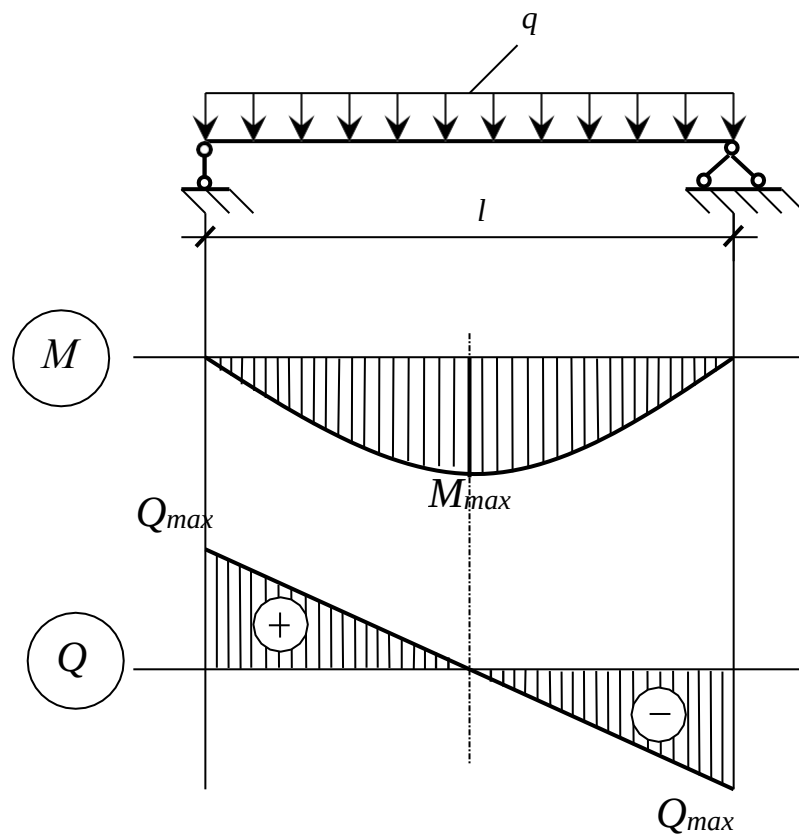


Рисунок 3 – Расчетная схема плиты и эпюры внутренних усилий M и Q

Находим расчетный пролет плиты $l = L - 0,05 = 2,95 - 0,05 = 2,9$ м.

Выполняем статический расчет. Находим внутренние усилия M_{max} и Q_{max} .

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{3 \cdot 2,9^2}{8} = 3,154 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad Q_{max} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{3 \cdot 2,9}{2} = 4,35 \text{ кН}.$$

Для обшивок плиты принимаем: плоские асбестоцементные листы марки М 250 с толщиной $t = 10$ мм = 1 см; расчетное сопротивление асбестоцементных листов растяжению $R_p = 4,2$ МПа = 0,42 кН/см²; модуль упругости $E = 6250$ МПа = 625 кН/см².

Для среднего слоя принимаем: пенопласт пенополиуретан марки ППУ-60 с плотностью $\rho = 60$ кг/м³, расчетное сопротивление скалыванию $R_{ск} = 0,025$ МПа = 0,0025 кН/см², модуль сдвига $G = 7$ МПа = 0,7 кН/см².

Определяем требуемую высоту сечения плиты между осями обшивок по формуле (7)

$$h_{0,mp} \approx \frac{Q_{max}}{b \cdot R_{ск}} = \frac{4,35}{100 \cdot 0,0025} = 17,4 \text{ см}.$$

Принимаем плиту с общей высотой сечения $h = 19,0$ см и $h_0 = h - t = 19 - 1 = 18$ см $> h_{0,mp} = 17,4$ см.

Находим геометрические характеристики сечения плиты по формулам (1)–(3):

$$J_x = b \cdot t \cdot h_0^2 / 2 = \frac{100 \cdot 1 \cdot 18^2}{2} = 16200 \text{ см}^4;$$

$$W_x = b \cdot t \cdot h_0 = 100 \cdot 1 \cdot 18 = 1800 \text{ см}^3;$$

$$S_x = b \cdot t \cdot h_0 / 2 = \frac{100 \cdot 1 \cdot 18}{2} = 900 \text{ см}^3.$$

Выполняем проверки прочности (по первой группе предельных состояний):

– растягивающие напряжения в нижней обшивке по формуле (5)

$$\sigma_p = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{3,154 \cdot 100}{1800} = 0,175 \text{ кН/см}^2 < R_p = 0,42 \text{ кН/см}^2;$$

– касательные напряжения в среднем слое по формуле (6)

$$\tau_{ск} = \frac{Q_{max} \cdot S_x}{J_x \cdot b} = \frac{4,35 \cdot 900}{16200 \cdot 100} = 0,00242 \text{ кН/см}^2 < R_{ск} = 0,0025 \text{ кН/см}^2;$$

Проверяем прогиб плиты (по второй группе предельных состояний от действия нормативных нагрузок) с учетом коэффициента сдвиговой податливости среднего пенопластового слоя по формулам (8), (9).

$$K = 1 + \frac{9,6 \cdot E \cdot J_x \cdot l}{G \cdot (n_0 + t) b \cdot l^2} = 1 + \frac{9,6 \cdot 625 \cdot 16200}{0,7 \cdot (18 + 1) 100 \cdot 290^2} = 1,869$$

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q^n \cdot l^3 \cdot K}{384 \cdot E \cdot J_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2 \cdot 290^3 \cdot 1,869}{100 \cdot 625 \cdot 16200} = 0,00117 = \frac{1}{854,7} < \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{148,5} = 0,0067.$$

Проверку сжимающих напряжений в верхней обшивке по формуле(4) не выполняем, т.к. расчетное сопротивление асбестоцементных листов сжатию выше, чем растяжению.

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

Какие напряжения воспринимают обшивки сплошной плиты и почему?

Какое напряжение воспринимается средним слоем и почему?

Как распределяются нормальные напряжения по толщине обшивок?

Как может происходить разрушение сплошных плит с плоскими асбестоцементными обшивками?

По каким группам предельных состояний рассчитываются сплошные плиты? Назовите их.

Назовите проверки, которые необходимо выполнить для сплошной плиты.

Какой коэффициент необходимо учитывать при проверке плиты на прогиб?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [2]; [4]; [8]; [9]; [13].

2. Подбор и проверки сечения трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов

Цель: научиться выполнять компоновку, сбор нагрузок, силовой расчет и основные проверки предельных состояний трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

- знать компоновку, сбор нагрузок, силовой расчет и основные проверки предельных состояний трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов (ПК-7, ПК-16);
- уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);
- владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок и иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании компоновки, сбора нагрузок, силового расчета и основных проверок предельных состояний трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

Расчет трехслойной сплошной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов выполняют на изгиб (см. рисунок 1) с учетом дополнительных напряжений и прогибов, вызванных разницей между температурами наружного воздуха и внутри помещений в наиболее холодное и жаркое время года. В холодное время года температура наружной обшивки понижается до температуры наружного воздуха, в то время как в отапливаемых помещениях она меняется незначительно. При этом длина верхней обшивки сокращается, плита получает дополнительный прогиб и в ее сечениях возникают дополнительные нормальные и скалывающие напряжения. В особо жаркое время года в результате солнечного нагрева температуру верхней обшивки может значительно превысить температуру нижней. В этом случае могут возникнуть обратный выгиб и напряжения плиты с обратным знаком по отношению к напряжениям от собственного веса.

Определение геометрических характеристик сечения плиты и проверка прочности плиты по касательным напряжениям выполняются по формулам (1)–(3) и (6) (см. занятие №1).

Проверка прочности по нормальным напряжениям выполняется по формуле:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq R, \quad (10)$$

где R – расчетное сопротивление материала обшивки растяжению, сжатию, изгибу, кН/см^2 .

Проверку плиты на полный прогиб выполняют по формуле:

$$f = f_q + f_t \leq [f], \quad (11)$$

где: f_q – прогиб плиты от нормативной погонной равномерно-распределенной нагрузки с учетом коэффициента сдвиговой податливости материала среднего слоя (утеплителя), см;

f_t – дополнительный прогиб плиты от перепада температур между наружной температурой воздуха и температурой внутри помещений, которую испытывают обшивки, см.

Значение f_q определяют по формуле:

$$f_q = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_n \cdot l^4 \cdot K}{E \cdot J_x}, \quad (12)$$

здесь K – коэффициент сдвиговой податливости материала среднего слоя (утеплителя) $K = 1 + \frac{9,6 \cdot E \cdot J_x}{G \cdot h_0 \cdot b \cdot t_2}$, см. формулу (9).

Дополнительный прогиб плиты от перепада температур наружного воздуха и внутри помещений:

$$f_t = \frac{l^2 \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_2)}{8000 \cdot h_0}, \quad (13)$$

где: α – коэффициент линейного расширения материала обшивок плиты;

t_1, t_2 – соответственно температуры внутренней и наружной поверхностей обшивок, °C;

l – расчетный пролет плиты, см;

h_0 – расстояние между осями обшивок, см;

$[f]$ – нормируемая величина прогиба плиты, $[f] = \left[\frac{f}{l} \right] \cdot l$, здесь $\left[\frac{f}{l} \right]$ –

нормируемая величина относительного прогиба, определяется по таблице 1.

Пример 2.1

Подобрать и проверить сечение сплошной трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов и среднего слоя из пенопласта (см. рисунок 4). Плита длиной $L = 2,95$ м и шириной $b = 1$ м опирается на прогоны покрытия. На плиту нормально к ее поверхности действуют равномерные нагрузки от собственного веса и веса снега следующих величин: нормативная $g_n = 1,3$ кН/м² расчетная $g = 1,85$ кН/м².

Нормативная температура в помещении под плитой $t_1 = + 18^{\circ}\text{C}$.
 Наружная температура зимой $t_2 = - 5^{\circ}\text{C}$.

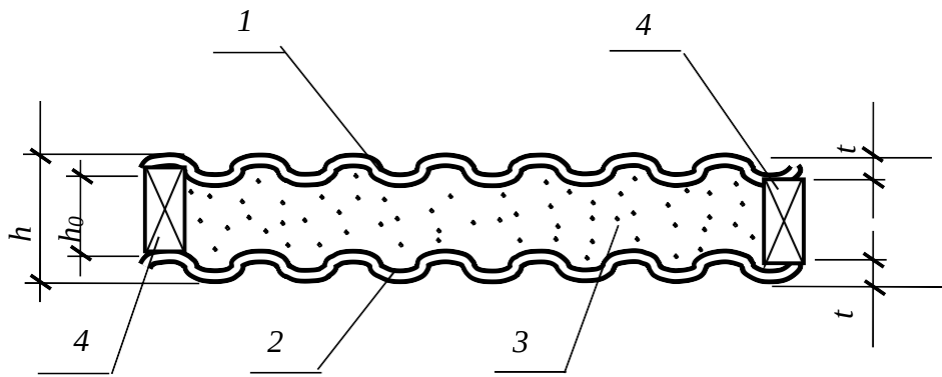


Рисунок 4 – Сечение сплошной трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов: 1 – верхняя обшивка; 2 – нижняя обшивка; 3 – средний слой (утеплитель); 4 – обрамляющие бруски

Решение.

Принимаем расчетную схему плиты в виде однопролетной шарнирно опертой балки (рисунок 5).

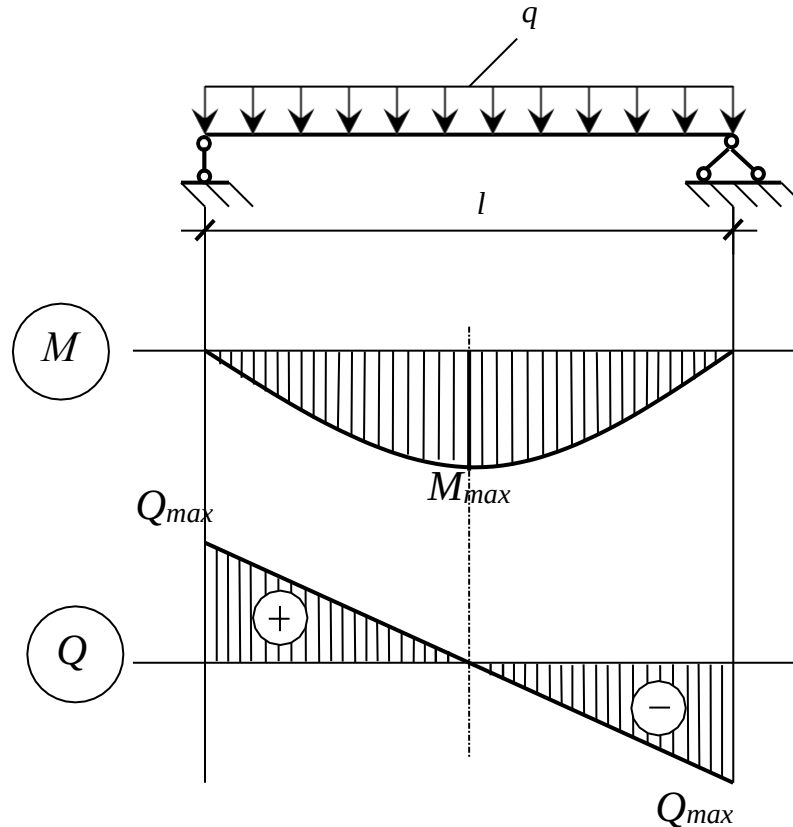


Рисунок 5 – Расчетная схема плиты и эпюры внутренних усилий M и Q

Находим расчетный пролет плиты $l = L - 0,05 = 2,95 - 0,05 = 2,9$ м .

Равномерно-распределенная погонная нагрузка на плиту:

- нормативная нагрузка $q_n = g_n \cdot b = 1,3 \cdot 1 = 1,3$ кН/м;
- расчетная нагрузка $q = g \cdot b = 1,85 \cdot 1 = 1,85$ кН/м.

Выполняем статический расчет. Находим внутренние усилия – максимальный изгибающий момент M_{max} и максимальную поперечную силу Q_{max} от расчетной нагрузки

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1,85 \cdot 2,9^2}{8} = 1,95 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{max} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{1,85 \cdot 2,9}{2} = 2,68 \text{ кН}.$$

Для обшивок плиты принимаем волнистые листы из алюминиевого сплава марки АМг2Н2 со следующими размерами: толщина листа $t = 1$ мм, высота волны $b_\phi = 5$ мм, длина волны $l_\phi = 30$ мм, ширина полки $b_n = 10$ мм,

угол наклона волны $\alpha = 45^\circ$, расчетное сопротивление алюминиевого сплава растяжению, сжатию, изгибу $R = 125 \text{ МПа} = 12,5 \text{ кН/см}^2$, модуль упругости $E = 71000 \text{ МПа} = 7100 \text{ кН/см}^2$, коэффициент линейного расширения $\alpha = 0,023$.

Для среднего слоя (утеплителя) принимаем пенополиуретан марки ППУ-60: с плотность $\rho = 60 \text{ кг/м}^3$; расчетным сопротивлением скалыванию $R_{ск} = 0,025 \text{ МПа} = 0,0025 \text{ кН/см}^2$; модулем сдвига $G = 7 \text{ МПа} = 0,7 \text{ кН/см}^2$.

Определяем требуемую высоту сечения плиты между осями обшивок по формуле (7) (см. практическое занятие №1).

$$h_{0,mp} = \frac{Q_{\max}}{b \cdot R_{ск}} = \frac{2,68}{100 \cdot 0,0025} = 10,72 \text{ см.}$$

Принимаем $h_0 = 11 \text{ см}$ и плиту с общей высотой сечения $h = h_0 + b_e = 11 + 0,5 = 11,5 \text{ см}$.

Геометрические характеристики плиты находим по формулам(1)–(3):

$$J_x = b \cdot t \cdot h^3 / 2 = 100 \cdot 0,1 \cdot 11^3 / 2 = 605 \text{ см}^4;$$

$$W_x = b \cdot t \cdot h_0 = 100 \cdot 0,1 \cdot 11 = 110 \text{ см}^3;$$

$$S_x = b \cdot t \cdot h_0 / 2 = 100 \cdot 0,1 \cdot 11 / 2 = 55 \text{ см}^3.$$

Выполняем проверки прочности (по первой группе предельных состояний):

– нормальные напряжения от изгиба в обшивках по формуле (10):

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{1,95 \cdot 100}{110} = 1,773 \text{ кН/см}^2 < R = 12,5 \text{ кН/см}^2.$$

Учет дополнительных напряжений от температурных деформаций не требуется ввиду значительных величин недонапряжения в обшивках.

– касательные напряжения в среднем слое по формуле (6)

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{J_x \cdot b} = \frac{2,68 \cdot 55}{605 \cdot 100} = 0,00244 \text{ кН/см}^2 < R_{ск} = 0,0025 \text{ кН/см}^2.$$

Проверяем прогиб плиты (по второй группе предельных состояний от действия нормативных нагрузок). Учитываем коэффициент сдвиговой податливости среднего слоя и дополнительный прогиб от перепада температур между внутренней поверхностью и внешней поверхностью обшивок по формулам (11)–(13):

$$K = 1 + \frac{9,6 \cdot E \cdot J_x}{G \cdot t \cdot b \cdot l^2} = 1 + \frac{9,6 \cdot 7100 \cdot 605}{0,7 \cdot 11 \cdot 100 \cdot 290^2} = 1,637.$$

$$f_q = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,3 \cdot 290^4 \cdot 1,637}{100 \cdot 7100 \cdot 605} = 0,456 \text{ см.}$$

$$f_t = \frac{l^2 \cdot \alpha \cdot (t - t_0)}{8000 \cdot h_0} = \frac{290^2 \cdot 0,023 \cdot (18 + 5)}{8000 \cdot 11} = 0,506 \text{ см.}$$

Полный прогиб плиты

$$f = f_q + f_t = 0,456 + 0,506 = 0,962 \text{ см} < [f] = 1,95 \text{ см}.$$

По таблице 1

$$\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{148,5}; [f] = \left[\frac{f}{l} \right] \cdot l = \frac{1}{148,5} \cdot 290 = 1,95 \text{ см.}$$

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

От действия, каких нагрузок выполняют проверки плиты по первой и второй группам предельных состояний?

Назовите проверки, которые необходимо выполнить для плиты.

Как определяется полный прогиб плиты?

С учетом, каких коэффициентов находятся составляющие полного прогиба плиты?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [1]; [2]; [4]; [8]; [10] [13].

3. Компонировка и подбор сечения балки с гибкой стенкой

Цель: научиться выполнять компоновку и подбор сечения балки с гибкой стенкой.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

- знать компоновку, сбор нагрузок, силовой расчет и подбор сечения балки с гибкой стенкой. (ПК-7, ПК-16);
- уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);
- владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок и иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании компоновки, сбора нагрузок, силового расчета и подбора сечения балки с гибкой стенкой. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, и иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

К балкам с гибкой стенкой относятся конструкции, которые могут нормально эксплуатироваться после потери местной устойчивости стенки, если стенка остаётся упругой. Балки проектируют разрезными, симметричного двутаврового сечения, несущими статическую нагрузку и изгибаемые в плоскости стенки. Их рекомендуется применять при нагрузке, эквивалентной равномерно распределенной до 50 кН/м, проектировать из стали с пределом текучести до 345 МПа и с условной гибкостью стенки $b \leq$

$\bar{\lambda}_w \leq 13$. Стенки таких балок рекомендуется укреплять поперечными ребрами жесткости, рисунок 6.

Компоновку и подбор сечения балки с гибкой стенкой симметричного двутаврового сечения (рисунок 6) и несущую статическую нагрузку рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

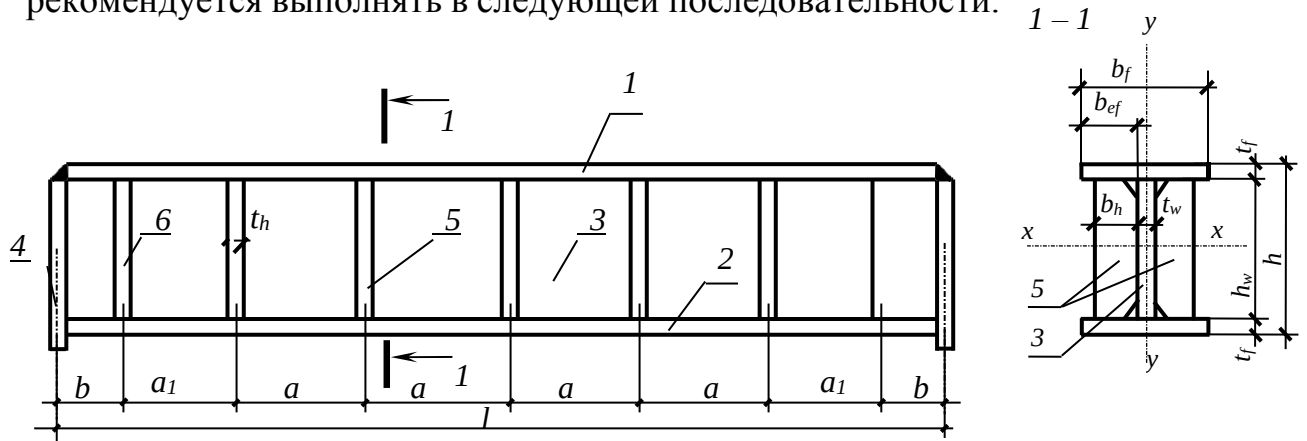


Рисунок 6 – Схема балки с гибкой стенкой симметричного двутаврового сечения: 1– верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – стенка; 4 – торцевое опорное ребро; 5 – основное поперечное ребро жесткости; 6 – дополнительное двустороннее поперечное ребро жесткости

Находят минимальную и оптимальную высоты балки.

Минимальную высоту балки, отвечающую требованиям жесткости – ее предельному прогибу (второе предельное состояние) находят по формуле (2.30) [7]

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \cdot \frac{\sigma_{nf}}{E} \cdot l \cdot \left[\frac{l}{f} \right], \quad (14)$$

где: σ_{nf} – напряжение от общего изгиба в поясе, возникающего от действия заданной нормативной нагрузки (от которой разыскивается прогиб), кН/см²;

l – расчетный пролет балки, см;

$\left[\frac{l}{f} \right]$ – величина обратная предельному относительному прогибу.

Нормированную величину относительного предельного прогиба см. таблицу 1;

E – модуль упругости стали, $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа = $2,06 \cdot 10^4$ кН/см²;

α – коэффициент, учитывающий повышение деформативности балки за счет закритической работы материала стенки.

Для балок с основными поперечными ребрами в пролете коэффициент α находят по формуле

$$\alpha = 1,2 - 0,033\bar{\lambda}_w, \quad (15)$$

где $\bar{\lambda}_w$ – условная гибкость стенки.

Для балок, стенки которых укреплены только поперечными ребрами жесткости, условную гибкость стенки $\bar{\lambda}_w$ можно принимать в пределах от $\bar{\lambda}_w = 6$ до $\bar{\lambda}_w = 13$.

Оптимальную высоту балки h_{opt} с гибкой стенкой, которая приближается к значениям, определенным по условиям жесткости, можно принять в пределах

$$h_{opt} = (1/12) \dots (1/15) l \text{ (1/1,2)}, \quad (16)$$

где l – расчетный пролет балки, см. В этой формуле второй множитель (1/1,2) вводится для балок, у которых $R_y \geq 300$ МПа.

Высоту стенки балки h_w желательно принимать не меньше $h_{r,min}$, возможно ближе к h_{opt} и равной ширине листов листового проката (приложение 16, таблица П16.11 [1]).

Гибкость стенки определяют по формуле

$$\lambda_w = \bar{\lambda}_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}}, \quad (17)$$

где R_{yw} – расчетное сопротивление стали стенки, кН/см² (приложение 5, [1]).

Толщину стенки балки находят по формуле

$$t_w = \frac{h_w}{\lambda_w}. \quad (18)$$

При назначении толщины стенки t_w необходимо принимать ее в соответствии с толщинами листового проката (приложение 16, таблица П16.11 [1]). В несущих конструкциях минимальная толщина стенки принимается $t_{w,min} = 2 \dots 3$ мм.

Чаще всего пояса балки принимают из листового проката. Ширину пояса (полки) принимают из условия обеспечения общей устойчивости балки

$$b_f \geq l_{ef,y} / \left(0,21 \sqrt{\frac{E}{R_y}} \right), \quad (19)$$

где $l_{ef,y}$ – расстояние между точками закрепления сжатого пояса из плоскости изгиба балки.

Отношение ширины свеса сжатого пояса b_{ef} к его толщине t_f принимают не более $0,38 \sqrt{E/R_y}$ (рисунок 6). Толщину пояса из условия обеспечения его местной устойчивости находят по формуле п.18.6 [5]

$$t_{f,min} \geq \left(\frac{b_{ef}}{0,38 \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}} \right),$$

где b_{ef} – расчетная ширина свеса поясного листа (полки) $b_{ef} = (b_f - t_w) / 2$.

Толщину пояса (полки) можно найти и из условия работы балки на изгиб (прочности) по формуле:

$$t_f = M_{max} / (V \cdot b_f \cdot R_{yf} \cdot \gamma_c), \quad (20)$$

где $V = (0,9 \dots 1) h_w$; $\gamma_c = 1$;

R_{yf} – расчетное сопротивление стали пояса балки. кН/см².

Толщина пояса (полки) балки окончательно принимается большей из двух условий и отвечающая толщине широкополосной универсальной горячекатаной стали по ГОСТ 82-70*.

Отношение принятых площадей сечений пояса и стенки A_f / A_w не должно превышать: $\alpha_{fu} = (10,3^3 / \lambda_w^3) (1,34 - 412 R_y / E)$, где – $A_f = b_f t_f$; $A_w = h_f t_f$.

Стенку балки, рекомендуется укреплять парными симметричными ребрами жесткости. Устанавливают парные симметричные поперечные ребра жесткости. Их устанавливают в местах приложения сосредоточенных сил.

Рационально принимать расстояние между поперечными ребрами $a = (1,5..1,75) h_w$. Размеры поперечных ребер принимают не меньше, чем в обычных балках.

С целью, предотвращения потери устойчивости опорного ребра жесткости в плоскости балки на расстоянии не менее ширины ребра и не более $1,3 t_w \sqrt{(E/R_y)}$ от опорного ребра балки устанавливают дополнительные двусторонние ребра жесткости. Таким образом, изгибу в плоскости балки, вызванному воздействием потерявшей устойчивость стенки, будет сопротивляться двутавровое сечение, образованное опорным и дополнительными ребрами жесткости, а также частью стенки.

Размеры сечений двутавровых балок с гибкой стенкой и ребрами, удовлетворяющими условию по формуле (21), в соответствии с нормами [12] следует определять по формулам (М.18) и (М.19):

$$\begin{aligned} t_w &= (0,19 + 29 R_y / E) B; B = \sqrt[3]{M / (E \gamma_c)}; h_w = t_w \lambda_w \bar{v} / \gamma_c; b_f = 0,76 h_w / \sqrt{\lambda_w}; \\ t_f &= t_w / \sqrt{\lambda_w}, \\ \text{где } \bar{\lambda}_w &= 12,9 - 2060 R_y / E, v = \sqrt{E / R_y}. \end{aligned} \quad (\text{М.18})$$

Эффективное значение расчетного сопротивления стали балки $R_{y,ef}$ следует определять по формуле (М.19)

$$R_{y,ef} = (1,06 E / \gamma_c) (1 / \sqrt[3]{(\psi\theta)^2}), \quad (\text{М.19})$$

где $\psi = 1 / B$, $\theta = n / (\rho \gamma_c)$,

здесь n – параметр, определяющий предельный прогиб ($f_u = 1 / n$) и принимаемый в соответствии с нормами [13];

ρ – параметр, равный 9,6 – при равномерно распределенной нагрузке, 12 – при сосредоточенной нагрузке в середине пролета, 10 – в остальных случаях.

При необходимости с целью удовлетворения условия по формуле (21) следует увеличивать число ребер жесткости или толщину стенки в отсеках балки, расположенных у опор.

При выборе стали следует выполнять условие $R_y \leq R_{y,ef}$.

Пример 3.1 (В данном примере не рассматривается компоновка поперечного сечения балки с гибкой стенкой в соответствии с нормами [11] по формулам (М.18) и (М.19)).

Найти размеры и выполнить компоновку поперечного сечения разрезной стропильной балки покрытия, при следующих исходных данных: расчетный пролет балки $l = 18$ м; тип сечения – симметричный сварной двутавр из листового проката с условной гибкостью стенки $\bar{\lambda}_w = 10$. Материал – сталь С345, $R_y = 335$ МПа = 33,5 кН/см² при толщине листового проката $t =$ от 2 до 10 мм; $R_y = 315$ МПа = 31,5 кН/см² при $t =$ св.10 до 20 мм, $R_y = 300$ МПа = 30,0 кН/см² при $t =$ св. 20 до 40 мм.

Приложение нагрузки, расчетная схема стропильной балки покрытия и эпюры внутренних усилий представлены на рисунке 7. Величина расчетной сосредоточенной нагрузки $P = 62,7$ кН и нормативной нагрузки – $P^n=49,5$ кН. Нагрузка статическая. Верхний пояс раскреплен связями из плоскости изгиба балки через $l_{ef} = 1,5$ м.

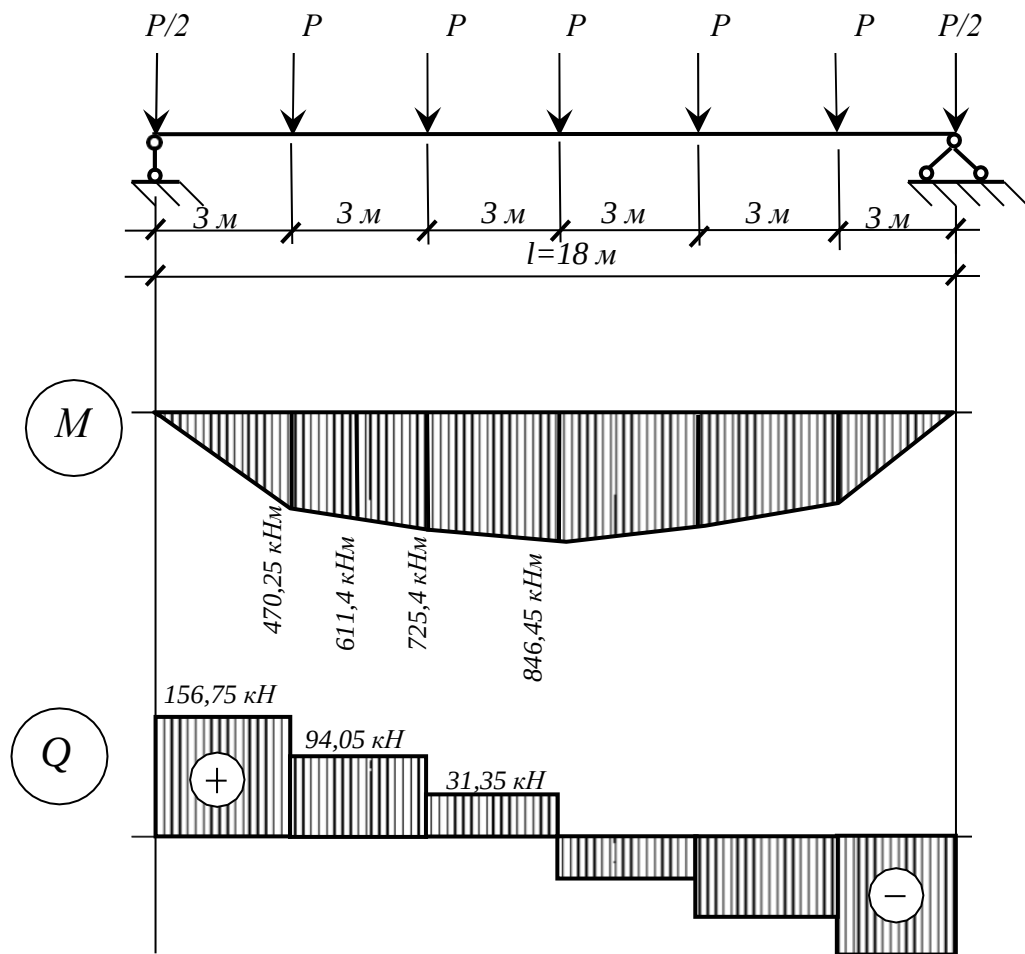


Рисунок 7 – Расчетная схема стропильной балки покрытия и эпюры внутренних усилий M и Q

Решение

Находим минимальную высоту сечения балки по формуле (14) при

$$\sigma_{nf} = R_{yf} \left(\frac{P^n}{P} \right) = 31,5 \left(\frac{49,5}{62,7} \right) = 24,87 \text{ кН/см}^2 \text{ и } \left[\frac{f}{l} \right]^{18} = \frac{1}{233} \text{ (см. таблицу 1); } \lambda_w = 10;$$

$$\alpha = 1,2 - 0,033\lambda_w = 1,2 - 0,033 \cdot 10 = 0,87$$

$$h_{r,\min} = \frac{5}{24} \cdot \frac{\sigma_{nf} \cdot l}{E \cdot \alpha} \cdot \left[\frac{l}{f} \right] = \frac{5}{24} \cdot \frac{24,87 \cdot 1800}{2,06 \cdot 10^4 \cdot 0,87} \cdot 233 = 121,25 \text{ см.}$$

Оптимальная высота балки по формуле (16)

$$h_{opt} = \left(\frac{1}{12} \right) \frac{l}{1,2} = \left(\frac{1}{12} \right) \frac{1800}{1,2} = 125 \text{ см.}$$

Принимаем $h_w=125$ см (см. приложение 16. таблица П16.1, примечание [1]).

$$\text{Гибкость стенки } \lambda_w = \bar{\lambda}_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}} = 10 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{33,5}} \approx 250.$$

$$\text{Толщина стенки } t_w = \frac{h_w}{\lambda_w} = \frac{1250}{250} = 5 \text{ мм.}$$

Принимаем $t_w = 5$ мм, (см. приложение 16, таблица П16.11, [1]).

Находим размеры сечения пояса балки:

– ширина пояса по формуле (19), при закреплении его из плоскости изгиба через $l_{ef} = 1,5 \text{ м} = 150 \text{ см}$:

$$b_f \geq \frac{l_{ef,y}}{\left(0,21 \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}\right)} \geq \frac{150}{\left(0,21 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{31,5}}\right)} \geq 27,93 \text{ см. принимаем } b_f = 28 \text{ см по (см.}$$

приложение 16, таблица П16.13, [1]) с учетом указанных в таблице примечаний [1], при условной гибкости пояса $\bar{\lambda}_b = (l_{ef} / b_f) \sqrt{R_y / E}$, не превышающей 0,21 (где b_f – ширина сжатого пояса) ;

– толщина пояса из условия обеспечения его местной устойчивости п.М.4.3 [12]

$$t_{f,\min} \geq \frac{b_{ef}}{\left(0,38 \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}\right)} \geq \frac{(28-0,5)}{2 \left(0,38 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{31,5}}\right)} \geq 1,42 \text{ см;}$$

толщина пояса по формуле (20) при $V = 0,9 \square h_w$

$$t_f = M_{\max} / (V \cdot b_f \cdot R_{yf} \cdot \gamma_c) = 846,45 \cdot 100 / (0,9 \cdot 125 \cdot 28 \cdot 31,1 \cdot 1) = 0,86 \text{ см.}$$

Принимаем окончательно $t_f = 16$ мм (по приложению 16, таблица П16.13 [1]).

Размеры поперечного сечения пояса $b_f \times t_f = 280 \times 16$ мм. Площади поперечного сечения, соответственно, пояса и стенки: $A_f = 28 \square 1,6 = 44,8 \text{ см}^2$; $A_w = 125 \square 0,5 = 62,5 \text{ см}^2$.

Отношение площадей сечений пояса и стенки не должно превышать:

$$\alpha_{fu} = (10,3^3 / \lambda_w^3) (1,34 - 412 R_y / E) = (10,3^3 / 10^3) [1,34 - 412 (30 / 2,06 \square 10^4)] = 0,7622,$$

Фактическое отношение $A_f / A_w = 44,8/62,5 = 0,7168 < 0,7622$, что удовлетворяет условию. Следовательно, оставляем принятые размеры сечений стенки и полок.

В местах приложения сосредоточенных сил (нагрузок) стенку балки укрепляем парными ребрами жесткости (рисунок 6).

Размеры поперечных ребер жесткости:

$$\text{ширина } b_h \geq \frac{h_w}{30} + 40 \geq \frac{1250}{30} + 40 \geq 81,7 \text{ мм};$$

$$\text{толщина } t_h \geq 2b_h \sqrt{\frac{R_{yw}}{E}} \geq 2 \cdot 81,7 \sqrt{\frac{33,5}{2,06 \cdot 10^4}} \geq 6,6 \text{ мм}.$$

Принимаем $b_h = 90$ мм, $t_h = 7$ мм (см. приложение 16, таблица П16.11, [1]).

Дополнительное двустороннее ребро жесткости устанавливаем на расстоянии $b = 150$ мм от опорного ребра, что отвечает требованиям п. М.4.5,

$$[12] \quad b_h \leq b \leq 1,3t_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}} \cdot 1,3t_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}} = 1,3 \cdot 5 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{33,5}} = 161,18 \text{ мм}; \quad 90 \leq 150 \leq 161,18.$$

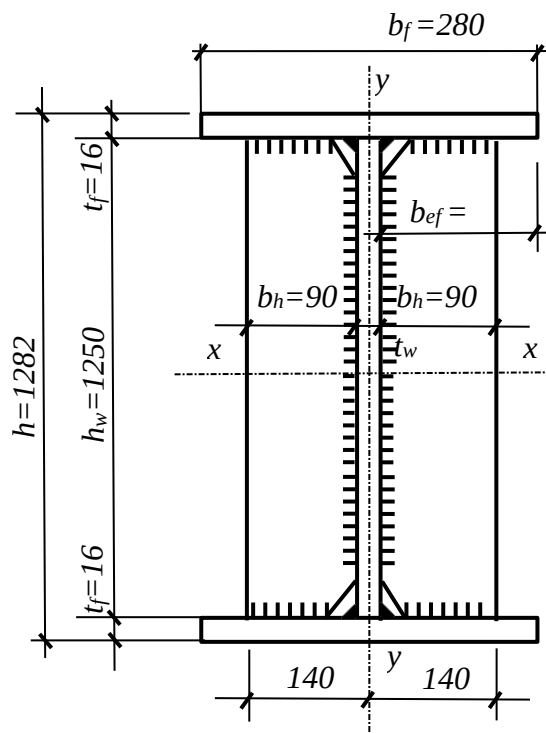


Рисунок 8 – Поперечное сечение стропильной балки покрытия с гибкой стенкой

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

Каким требованиям должна отвечать минимальная высота балки?

Как рекомендуется принимать окончательную высоту сечения стенки балки?

Каким условиям должна отвечать принимаемая ширина сечения пояса балки?

Каким условиям должна отвечать толщина сечения пояса (полки) балки и как принимается окончательная толщина сечения пояса (полки) балки?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [1]; [3]; [5]; [6]; [7]; [11]; [12]; [13].

4. Проверки прочности, устойчивости и деформативности балки с гибкой стенкой

Цель: научиться выполнять основные проверки предельных состояний балки с гибкой стенкой.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

– знать основные проверки предельных состояний балки с гибкой стенкой (ПК-7, ПК-16);

– уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);

– владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании компоновки, сбора нагрузок, силового расчета и основных проверок предельных состояний балки с гибкой стенкой и способность участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности.

Теоретическая часть

Прочность разрезных балок симметричного двутаврового сечения, несущих статическую нагрузку, изгибаемых в плоскости стенки, укрепленной только поперечными ребрами жесткости (рисунок 6) с условной гибкостью стенки $6 \leq \lambda_w \leq 13$ проверяют по формуле:

$$\left(\frac{M}{M_u} \right)^4 + \left(\frac{Q}{Q_u} \right)^4 \leq 1, \quad (21)$$

где: M , кН·м и Q , кН – значения момента и поперечной силы в рассматриваемом сечении балки;

M_u – предельное значение момента, кН·м;

Q_u – предельное значение поперечной силы, кН.

$$M_u = R_{y,f} \cdot t_w \cdot h_w^2 \left[\frac{A_f}{t_w \cdot h_w} + \frac{0,85}{\lambda_w} \left(1 - \frac{1}{\lambda_w} \right) \right]; \quad (22)$$

$$Q_u = R_{s,w} \cdot t_w \cdot h_w \left[\frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} + 3,3 \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} \right) \frac{\beta \cdot \mu}{1 + \mu^2} \right], \quad (23)$$

где: t_w и h_w – толщина и высота стенки, см;

A_f – площадь сечения пояса балки, см²;

τ_{cr} , кН/см² и μ – соответственно критическое напряжение и отношение размеров большей стороны пластинки (отсека стенки) к меньшей его стороне, определяемые в соответствии с п. 7.4*[4];

β – коэффициент, вычисляемый по формулам:

$$\beta = 0,1 + 3\alpha; \beta \geq 0,15. \quad (24)$$

$$\text{Здесь } \alpha = 8 W_{min} (h_w^2 + a^2) / (t_w h_w^2 a^2); \quad (25)$$

$$\alpha \leq 0,1, \quad (26)$$

где: W_{min} – минимальный момент сопротивления (относительно собственной оси, параллельной поясу балки) таврового сечения, состоящего из сжатого

пояса балки и примыкающего к нему участка стенки высотой $0,5 \cdot t_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}}$;

a – шаг поперечных ребер жесткости (рисунок 6).

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_{s,w}}{\lambda_{ef}^2}; \quad (27)$$

$$\lambda_{ef} = \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{R_{yw}}{E}}, \quad (28)$$

где: d – меньшая из сторон пластинки (отсека) стенки (высота стенки – h_w или расстояние между осями поперечных основных ребер – a , рисунок 6);

μ – отношение размеров большей стороны пластинки (отсека стенки) к меньшей его стороне,

Прочность стенки на действие сосредоточенной силы (местное напряжение σ_{loc} в стенке, если стенка не подкреплена поперечными ребрами жесткости в месте приложения сосредоточенной силы) проверяют по формуле

$$\sigma_{loc} = \frac{P}{(t_w \cdot l_{ef})} \leq 0,75 \cdot R_{yw} \cdot \gamma_c, \quad (29)$$

здесь $l_{ef} = b + 2h$, $h = t_f + k_f$, где k_f – катет поясного шва балки с гибкой стенкой (если балка сварная); b – ширина полки опирающейся балки. При установке поперечных ребер жесткости под каждой сосредоточенной силой $\sigma_{loc} = 0$ и эту проверку не выполняют.

Общую устойчивость балки проверяют по п. 5.15 [5]. Устойчивость балки не следует проверять при выполнении п. 5.16*а [5], либо при выполнении следующего условия $l_{ef,y} \leq 0,21b_f \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}$ (где b_f – ширина сечения сжатого пояса, рисунок 6).

Местную устойчивость сжатого пояса балки считают обеспеченной, если выполняется условие по формуле (30)

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}. \quad (30)$$

Устойчивость основных парных симметричных поперечных ребер жесткости из плоскости балки проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y \cdot A_{ef,r}} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (31)$$

$$\text{здесь } N = 3,3 \cdot R_{s,w} \cdot t_w \cdot h_w \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_s} \right) \frac{\beta \cdot \mu}{1 + \mu^2}. \quad (32)$$

Значение N следует принимать не менее сосредоточенной нагрузки P , расположенной над ребром.

Условную расчетную площадь поперечного центрально сжатого сечения стержня находят по формуле (при парных симметричных поперечных ребрах жесткости)

$$A_{ef,r} = 2 \left(b_h \cdot t_h + 0,65 t_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}} \right). \quad (33)$$

Расчетную длину стержня ребра следует принимать $l_{ef} = h_w (1 - \beta)$, при определении гибкости, но не менее $0,7 h_w$. Коэффициент β вычисляют по формулам (24)–(26).

При определении прогиба балки момент инерции поперечного сечения брутто балки следует уменьшить умножением на коэффициент $\alpha = 1,2 - 0,033 \bar{\lambda}_w$ для балок с ребрами в пролете и на коэффициент $\alpha = 1,2 - 0,033 \bar{\lambda}_w - \left(\frac{h}{t} \right)$ – для балок без ребер в пролете.

Для стропильных балок покрытий открытых для обзора прогиб не должен превышать предельно допустимого по эстетико-психологическим требованиям:

$$\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (34)$$

где $\left[\frac{f}{l} \right]$ принимается по таблице 1.

Пример 4.1

По исходным данным и результатам расчета скомпонованного поперечного сечения стропильной балки покрытия (рисунок 8) примера 3.1. выполнить проверки прочности, устойчивости и жесткости (прогиба) балки.

Решение.

Находим предельные значения: изгибающего момента по формуле (22)

$$M_u = R_{yw} \cdot t_w \cdot h_w^2 \left[A_f + \frac{0,85}{\lambda_w} \left(1 - \frac{1}{\lambda_w} \right) \right] = 31,5 \cdot 0,5 \cdot 125^2 \left[\frac{28 \cdot 1,6}{(0,5 \cdot 125)} + \frac{0,85}{10} \left(1 - \frac{1}{10} \right) \right] = 195226,2 \text{ кН} \cdot \text{см} = 1952,26 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

поперечной силы по формуле (23), для второго отсека с размерами сторон стенки отсека, $a = 300$ см, $h_w = 125$ см., рисунки 6, 8

$$\mu = \frac{a}{h_w} = \frac{300}{125} = 2,4; \quad \lambda_{ef} = \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{R_{yw}}{E}} = \frac{125}{0,5} \sqrt{\frac{33,5}{2,06 \cdot 10^4}} = 10,1;$$

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\lambda_{ef}^2} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{2,4^2} \right) \frac{0,58 \cdot 33,5}{10,1^2} = 2,22 \text{ кН/см}^2.$$

Для вычисления коэффициентов α и β подсчитываем характеристики условного поперечного сечения сжатого пояса балки, рисунок 9.

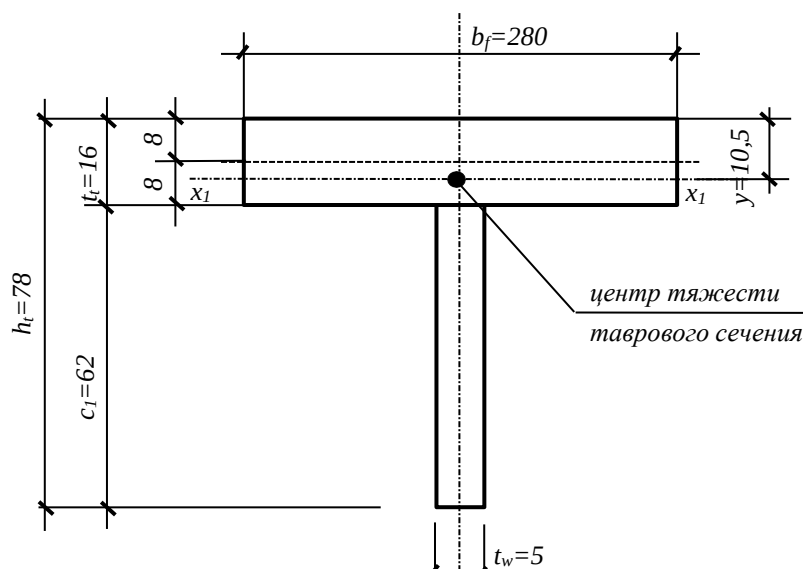


Рисунок 9 – Условный сжатый пояс балки

$$c_1 = 0,5 \cdot t_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}} = 0,5 \cdot 0,5 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{33,5}} = 6,2 \text{ см};$$

$$h_t = c_1 + t_f = 6,2 + 1,6 = 7,8 \text{ см};$$

$$A_f = b_f \cdot t_f + c_1 \cdot t_w = 28 \cdot 1,6 + 0,5 \cdot 6,2 = 47,9 \text{ см}^2.$$

Расстояние от наружной грани пояса до центра тяжести таврового сечения

$$y = \frac{b_f \cdot t_f \cdot \frac{t_f}{2} + c_1 \cdot t_w \left(\frac{c_1}{2} + t_f \right)}{b_f \cdot t_f + c_1 \cdot t_w} = \frac{28 \cdot 1,6 \cdot 0,8 + 6,2 \cdot 0,5 \cdot 4,7}{28 \cdot 1,6 + 6,2 \cdot 0,5} = 1,05 \text{ см.}$$

Момент инерции условного поперечного сечения сжатого пояса балки относительно оси x_1-x_1 (проходящей через центр тяжести таврового сечения)

$$I_f = b_f \cdot \frac{t_f^3}{12} + \frac{t_f \cdot c^3}{12} + b_f \cdot t_f \left(y - \frac{t_f}{2} \right)^2 + c \cdot t_w \left[\frac{1}{2} + t_f - y \right]^2 = 28 \frac{1,6^3}{12} + \frac{0,5 \cdot 6,2^3}{12} + 28 \cdot 1,6 \cdot \left(1,05 - \frac{1,6}{2} \right)^2 + 6,2 \cdot 0,5 \left[\frac{6,2}{2} + 1,6 - 1,05 \right]^2 = 63,6 \text{ см}^4;$$

$$W_{\min} = \left(\frac{I_f}{h_t - y} \right) = \left(\frac{63,6}{7,8 - 1,05} \right) = 9,4 \text{ см}^3;$$

$$\alpha = \frac{8 \cdot W_{\min}}{t_w \cdot h_w^2 \cdot a^2} \left(\frac{t_w^2}{a^2} + \frac{a^2}{t_w^2} \right) = \frac{8 \cdot 9,4 (125^2 + 300^2)}{0,5 \cdot 125^2 \cdot 300^2} = 0,01, \quad \alpha = 0,01, \text{ что не превышает}$$

рекомендуемого значения формула (26). β вычисляем по формуле (24)

$\beta = 0,1 + 3\alpha = 0,1 + 3 \cdot 0,01 = 0,13 < 0,15$, так как значение β получилось меньше 0,15, то принимаем $\beta = 0,15$.

$$Q_u = R_{s,w} \cdot t_w \cdot h_w \left[\frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} + 3,3 \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} \right) \frac{\beta \cdot \mu}{1 + \mu^2} \right] = 19,43 \cdot 0,5 \cdot 125 \left[\frac{2,22}{0,58 \cdot 33,5} + 3,3 \left(1 - \frac{2,22}{0,58 \cdot 33,5} \right) \frac{0,15 \cdot 2,4}{(1 + 2,4^2)} \right] = 327,8 \text{ кН.}$$

Проверяем прочность балки:

– в первом отсеке при сдвиге

$$\mu_1 = \frac{a_1}{h_w} = \frac{300 - b}{h_w} = \frac{300 - 15,0}{125} = 2,28; \quad b = 150 \text{ мм} = 15 \text{ см., см. рисунок 6;}$$

$$\lambda_{ef} = 10,1; \quad \beta = 0,15;$$

$$\tau_{cr} = \left(1 + \frac{0,76}{2,28^2} \right) \frac{0,58 \cdot 33,5}{10,1^2} = 2,25 \text{ кН/см}^2;$$

$$Q_u = R_{s,w} \cdot t_w \cdot h_w \left[\frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} + 3,3 \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} \right) \frac{\beta \cdot \mu}{1 + \mu^2} \right] = 0,58 \cdot 33,5 \cdot 0,5 \cdot 125 \left[\frac{2,25}{0,58 \cdot 33,5} + 3,3 \left(1 - \frac{2,25}{0,58 \cdot 33,5} \right) \frac{0,15 \cdot 2,28}{(1 + 2,28^2)} \right] = 336,13 \text{ кН.}$$

$$Q_{\max} = 156,75 \text{ кН} < Q_u = 336,13 \text{ кН;}$$

– во втором отсеке при совместном действии M и Q по формуле (21).

Значения M и Q см рисунок 7.

$$\left(\frac{M}{M_u} \right)^4 + \left(\frac{Q}{Q_u} \right)^4 = \left(\frac{611,4}{1952,26} \right)^4 + \left(\frac{94,05}{327,8} \right)^4 = 0,0096 + 0,007 = 0,0164 < 1;$$

– в третьем отсеке, при максимальном значении $M=846,45$ кН·м;

$$M_{max} = 846,45 \text{ кН·м} < M_u = 1952,26 \text{ кН·м}.$$

Проверяем прочность стенки на действие сосредоточенной силы по формуле (29) Эту проверка выполняют, если под сосредоточенной силой или несколькими силами стенка балки не подкреплена поперечными ребрами жесткости. В данном примере она приводится только для того, чтобы показать, как ее можно выполнить при необходимости.

$$I_f = \frac{b_f \cdot t_f^3}{3} = \frac{28 \cdot 1,6^3}{3} = 38,23 \text{ см}^4;$$

$$l_{ef} = c \cdot \sqrt[3]{\frac{I_f}{t_w}} = 3,25 \sqrt[3]{\frac{38,23}{0,5}} = 13,79 \text{ см};$$

$$\sigma_{loc} = \frac{P}{(t_w \cdot l_{ef})} = \frac{62,7}{0,5 \cdot 13,79} = 9,094 \text{ кН/см}^2 < 0,75 \cdot R_{yw} \cdot \gamma_c = 0,75 \cdot 33,5 \cdot 1 = 25,125$$

кН/см².

Проверяем выполнение условия

$$l_{ef,y} \leq 0,21 b_f \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}; \quad 150 < 0,21 \cdot 28 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{31,5}} = 150,4 \text{ см}.$$

Условие выполняется, следовательно, устойчивость балки не проверяем.

Местную устойчивость сжатого пояса проверяем по формуле (30)

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}; \quad \frac{(28-0,5)}{2 \cdot 1,6} = 8,594 < 0,38 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{31,5}} = 9,72.$$

Проверяем устойчивость основных парных ребер жесткости из плоскости стенки балки по формулам (31) – (33), при $\tau_{cr}=2,25$ кН/см², $\mu=2,28$ (приняты по вычисленным значениям для первого отсека)

$$A_{ef,r} = 2 \left(b_h \cdot t_h + 0,65 t_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}} \right) = 2 \left(9 \cdot 0,7 + 0,65 \cdot 0,5^2 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{33,5}} \right) = 20,66 \text{ см}^2;$$

Продольная сжимающая сила

$$N = 3,3 \cdot R_{s,w} \cdot t_w \cdot h_w \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} \right) \frac{\beta \cdot \mu}{1 + \mu} = 3,3 \cdot 0,58 \cdot 33,5 \cdot 0,5 \cdot 125 \cdot \left(1 - \frac{2,25}{(0,58 \cdot 33,5)} \right) \frac{0,15 \cdot 2,28}{(1 + 2,28^2)} = 195,51 \text{ кН} < P = 62,7 \text{ кН}.$$

Находим гибкость при расчетной длине ребра равной

$$l_{ef} = h_w (1 - \beta) = 125(1 - 0,15) = 106,25 \text{ см} > 0,7h_w = 0,7 \cdot 125 = 87,5 \text{ см}.$$

Принимаем $l_{ef} = 106,25 \text{ см}$.

$$I_{ry} = \frac{t_h \cdot (2b_h + t_w)^3}{12} + \frac{2 \cdot 0,65 t_w \sqrt{\frac{E}{R_{yw}}} \cdot t_w^3}{12} = \frac{0,7 \cdot 18,5^3}{12} + \frac{16,12 \cdot 0,5^3}{12} = 369,51 \text{ см}^4;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{ry}}{A_{ef,r}}} = \sqrt{\frac{369,51}{20,66}} = 4,23 \text{ см};$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{106,25}{4,23} = 25,12; \text{ по таблице 72 [4] } \varphi_y = 0,933$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y \cdot A_{ef,r}} = \frac{195,51}{0,933 \cdot 20,66} = 10,14 \text{ кН/см}^2 < R_{yt} = 33,5 \text{ кН/см}^2.$$

Далее определяют катеты поясных и других швов, проверяют несущую способность опорных ребер. Эти проверки выполняются аналогично, как в обычных балках и поэтому здесь не рассматриваются.

Аналогично проверяется опорное ребро на действие опорной реакции, в данном примере не рассматривается.

Проверка прогиба по формуле (34).

$$I_x = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + 2 \cdot b_f \cdot t_f \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 = \frac{0,5 \cdot 125^3}{12} + 2 \cdot 28 \cdot 1,6 \left(\frac{125}{2} + \frac{1,6}{2} \right)^2 = 440397,55 \text{ см}^4;$$

$$\alpha = 1,2 - 0,033 \bar{\lambda}_w = 1,2 - 0,033 \cdot 10 = 0,87 - \text{ для балок с ребрами в пролете};$$

$$M_{n,\max} = M_{\max} \cdot \frac{P^n}{P} = 846,45 \frac{49,5}{62,7} = 668,25 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\frac{f}{l} = \frac{M_{n,\max}}{10E \cdot I_x \cdot \alpha} \leq \left[\frac{f}{l} \right];$$

$$\frac{f}{l} = \frac{668,25 \cdot 100 \cdot 1800}{10 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 440397,55 \cdot 0,87} = 0,001524 < \left[\frac{f}{l} \right] = \left[\frac{1}{233} \right] = 0,0043$$

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

От действия, каких внутренних усилий проверяется прочность балки в первом, во втором и третьем отсеках?

Перечислите проверки, которые выполняются для сечения балки по первой группе предельных состояний.

То же по второй группе предельных состояний.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [5]; [6]; [7]; [11]; [12].

5. Компоновка и подбор сечения балки с гофрированной стенкой

Цель: научиться выполнять компоновку и подбор сечения балки с гофрированной стенкой.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

- знать компоновку, сбор нагрузок, силовой расчет и подбор сечения балки с гофрированной стенкой. (ПК-7, ПК-16);
- уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);
- владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок и иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании компоновки, сбора нагрузок, силового расчета и подбора сечения балки с гофрированной стенкой. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

Компоновку и подбор сечения балок с гофрированной стенкой (рисунок 10) начинают с определения высоты сечения.

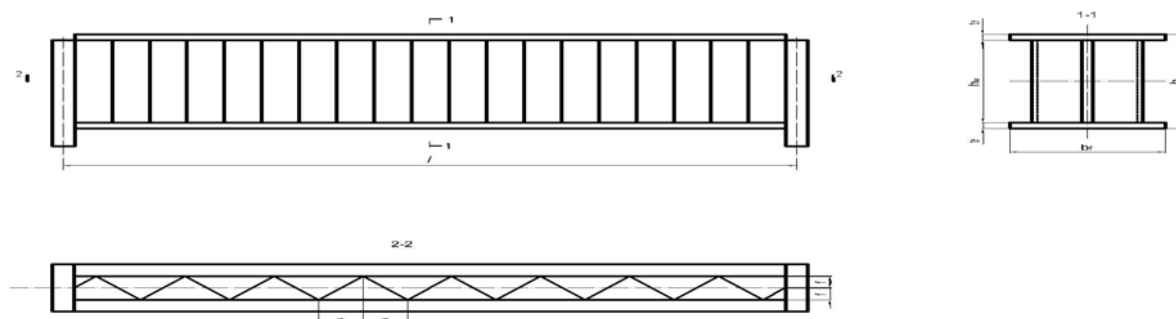


Рисунок 10 – Схема балки с гофрированной стенкой: a – длина полуволны гофра; f – высота волны гофра; h – высота сечения балки; h_w – высота сечения стенки; t_w – толщина сечения стенки; b_f – ширина сечения пояса; t_f – толщина сечения пояса

Высота сечения балки, отвечающая требованиям жесткости, h_{min} определяется по формуле:

$$h_{min} \geq \frac{(2 \cdot \xi \cdot \sigma_{nf} \cdot l \cdot \alpha)}{E} \left[\frac{l}{f} \right]^{18}, \quad (35)$$

где: ξ – коэффициент, зависящий от расчетной схемы балки и вида нагрузки, в частности, для однопролетных свободно опертых балок, нагруженных равномерно-распределенной нагрузкой, $\xi = \frac{5}{48}$;

α – коэффициент, учитывающий влияние поперечных сил на прогиб балки: $\alpha = 1,15 \dots 1,06$ для балок с $\frac{h}{l} = \frac{1}{10} \dots \frac{1}{14}$;

l – расчетный пролет балки;

$$\sigma_{nf} = R_{yf} \cdot \frac{P^n}{P}.$$

Оптимальную высоту сечения балки h_{opt} при минимально возможной толщине сечения стенки $t_{w,min}$, можно найти по формуле

$$h_{opt} \geq \frac{40 Q_{max}}{t_{w,min} \cdot R_{sw} \cdot \gamma_c}, \quad (36)$$

где: $t_{w,min}=3...4$ мм;

R_{sw} – расчетное сопротивление стали стенки сдвигу, $R_{sw}=0,58 R_y$.

Зная h_{opt} и h_{min} , окончательно принимают, высоту сечения h_w с учетом сортаментных размеров листового проката (по приложению 16, таблица П16.11, или П16.13, [1]).

Гибкость стенки при принятых размерах h_w и $t_{w,min}$ будет равна

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_{w,min}} \leq 500, \quad (37)$$

условная гибкость стенки находится по формуле

$$\bar{\lambda}_w = \lambda_w \sqrt{\frac{R_{yw}}{E}}. \quad (38)$$

Ширина сечения пояса b_f выбирается, как и в обычных балках, не более $b_f \leq \frac{h_w}{3}$, чтобы не сказывалась неравномерность распределения

нормальных напряжений в поясе, по ширине его сечения. Минимальную ширину сечения пояса $b_{f,min}$ в первом приближении можно принять

$$b_{f,min} = \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{4} \right) h_w, \quad (39)$$

и она должна обеспечивать общую устойчивость балки по п. 5.15 [5], или п. 8.4.1 [12].

Толщину сечения пояса t_f находят по формуле:

$$t_f \geq \frac{M_{max}}{v \cdot b_f \cdot R_{yf} \cdot \gamma_c}, \quad (40)$$

где $v \approx 1,03 \cdot h_w$.

Принимаемая толщина сечения пояса должна быть не меньше минимальной $t_{f,min}$, по условиям местной устойчивости.

$$t_{f,min} \geq \frac{0,5 \cdot b_f}{\left(0,82 \sqrt{k_p \frac{E}{R_{yf}}} \right)}, \quad (41)$$

где $k_p = \left[\frac{b_f}{4a} \right]^2 + 0,456$, здесь a – длина полуволны гофра, рекомендуется

принимать из условия обеспечения локальной устойчивости грани гофра.

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1}{4} \dots \frac{1}{7} \quad (42)$$

По сортименту листового проката принимается толщина сечения пояса t_f обеспечивающая требованиям по формулам (40) и (41).

Далее назначаются параметры гофров:

длина полуволны – a ;

высота волны – f .

Высота волны гофра f выбирается из условия обеспечения устойчивости отдельного гофра и «общей» устойчивости стенки. Для волнистой стенки и стенки с треугольными гофрами высоту волны можно принять

$$f = (5 \dots 20)t_w. \quad (43)$$

Сторону плоской грани гофра α_1 находят по формуле:

$$\alpha_1 = \sqrt{\alpha^2 + (2f)^2}. \quad (44)$$

Затем размещают опорные, а при необходимости, и другие ребра жесткости, монтажные стыки.

Желательно, чтобы ребра примыкали к стенке в тех местах, где она пересекает продольную ось пояса и высота гофра равна нулю (см. рисунок 10). Размеры ребер устанавливаются, как в обычных сварных двутавровых балках.

Пример 5.1

Выполнить компоновку и подбор сечения стропильной балки покрытия с гофрированной стенкой при следующих данных:

расчетный пролет балки $l = 18$ м;

расчетная температура $t \geq -30$ °С;

тип сечения – симметричный сварной двутавр из листового проката с гофрированной стенкой. Гофры принять треугольные (см. рисунок 10). Величины нагрузок и расчетную схему балки принять из примера 3.1, рисунок 7. Для балки принять сталь по ГОСТ 27772–88: стенку из стали С 235 с $R_{yw} = 23 \text{ кН/см}^2$ при $t_w=2...20 \text{ мм}$; пояса из стали С345 с $R_{yw} = 31,5 \text{ кН/см}^2$ при $t_w=10...20 \text{ мм}$. Ширину полки опирающегося прогона на верхний пояс стропильной балки, принять $b=24 \text{ см}$.

Минимальная высота сечения балки по формуле (35) при:

$$\sigma_{nf} = R_{yf} \cdot \frac{P^n}{P} = 31,5 \left(\frac{49,5}{62,7} \right) = 24,87; \quad \alpha = 1,06; \quad \xi = \frac{5}{48};$$

$$E = 2,06 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2; \quad \left[\frac{l}{f} \right]^{18} = 233$$

$$h_{\min} \geq \frac{(2 \cdot \xi \cdot \sigma_{nf} \cdot l \cdot \alpha) \left[\frac{l}{f} \right]^{18}}{E} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 24,87 \cdot 1800 \cdot 1,06 \cdot 233}{48 \cdot 2,06 \cdot 10^4} = 111,82 \text{ см.}$$

Оптимальная высота по формуле (36), при принятой толщине сечения стенки $t_{f,\min} = 4 \text{ мм} = 0,4 \text{ см}$; $\gamma_c = 1$; $R_{sw} = 0,58 \cdot 23 = 13,34 \text{ кН/см}^2$

$$h_{\text{opt}} \geq \frac{Q_{\max}}{t_{w,\min} \cdot R_{sw} \cdot \gamma_c} = \frac{156,75}{0,4 \cdot 13,34 \cdot 1} = 29,4 \text{ см.}$$

По приложению 16, таблица П16.11, или П16.13, [1], принимаем $h_w = 125 \text{ см}$, что отвечает требованию $h_w = 125 > h_{\min} = 111,82 \text{ см}$;

Гибкость стенки по формуле (37)

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_{w,\min}} = \frac{125}{0,4} = 312,5 < 500,$$

следовательно, оставляем принятые размеры поперечного сечения стенки $h_w = 125 \text{ см}$, $t_w = 0,4 \text{ см}$.

Условная гибкость стенки по формуле (38)

$$\bar{\lambda}_w = \lambda_w \sqrt{\frac{R_{yw}}{E}} = 312,5 \sqrt{\frac{23}{2,06 \cdot 10^4}} = 10,442 \approx 10,44.$$

Ширину пояса принимаем равной $b_f = 250 \text{ мм}$, что отвечает требованиям устойчивости на период изготовления и монтажа

$b_f \leq \frac{h_w}{3} = \frac{125}{3} \approx 42$ см и по формуле (39) $b_f \geq \frac{h_w}{5} = \frac{125}{5} = 25$ см. Тогда, толщина

пояса по формулам (40) и (41)

$$t_f \geq \frac{M_{\max}}{v \cdot b_f \cdot R_{yf} \cdot \gamma_c} = \frac{846,45 \cdot 100}{1,03 \cdot 125 \cdot 25 \cdot 31,5} = 0,835 \text{ см},$$

$$t_{f,\min} \geq \frac{0,5 \cdot b_f}{\left(0,82 \sqrt{k_p \frac{E}{R_{yf}}}\right)} = \frac{0,5 \cdot 25}{\left(0,82 \sqrt{0,519 \cdot \frac{2,06 \cdot 10^4}{31,5}}\right)} = 0,827 \text{ см},$$

при $k_p = \left(\frac{b_f}{4a}\right)^2 + 0,456 = \left(\frac{25}{4 \cdot 25}\right)^2 + 0,456 = 0,519$ и длине полуволны гофра

$a = \frac{h_w}{5} = \frac{125}{5} = 25$ см, что лежит в пределах допустимых величин по формуле

$$(42) \quad \alpha = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{7}\right) h_w = (31,25 \dots 17,86) \text{ см}.$$

По сортаменту листового, проката (по приложению 16, таблица П16.11, или П16.13, [1]), принимаем толщину пояса $t_f = 9$ мм.

Находим остальные параметры гофра: высоту волны по формуле (43) $f = 10t_w = 10 \cdot 0,4 = 4$ см и сторону плоской грани по формуле (44) (см. рисунок 11)

$$a_1 = \sqrt{a^2 + (2f)^2} = \sqrt{25^2 + (2 \cdot 4)^2} = 26,3 \text{ см}.$$

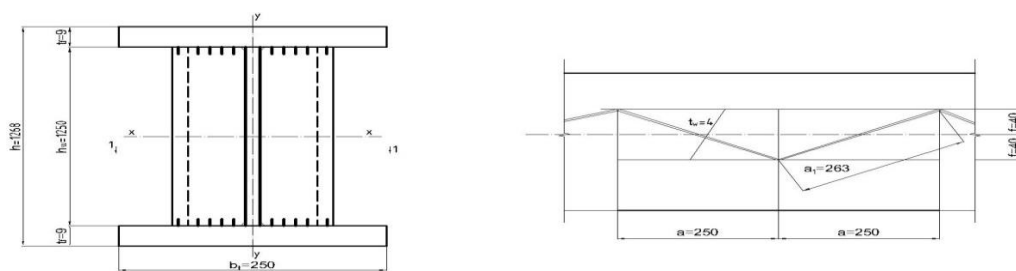


Рисунок 11 – Скомпонованное поперечное сечение балки с гофрированной стенкой: а) – принятые размеры поперечного сечения; б) – принятые параметры гофра

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

Как выбирается высота сечения стенки балки h_w ?

Каким требованиям должна отвечать ширина сечения пояса балки b_f ?

Каким требованиям должна отвечать толщина сечения пояса t_f ?

Как назначаются параметры гофров: длина полуволны – a и высота волны – f ?

При необходимости размещения ребер жесткости, в каких местах по длине стенки балки они должны примыкать к стенке?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [5]; [6]; [7]; [11]; [12]; [13].

6. Проверки прочности, устойчивости и деформативности балки с гофрированной стенкой

Цель: научиться выполнять основные проверки предельных состояний балки с гофрированной стенкой.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

- знать основные проверки предельных состояний балки с гофрированной стенкой (ПК-7, ПК-16);
- уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);
- владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок и иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании компоновки, сбора нагрузок, силового расчета и основных проверок предельных состояний балки с гофрированной стенкой. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

Для скомпонованного поперечного сечения балки и установленных размеров параметров гофра выполняют проверки прочности при изгибе и срезе, общей устойчивости, жесткости (по относительному прогибу балки). При необходимости вносят изменения.

Назначают катеты поясных швов и швов, прикрепляющих ребра жесткости (если последние были поставлены). Катеты выбирают в соответствии с нормативными требованиями. Тонкие стенки толщиной 3...4 мм можно прикреплять к поясу односторонним швом (с минимальным значением катета), за исключением зон действия сосредоточенных нагрузок (прогонов, балок, площадок, фонарей и т.п.). В этих зонах следует предусматривать двусторонние швы.

Ребра проверяются на устойчивость и прочность при смятии.

Проверку местной устойчивости гофра выполняют по формуле

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{loc,cr}}\right)^2} \leq \gamma_c, \quad (45)$$

где: σ_{loc} – местное нормальное напряжение в местах приложения сосредоточенной нагрузки к верхнему поясу балки;

$\sigma_{loc,cr}$ – критическое местное нормальное напряжение;

τ – касательное напряжение в сечении;

$\tau_{loc,cr}$ – критическое местное касательное напряжение в сечении;

γ_c – коэффициент условия работы, принимается по таблице 6* [5], или по таблице 1 [12],; $\gamma_c=1$.

$$\sigma_{loc} = \frac{P}{t_w \cdot l_{ef}} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (46)$$

где: P – расчетное значение сосредоточенной вертикальной нагрузки (силы);

l_{ef} – условная длина распределения нагрузки, определяется в зависимости от условий опирания по формуле 32 [5] или по формуле 48 [12].

Если нижняя балка сварная то

$$l_{ef} = b + 2t_f, \quad (47)$$

где: b – ширина полки пояса опирающейся конструкции (например: прогона, балки и т.д.);

t_f – толщина верхнего пояса балки, если нижняя балка сварная.

$$\sigma_{loc,cr} = c_1 R_{yw} / \bar{\lambda}_a^2, \quad (48)$$

где c_1 – коэффициент, принимаемый для сварных балок по таблице 23 [5], в зависимости от отношения $\frac{a_1}{h_w}$ и значения δ .

$$\delta = \beta \left| \frac{b_f}{h_w} \right| \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3, \quad (49)$$

где $\beta=0,8$.

$$\bar{\lambda}_a = \frac{a_1}{t_w} \sqrt{\frac{R_{yw}}{E}}, \quad (50)$$

где a_1 – размер стороны плоской грани гофра.

$$\tau = \frac{Q}{h_w \cdot t_w}. \quad (51)$$

По формуле 2.41 [7] находят $\tau_{loc,cr}$

$$\tau_{loc,cr} = 8,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \mu^2 \frac{R_{sw}}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (52)$$

где $\mu = \frac{h_w}{a_1}$.

Если условие местной устойчивости гофра по формуле (45) выполняется, то принятые параметры гофра остаются, в противном случае параметры должны быть изменены и заново проверены по формуле (45).

Проверки несущей способности балки симметричного сечения по прочности выполняют по формулам:

– при изгибе в середине пролета

$$\sigma = \left(\frac{M_{max}}{h_w + t_f A_f} \right) \leq R_{yf} \cdot \gamma_c; \quad (53)$$

– на срез стенки на опоре

$$\tau = \frac{Q_{max}}{t_w \cdot h_w} \leq R_{sw} \cdot \gamma_c, \quad (54)$$

где A_f – площадь сечения пояса.

$$A_f = b_f \cdot t_f \quad (55)$$

На общую устойчивость из плоскости изгиба балку проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{\varphi_y (h_w + t_w) A_f}, \quad (56)$$

где φ – определяется по таблице 72 [5] в зависимости от $\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y}$, здесь

$l_{ef,y}$ – расстояние между точками закреплений сжатого пояса балки от поперечных смещений (узлами продольных или поперечных связей):

$$i_y = \sqrt{\frac{b_f^2}{12}}. \quad (57)$$

«Общую» устойчивость стенки можно выполнить по формуле (45), где

$$\tau_{loc,cr} = k_\tau \frac{R_{sw}}{\lambda_w^2}, \quad (58)$$

здесь k_τ – коэффициент, зависящий от параметров $\frac{f}{t_w}$, $\frac{h_w}{a}$ и $\frac{a_1}{a}$. Значение k_τ

устанавливают по таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициент k_τ

$\frac{a_1}{a}$	Отношение $\frac{h_w}{a}$					
	3	5			7	
при $\frac{f}{t_w}$						
	5	5	10	5	10	15
1,05	43,2	76,6	116,7	115,0	177,6	230,1
1,10	43,7	77,6	118,4	116,7	180,3	233,6
1,15	44,3	78,8	120,0	118,2	182,8	236,9

Проверку жесткости балки выполняют по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{M^n \cdot l \cdot k}{10EI_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (59)$$

где k – коэффициент, учитывающий увеличение прогиба за счет поперечной силы; $k = 1,15$.

Пример 6.1

Проверить скомпонованное сечение стропильной балки с гофрированной стенкой по данным примера 5.1 см. рисунки 10, 11.

Относительный предельный прогиб балки равен $\left[\frac{f}{l} \right]^{18} = \frac{1}{233}$. Расстояние между точками закреплений сжатого пояса балки от поперечных смещений принять первоначально $l_{ef,y}=3$ м.

Решение

Проверяем местную устойчивость гофра по формуле (45), предварительно определив σ_{loc} по формуле (45), $\sigma_{loc,cr}$ по формуле (46), δ по формуле (49), $\bar{\lambda}_a$ по формуле (50), τ по формуле (51) и $\tau_{loc,cr}$ – по формуле (52).

$$l_{ef} = b + 2t_f = 24 + 2 \cdot 0,9 = 25,8 \text{ см};$$

$$\sigma_{loc} = \frac{P}{t_w \cdot l_{ef}} = \frac{62,7}{0,4 \cdot 25,8} = 6,08 \text{ кН/см}^2;$$

$$\frac{a_1}{h_w} = \frac{26,3}{125} = 0,21; \quad \delta = \beta \left(\frac{b_f}{h_w} \right) \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3 = 0,8 \left(\frac{25}{125} \right) \left(\frac{0,9}{0,4} \right)^3 = 1,823;$$

$$\bar{\lambda}_a = \frac{a_1}{t_w} \sqrt{\frac{R_{yw}}{E}} = \frac{26,3}{0,4} \sqrt{\frac{23}{2,06 \cdot 10^4}} = 2,2.$$

По таблице 23 [4] $c_1 = 11,91$;

$$\sigma_{loc,cr} = c_1 R_{yw} / \bar{\lambda}_a^2 = \frac{11,91 \cdot 23}{2,2^2} = 56,6 \text{ кН/см}^2;$$

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{t_w \cdot h_w} = \frac{156,75}{125 \cdot 0,4} = 3,14 \text{ кН/см}^2.$$

$$\mu = \frac{h_w}{a_1} = \frac{125}{26,3} = 4,75;$$

$$\tau_{loc,cr} = 8,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \mu^2 \frac{R_{sw}}{\bar{\lambda}_w^2} = 8,3 \left(1 + \frac{0,76}{4,75^2} \right) 4,75^2 \cdot \frac{0,58 \cdot 23}{10,44^2} = 23,69 \text{ кН/см}^2.$$

Условие местной устойчивости гофра по формуле (45)

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{loc,cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{6,08}{56,6}\right)^2 + \left(\frac{3,14}{23,69}\right)^2} = 0,17 < \gamma_c = 1.$$

При $a_1=26,3$ см устойчивость панели обеспечена и приведенные выше параметры гофра могут быть приняты.

Проверяем несущую способность балки:

– на прочность при изгибе в середине пролета по формуле (53)

$$\sigma = \left(\frac{M_{\max}}{h_w + t_f A_f} \right) = \frac{846,45 \cdot 100}{(125 + 0,9) \cdot 25 \cdot 0,9} = 29,88 \text{ кН/см}^2 < R_{yf} \cdot \gamma_c = 31,5 \cdot 1 = 31,5 \text{ кН/см}^2;$$

– прочность стенки на срез, на опоре по формуле (54)

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{t_w \cdot h_w} = \frac{156,75}{0,4 \cdot 125} = 3,14 \text{ кН/см}^2 < R_{sw} \cdot \gamma_c = 0,58 \cdot 23 \cdot 1 = 13,34 \text{ кН/см}^2.$$

Проверка общей устойчивости балки из плоскости по формуле (56) при $l_{ef,y}=3$ м.

$$i_y = \sqrt{\frac{b_f^2}{12}} = \sqrt{\frac{25^2}{12}} = 7,2 \text{ см}; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{3 \cdot 100}{7,2} = 41,7; \quad \varphi_y = 0,866 \text{ по таблице 72}$$

[5];

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{\varphi_y (h_w + t_w) A_f} = \frac{846,45 \cdot 100}{0,866 (125 + 0,9) \cdot 25 \cdot 0,9} = 34,5 \text{ кН/см}^2 > R_{yf} \cdot \gamma_c = 31,5 \cdot 1 = 31,5 \text{ кН/}$$

см².

Т.к. условие не выполняется, необходимо дополнительно раскрепить верхний пояс из плоскости связями так, чтобы $l_{ef,y}=1,5$ м и заново проверить выполнение условия по формуле (56)

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{1,5 \cdot 100}{7,2} = 20,83 \quad \varphi_y = 0,953$$

$$\sigma = \frac{846,45 \cdot 100}{0,953 (125 + 0,9) \cdot 25 \cdot 0,9} = 31,35 \text{ кН/см}^2 < 31,5 \text{ кН/см}^2 - \text{условие выполнено.}$$

Проверка «общей» устойчивости стенки

$$\frac{h_w}{a} = \frac{125}{25} = 5; \quad \frac{f}{t_w} = \frac{4}{0,4} = 10; \quad \frac{a_1}{a} = \frac{26,3}{25} = 1,052;$$

$k_\tau = 116,7$ по таблице 2.

По формуле (58) находим

$$\tau_{loc,cr} = k \frac{R_{sw}}{\lambda_w^2} = 116,7 \frac{0,58 \cdot 23}{10,44^2} = 14,28 \text{ кН/см}^2, \text{ здесь } \lambda_w = 10,44 \text{ по формуле (38),}$$

см. пример 5.1.

По формуле (45) проверяем «общую» устойчивость стенки

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{loc,cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{6,08}{56,6}\right)^2 + \left(\frac{3,14}{14,28}\right)^2} = 0,245 < \gamma_c = 1$$

«Общая» устойчивость стенки при сдвиге обеспечена.

Проверка жесткости балки по формуле (59).

$$J_x = 2 \cdot b_f \cdot t_f \left[\frac{(h_w + t_f)^2}{2} \right] = 2 \cdot 25 \cdot 0,9 \left[\frac{(125 + 0,9)^2}{2} \right] = 178321,6 \text{ см}^4$$

$$\frac{f}{l} = \frac{M^n \cdot l \cdot k}{10 E J_x} = \frac{668,25 \cdot 100 \cdot 18 \cdot 100 \cdot 1,15}{10 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 178321,6} = 0,0038 < \left| \frac{f}{l} \right|^{18} = \frac{1}{233} = 0,0043$$

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

Какую проверку необходимо выполнить для принятых размеров гофра?

Какую проверку выполняют для сечения балки в середине пролета?

То же для сечения на опоре?

Какую проверку необходимо выполнить для балки из плоскости изгиба?

Какую проверку выполняют для балки по второй группе предельных состояний?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [5]; [6]; [7]; [11]; [12].

7. Подбор и проверка сечений элементов стропильной фермы из цилиндрических труб

Цель: научиться выполнять подбор сечений элементов стропильной фермы из цилиндрических труб

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

- знать подбор элементов стропильной фермы из цилиндрических труб (ПК-7, ПК-16);
- уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);
- владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании подбора и необходимых проверок предельных состояний элементов стропильной фермы из цилиндрических труб. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

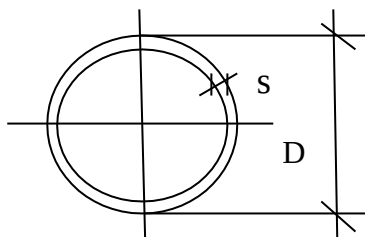


Рисунок 12 – Сечение цилиндрической трубы

Подбор и проверку центрально сжатых элементов фермы ведут в следующей последовательности:

- предварительно задаются коэффициентом продольного изгиба φ ;
- определяют требуемую площадь сечения

$$A_{red} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c}, \quad (60)$$

где γ_c – коэффициент условия работы для сжатых стержней поясов и решетки $\gamma_c=1.0$;

– по сортаменту стальных труб, приложение 11, таблица П11.13 [3] принимают трубу с площадью сечения близкой к требуемой. Выписывают площадь сечения принятой трубы A и радиус инерции i ;

- проверяют тонкостенность трубы δ

$$\delta = \frac{D}{s} < \delta_{max}, \quad (61)$$

где: $\delta_{max}=30$ для поясов из стали с пределом текучести $R_{yn} \leq 29,5$ кН/см²;

$\delta_{max}=35$ для поясов из стали с $29,5 < R_{yn} \leq 39$ кН/см²;

$\delta_{max}=40$ для поясов из стали с $R_{yn} > 39$ кН/см²;

$\delta_{max}=90$ для примыкающих сжатых элементов решетки с $R_{yn} \leq 29,5$ кН/см²;

$\delta_{max}=80$ с $29,5 < R_{yn} \leq 39$ кН/см²;

$\delta_{max}=70$ с $R_{yn} > 39$ кН/см²;

D – диаметр принятой трубы;

s – толщина стенки трубы;

– находят фактические гибкости λ_x, λ_y

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i}; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i}; \quad (62)$$

где $l_{ef,x}, l_{ef,y}$ – расчетные длины элементов фермы, соответственно в плоскости и из плоскости фермы.

Расчетные длины элементов фермы l_{ef} принимают:

– для случая прикрепления элементов решетки к поясам впритык при расчете в плоскости фермы $l_{ef,x}$ и из ее плоскости $l_{ef,y}$ для поясов, опорных стоек и опорных раскосов $l_{ef,x}=l; l_{ef,y}=l_1$;

для прочих элементов решетки

$$l_{ef,x}=0,9l; l_{ef,y}=0,9l_1;$$

– для случая сплюснутых концов труб решетки кроме опорных раскосов и опорных стоек:

$$l_{ef,x}=0,9l; l_{ef,y}=l_1,$$

здесь l – геометрическая длина элемента (расстояние между центрами узлов) в плоскости фермы;

– l_1 – расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы: поясами ферм, специальными связями, жесткими плитами покрытий, прикрепленными к поясу сварными швами или болтами, и т.д.

– по наибольшему, из значений гибкостей λ_x или λ_y находят коэффициент продольного изгиба φ по таблице 72 [5];

– проверяют устойчивость стержня

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c, \quad (63)$$

– находят предельную (нормированную) гибкость $[\lambda]$ стержня

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha \text{ – для поясов опорных раскосов и стоек;}$$

$$\lambda_u = 210 - 60\alpha \text{ – для прочих сжатых элементов решетки.}$$

$$\alpha = \frac{55}{\varphi A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot N, \quad (64)$$

здесь $0,5 \leq \alpha \leq 1$

где – проверяют выполнение условия

$$\lambda_{\text{mac}} \leq \lambda_u \quad (65)$$

Если проверяемое сечение не удовлетворяет хотя бы одному из требований по формулам (61), (63), (65) его необходимо изменить, подобрав таким образом, чтобы выполнялись все условия по перечисленным формулам.

При недопряжениях когда $\sigma < R_y$ на 10% и более (по формуле (63)) необходимо проверить меньшее сечение.

Проверку прочности элементов из труб со сплюсненными концами, подверженных центральному сжатию выполняют по формуле 5 [5] с учетом коэффициента γ_{ct}

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c \cdot \gamma_{ct}, \quad (66)$$

где $\gamma_c = 0,8$ при проверке прочности элементов решетки;

A_n – площадь сечения нетто (за вычетом площади сечения ослаблений);

γ_{ct} коэффициент:

– при свободном формировании переходного участка от круглого сечения к сплюсненному сечению (с неплавным переходом)

$$\gamma_{ct} = 1 - \frac{0,015D}{s}, \quad (67)$$

но не более 0,7 и не менее 0,3;

– при принудительном формировании переходного участка [с плавным переходом по длине $(2,5 - 3) D$]

$$\gamma_{ct} = 1,3 - \frac{0,015D}{s}, \quad (68)$$

но не более 1,0 и не менее 0,4,

где D – диаметр трубы;

s – толщина трубы.

Подбор и проверку центрально-растянутых элементов фермы выполняют в следующей последовательности:

– находят требуемую площадь сечения

$$A_{red} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c}, \quad (69)$$

где $\gamma_c = 0,95$ для растянутых поясов;

$\gamma_c = 0,8$ для растянутых элементов решетки;

– находят требуемый минимальный радиус инерции

$$i_{red,x} = \frac{l_{ef,x}}{[\lambda]}; \quad i_{red,y} = \frac{l_{ef,y}}{[\lambda]}, \quad (70)$$

где λ_u – значение предельной гибкости растянутого элемента, принимается по таблице 20*[5] и зависит от характера нагрузки воздействующей на конструкцию. Так, например, при статической нагрузке $\lambda_u = 400$;

– по сортаменту стальных труб, приложение 11, таблица П11.13 [3] принимают трубу с площадью сечения A и радиусом инерции i не менее требуемых A_{red} и $i_{red,x}$;

– проверяют тонкостенность трубы δ

$$\delta = \frac{D}{s} < \delta_{max}, \quad (71)$$

где δ_{max} для растянутых поясов см. пояснение к формуле (61), а для примыкающих к поясам растянутых элементов решетки $\delta_{max} = 90$ не зависимо от предела текучести стали R_{yn} ;

– проверяют гибкости стержня в плоскости λ_x и из плоскости фермы λ_y

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i} < \lambda_u, \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i} < \lambda_u \quad (72)$$

– проверяют прочность стержня

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c. \quad (73)$$

При подборе и проверке сечений элементов стропильной фермы из цилиндрических труб необходимо соблюдать рекомендации приведенные в [5]; [6]; [7]; или [12].

- фермы рассчитываются как разрезные свободноопертые конструкции при узловой передаче нагрузки;

- расчет ферм по шарнирной схеме допускается при отношении высоты сечения к длине элементов не превышающем $1/10$ – для конструкций, эксплуатируемых при расчетной температуре -40°C и выше, и $1/15$ при расчетной температуре ниже -40°C . При превышении этих отношений следует учитывать дополнительные изгибающие моменты в стержнях от жесткости узлов. Осевые усилия при этом допускается определять по шарнирной схеме. Для элементов таких стропильных ферм рекомендуется применять прямошовные электросварные трубы при этом

- разница в толщине стенок при одинаковом диаметре труб должна быть не менее 1,5 мм;

- минимальная толщина стенок труб поясов и опорных раскосов 3 мм, элементов решетки 2,5 мм;

- отношение диаметра труб раскосов к диаметру труб поясов должно быть не менее 0,3 и не более диаметра пояса.

Наиболее применимы трубы диаметром 50 – 426 мм.

Пример 7.1

Подобрать и проверить сечения элементов фермы из стальных электросварных прямошовных труб по ГОСТ 10 704-91 из стали марки 20 по ГОСТ 8731-87 при следующих исходных данных:

- элементы решетки фермы крепятся к поясам впритык;
- максимальное расчетное усилие в верхнем поясе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{lv} $N_v = -412,15$ кН; $l = 300$ см; $l_{lv} = 300$ см;

– максимальное расчетное усилие в нижнем поясе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{ln} $N_n = 438,23$ кН; $l = 600$ см; $l_{ln} = 1200$ см;

– расчетное усилие в опорном раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r1} $N_{r1} = -225,6$ кН; $l = 403$ см; $l_{r1} = 403$ см;

– в промежуточном сжатом раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r2} $N_{r2} = -1200$ кН; $l = 417$ см; $l_{r2} = 417$ см;

– в растянутом раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r3} $N_{r3} = 198,25$ кН; $l = 417$ см; $l_{r3} = 417$ см;

– в промежуточной стойке и её геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{ls} $N_{s1} = -52,17$ кН; $l = 290$ см; $l_{ls} = 290$ см.

Концы стойки в узлах, при примыкании к поясам по концам сплющиваются с плавным переходом по длине $(2,5-3)D$.

Расчетное сопротивление марки стали 20, при растяжении, сжатии и изгибе труб $R_y = 22,5$ кН/см² при толщине стенки $s = 4...36$ мм (таблица 51,а [5]). Расчетные усилия в элементах фермы были определены по шарнирной схеме при статической нагрузке. Расчетная температура – 28⁰С.

Решение

Подбираем сечение верхнего сжатого пояса. Расчетное усилие $N_v = -412,15$ кН; $l_{ef,x} = l = 300$ см; $l_{ef,y} = l_v = 300$ см; $\gamma_c = 1$. (см. пояснение в теоретической части по расчетным длинам элементов).

Предварительно задаемся коэффициентом $\varphi = 0,7$. Требуемая площадь сечения по формуле (60)

$$A_{red} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{412,15}{0,7 \cdot 22,5 \cdot 1} = 26,17 \text{ см}^2.$$

Принимаем (приложение 11. таблица П11.13 [3]) трубу сечением Тр. Ø 125x5.5 мм, $A = 25,3 \text{ см}^2$, $i = 5,2 \text{ см}$.

Проверяем тонкостенность трубы по формуле (61)

$$\delta = \frac{D_v}{s} = \frac{152}{5.5} = 27,64 < \delta_{\max} = 30$$

Гибкость пояса по формуле (62)

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{l_{ef,x}}{i} = \frac{300}{5,2} = 57,7.$$

Коэффициент продольного изгиба (по таблице 72 [5])

$$\varphi = 0,823.$$

Проверяем устойчивость стержня по формуле (63)

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{412,15}{0,823 \cdot 25,3} = 19,8 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 22,5 \cdot 1 = 22,5 \text{ кН/см}^2.$$

Устойчивость обеспечена.

Предельная гибкость

$$\alpha = \frac{N}{\varphi A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{412,15}{0,823 \cdot 25,3 \cdot 22,5 \cdot 1} = 0,88;$$

$$\lambda_u = 180 - 60 \alpha = 180 - 60 \cdot 0,88 = 127,2 > \lambda = 57,7.$$

Подбор сечения нижнего растянутого пояса.

Расчетное усилие $N_n = 438,23 \text{ кН}$; $l_{ef,x} = l = 600 \text{ см}$; $l_{ef,y} = l_{1n} = 1200 \text{ см}$;

$$\gamma_c = 0,95; \lambda_u = 400.$$

Требуемая площадь сечения по формуле (69)

$$A_{red} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{438,23}{22,5 \cdot 0,95} = 20,5 \text{ см}^2.$$

Требуемый минимальный радиус инерции по формуле (70)

$$i_{red,y} = \frac{l_{ef,y}}{[\lambda]} = \frac{1200}{400} = 3 \text{ см}.$$

Принимаем трубу сечением Тр. Ø 127x5,5 мм;

$$A = 21,0 \text{ см}^2, i = 4,3 \text{ см}.$$

Проверяем тонкостенность трубы по формуле (61)

$$\delta = \frac{D_n}{s} = \frac{127}{5.5} = 23 < \delta_{\max} = 30.$$

Условие соблюдается.

Гибкость стержня по формуле (72)

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i} = \frac{600}{4,3} = 139,5 < \lambda_u = 400.$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i} = \frac{1200}{4,3} = 279 < \lambda_u = 400.$$

Проверяем прочность нижнего пояса по формуле (73)

$$\sigma = \frac{N_n}{A} = \frac{438,23}{21,0} = 20,87 \text{ кН/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c = 22,5 \cdot 0,95 = 21,38 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность обеспечена.

Проверяем условия применения шарнирной схемы при статическом расчете:

для верхнего пояса

$$\frac{D}{l} = \frac{15,2}{300} = \frac{1}{19,74} < \frac{1}{10};$$

для нижнего пояса

$$\frac{D}{l} = \frac{12,7}{600} = \frac{1}{47,24} < \frac{1}{10}.$$

Условия выполняются.

Подбор сечений сжатых или растянутых раскосов и стойки, в зависимости от действующих в них усилий, производится аналогично подбору и проверкам сечений, сжатых верхних или растянутых нижних поясов. Поэтому подбор элементов решетки ведем без подробных пояснений.

Подбор сечения сжатого опорного раскоса.

$$N_{r1} = -225,6 \text{ кН}; l_{ef,x} = l = 403 \text{ см}; l_{ef,y} = l_{r1} = 403 \text{ см}; \gamma_c = 1.$$

Принимаем $\varphi = 0,6$;

$$A_{red} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{225,6}{0,6 \cdot 22,5 \cdot 1} = 16,71 \text{ см}^2.$$

Принимаем трубу сечением Тр. Ø 127x5,5 мм; $A = 21,0 \text{ см}^2$, $i = 4,3 \text{ см}$.

$$\delta = \frac{D_{r2}}{s} = \frac{127}{5,5} = 23,1 < \delta_{\max} = 90.$$

Гибкость

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{403}{4,3} = 93,3.$$

Коэффициент $\varphi=0,612$.

$$\sigma = \frac{N_{r1}}{\varphi A} = \frac{225,6}{0,612 \cdot 21} = 17,55 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 22,5 \cdot 1 = 22,5 \text{ кН/см}^2,$$

Устойчивость обеспечена

Предельная гибкость

$$\alpha = \frac{N_{r1}}{\varphi A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{225,6}{0,612 \cdot 21 \cdot 22,5 \cdot 1} = 0,78$$

$$\lambda_u = 180 - 60 \alpha = 180 - 60 \cdot 0,78 = 133,2 > \lambda = 93,3.$$

$$\frac{D_{r1}}{D_v} = \frac{127}{152} = 0,84 > 0,3; \quad \frac{D_{r1}}{D_n} = \frac{127}{127} = 1 > 0,3;$$

$$D_{r1} = 127 \text{ мм} < D_v = 152 \text{ мм}; \quad D_{r1} = 127 \text{ мм} = D_n = 127 \text{ мм}.$$

Подбор сечения промежуточного сжатого раскоса.

$$N_{r2} = -120 \text{ кН}; \quad l_{ef,x} = 0,9 l = 0,9 \cdot 417 = 376 \text{ см}; \quad l_{ef,y} = 0,9 l_{r2} = 0,9 \cdot 417 = 376 \text{ см}; \quad \gamma_c = 1.$$

Принимаем $\varphi=0,5$

$$A_{red} = \frac{N_{r2}}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{120}{0,5 \cdot 22,5 \cdot 1} = 10,7 \text{ см}^2.$$

Принимаем Тр. Ø 102x4 мм; $A=12,3 \text{ см}^2$, $i=3,5 \text{ см}$.

Тонкостенность трубы

$$\delta = \frac{D_{r2}}{s} = \frac{102}{4} = 25,5 < \delta_{\max} = 90.$$

Гибкость

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{376}{3,5} = 107,4.$$

Коэффициент $\varphi = 0,515$.

Устойчивость стержня

$$\sigma = \frac{N_{r1}}{\varphi A} = \frac{120}{0,515 \cdot 12,3} = 18,94 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 22,5 \cdot 1 = 22,5 \text{ кН/см}^2,$$

Устойчивость обеспечена.

Предельная гибкость

$$\alpha = \frac{N_{r2}}{\varphi A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{120}{0,515 \cdot 12,3 \cdot 22,5 \cdot 1} = 0,842$$

$$\lambda_u = 210 - 60 \alpha = 210 - 60 \cdot 0,842 = 159,5 > \lambda = 107,4.$$

$$\frac{D_{r2}}{D_v} = \frac{102}{152} = 0,67 > 0,3; \quad \frac{D_{r2}}{D_n} = \frac{102}{127} = 0,803 > 0,3;$$

$$D_{r2} = 102 \text{ мм} < D_v = 152 \text{ мм}; \quad D_{r2} = 102 \text{ мм} < D_n = 127 \text{ мм}.$$

Условия соблюдаются.

Подбор сечения растянутого раскоса.

$$N_{r3} = 198,25 \text{ кН}; \quad l_{ef,x} = 0,9 l = 0,9 \cdot 417 = 376 \text{ см}; \quad l_{ef,y} = 0,9 l_{r3} = 0,9 \cdot 417 = 376 \text{ см}; \quad \gamma_c = 0,8; \quad \lambda_u = 400.$$

$$A_{red} = \frac{N_{r3}}{R_y \gamma_c} = \frac{198,25}{22,5 \cdot 0,8} = 11,02 \text{ см}^2.$$

$$i_{red,x} = \frac{l_{ef,x}}{[\lambda]} = \frac{376}{400} = 0,94 \text{ см}.$$

$$\text{Принимаем Тр. } \varnothing 89 \times 4,5 \text{ см}; \quad A = 11,9 \text{ см}^2, \quad i = 3,0 \text{ см}.$$

Тонкостенность трубы

$$\delta = \frac{D_{r3}}{s} = \frac{89}{4,5} = 19,8 < \delta_{\max} = 90.$$

Гибкость стержня

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i} = \frac{376}{3,0} = 125,3 < \lambda_u = 400.$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i} = \frac{376}{3,0} = 125,3 < \lambda_u = 400.$$

Прочность стержня

$$\sigma = \frac{N_{r3}}{A} = \frac{198,25}{11,9} = 16,66 \text{ кН/см}^2 < R \gamma_{yc} = 22,5 \cdot 0,8 = 18 \text{ кН/см}^2,$$

Прочность обеспечена.

$$\frac{D_{r3}}{D_v} = \frac{89}{152} = 0,59 > 0,3, \text{ остальные условия то же соблюдаются.}$$

Подбор сечения стойки со сплюсненными концами.

$$N_{s1} = -52,17 \text{ кН}; \quad l_{ef,x} = 0,9 l = 0,9 \cdot 290 = 261 \text{ см}; \quad l_{ef,y} = 0,9 l_{1s} = 0,9 \cdot 290 = 261 \text{ см}; \quad \gamma_c = 1; \quad \gamma_{ct} = 1,3 - \frac{0,015 D_{s1}}{s} \text{ (по формуле (68)).}$$

Задаемся $\varphi=0,4$

$$A_{red} = \frac{N_{s1}}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{52,17}{0,4 \cdot 22,5 \cdot 1} = 5,8 \text{ см}^2$$

Принимаем Тр. Ø 70x4 мм; $A = 8,3 \text{ см}^2$, $i = 2,3 \text{ см}$.

Тонкостенность трубы

$$\delta = \frac{D_{s1}}{s} = \frac{70}{4} = 17,5 < \delta_{\max} = 90.$$

Гибкость

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{261}{2,3} = 113,5; \varphi = 0,467.$$

Устойчивость стержня

$$\sigma = \frac{N_{s1}}{\varphi A} = \frac{52,17}{0,467 \cdot 8,3} = 13,46 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 22,5 \cdot 1 = 22,5 \text{ кН/см}^2,$$

Предельная гибкость

$$\alpha = \frac{N_{s1}}{\varphi A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{52,17}{0,467 \cdot 8,3 \cdot 22,5 \cdot 1} = 0,598$$

$$\lambda_u = 210 - 60 \alpha = 210 - 60 \cdot 0,598 = 174,1 > \lambda = 113,5$$

$$\frac{D_{s1}}{D} = \frac{70}{152} = 0,46 > 0,3, \text{ остальные условия то же соблюдаются.}$$

Проверяем стойку на прочность по формуле (66), $\gamma_c = 0,8$.

$$\gamma_{ct} = 1,3 - \frac{0,015 D_{s1}}{s} = 1,3 - \frac{0,015 \cdot 70}{4} = 1,038 > 1, \text{ принимаем } \gamma_{ct} = 1$$

$$\sigma = \frac{N_{s1}}{A_n} = \frac{52,17}{8,3} = 6,29 \text{ кН/см}^2 < R \gamma_c \cdot \gamma_{ct} = 22,5 \cdot 0,8 \cdot 1 = 18 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность стойки со сплюсненными концами обеспечена.

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

Расскажите последовательность подбора сечения центрального сжатого стержня фермы из цилиндрической трубы.

Перечислите проверки для сжатого стержня.

Расскажите последовательность подбора сечения центрального растянутого стержня из цилиндрической трубы.

Перечислите проверки для растянутого стержня.

Какие конструктивные условия должны соблюдаться для стержней ферм из цилиндрических труб?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [5]; [6]; [7] или [12].

8. Подбор и проверка сечений элементов стропильной фермы из гнутосварных профилей

Цель: научиться выполнять подбор сечений элементов стропильной фермы из гнутосварных профилей

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

- знать подбор элементов стропильной фермы из гнутосварных профилей (ПК-7, ПК-16);
- уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);
- владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании подбора и необходимых проверок предельных состояний элементов стропильной фермы из гнутосварных профилей. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

Подбор и проверку центрально-сжатых и центрально-растянутых элементов фермы из гнутосварных профилей (ГСП) выполняют по формулам приведенных к практическому занятию №7. (см. формулы (60); (62); (63); (64); (65); (69); (70); (72); (73)). В формулах (69) и (73) $\gamma_c=0,95$.

Стержни ферм из ГСП проверяют на местную устойчивость стенок сечения по формуле

$$\frac{h_{ef}}{t_w} \leq \bar{\lambda}_{uw} \sqrt{\frac{E}{R_y}}, \quad (74)$$

где h_{ef} – расчетная высота стенки, $h_{ef} = h - 2(t_w + r)$ (см. рисунок 11);

h – полная высота стенки;

r – угловые закругления сечения ГСП, которое можно принять $r = t_w$.

$\bar{\lambda}_{uw}$ – наибольшая условная гибкость стенки;

t_w – толщина стенки;

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1,2, \text{ если } \bar{\lambda} = \lambda_{\max} \sqrt{\frac{R_y}{E}} < 1; \quad (75)$$

$\lambda_{\max}$ – максимальная гибкость λ_x или λ_y принимаемая в расчете на устойчивость при центральном сжатии.

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1 + 0,2\bar{\lambda} \leq 1,6, \text{ если } \bar{\lambda} \geq 1. \quad (76)$$

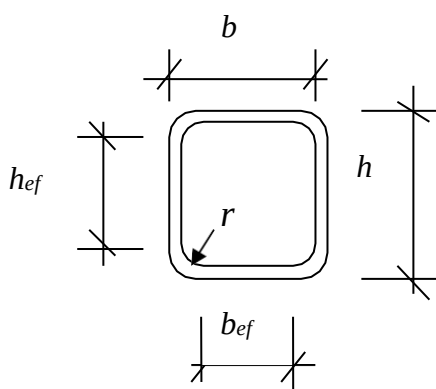


Рисунок 13 – Сечение ГСП. К расчету на местную устойчивость стенок и полок

Если отношение $\frac{h_{ef}}{t_w} > \bar{\lambda}_{uw} \sqrt{\frac{E}{R_y}}$, то при расчете стержней вместо значения

площади сечения A в формуле (63) (см. занятие №7) принимается величина приведенной площади сечения A_{red} , которая вычисляется по формуле

$$A_{red} = A - 2(h_{ef} - h_{red}) \cdot t_w - 2(b_{ef} - b_{red}) \cdot t_w, \quad (77)$$

где $h_{red} = t_w \left[\bar{\lambda}_{uw} - \left(\frac{\bar{\lambda}_{uw}}{\bar{\lambda}_{uw} - 1} \right) (\bar{\lambda}_{uw} - k) \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}}$;

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}};$$

$k = 2,9 + 0,2\bar{\lambda} - 0,7\bar{\lambda}_w$ (при значениях $\bar{\lambda}_w > 2,3$ следует принимать $\bar{\lambda}_w = 2,3$);

b_{ef} – расчетная ширина полки $b_{ef} = b - 2(t_w + r)$, здесь b – полная ширина полки.

Значение b_{red} находят по формуле

$$b_{red} = t_w \left[\bar{\lambda}_{w1} - \left(\frac{\bar{\lambda}_{w1}}{\bar{\lambda}_{w1} - 1} \right) (\bar{\lambda}_{w1} - k_1) \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}}, \quad (78)$$

где $\bar{\lambda}_{w1} = \frac{b_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}};$

$k_1 = 2,9 + 0,2\bar{\lambda} - 0,7\bar{\lambda}_{w1}$ (при $\bar{\lambda}_{w1} > 2,3$ следует принимать $\bar{\lambda}_{w1} = 2,3$).

Для центрально-сжатых элементов поясов должно проверяться условие местной устойчивости полок $\left(\frac{b_{ef}}{t_w} \right)$, расчет ведется аналогично, как для стенок

по Формулам (74)–(76), но с заметной h_{ef} на b_{ef} в формуле (74), и

$$b_{ef} = b - 2(t_w + r), r = t_w.$$

При подборе и проверке элементов стропильных ферм из ГСП необходимо соблюдать рекомендации [5]; [11] или [12]:

– для стержней ферм применять гнутосварные профили по ТУ 36-2287-80 (с изменениями №2);

– толщину стенок стержней следует принимать не менее 3 мм. В одной ферме не рекомендуется применять профили с одинаковыми размерами сечения, которые отличаются толщиной стенок менее чем на 2 мм;

– для поясов отношение высоты стенки к ее толщине должно быть не более 45, для элементов решетки – не более 60;

– ширину сечения стержней решетки принимают с таким расчетом, чтобы можно было свободно приварить их к поясу. И не более величины $b_p - 2(t_{w,p} - t_{w,r})$ и не менее $0,6 b_p$, где b_p – ширина сечения полки пояса; $t_{w,p}$ – толщина стенки пояса; $t_{w,r}$ – толщина стенки примыкающего элемента решетки к поясу.

Пример 8.1

Подобрать и проверить сечения элементов фермы из гнутосварных профилей (ГСП) по ТУ 36-2287-80 (с изменениями №2) из стали С255 по ГОСТ 27772 при следующих исходных данных:

– максимальное расчетное усилие в верхнем поясе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{lv} $N_v = -408,67$ кН; $l = 300$ см; $l_{lv} = 300$ см;

– максимальное расчетное усилие в нижнем поясе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{ln} $N_n = 344,32$ кН; $l = 600$ см; $l_{ln} = 750$ см;

– расчетное усилие в опорном раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r1} $N_{r1} = 166,95$ кН; $l = 235$ см; $l_{r1} = 235$ см;

– расчетное усилие во втором раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r2} $N_{r2} = -161,72$ кН; $l = 235$ см; $l_{r2} = 235$ см;

– расчетное усилие в третьем раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r3} $N_{r3} = 93,91$ кН; $l = 238$ см; $l_{r3} = 238$ см;

– в четвертом раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r4} $N_{r4} = -93,91$ кН; $l = 238$ см; $l_{r4} = 238$ см;

– в пятом раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r5} $N_{r5} = 35,67$ кН; $l = 238$ см; $l_{r5} = 238$ см;

– в шестом раскосе и его геометрические длины, соответственно, в плоскости изгиба фермы l и из плоскости изгиба фермы l_{r6} $N_{r6} = -35,67$ кН; $l = 238$ см; $l_{r6} = 238$ см.

Расчетное сопротивление стали $R_y = 24$ кН/см² при толщине стенки 4...10 мм (таблица 51*, [5]). Расчетные усилия в элементах фермы были определены по шарнирной схеме при статической нагрузке. Расчетная температура – 28⁰С.

Решение

Подбираем сечение верхнего сжатого пояса. Расчетное усилие $N_v = -408,67$ кН; $l_{ef,x} = l = 300$ см; $l_{ef,y} = l_{lv} = 300$ см; $\gamma_c = 1$. (таблица 6*[5])

Предварительно задаемся коэффициентом $\varphi = 0,7$. Требуемая площадь сечения по формуле (60)

$$A_{red} = \frac{N_v}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{408,67}{0,7 \cdot 24 \cdot 1} = 24,3 \text{ см}^2.$$

Для пояса принимаем по приложению 11, таблица П11.11 [3] прямоугольное сечение ГнП 160х120х5; $A = 27$ см², $i_x = 6,09$ см; $i_y = 4,87$ см.

Значение $\frac{h_v}{t_w} = \frac{160}{5} = 32 < 45$ не превышает предельную величину.

Гибкости стержня по формуле (62)

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{3600}{6,09} = 49,3 ;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{300}{4,87} = 61,6.$$

По $\lambda_{max}=\lambda_y$ находим $\varphi=0,797$.

Проверяем устойчивость стержня по формуле (63)

$$\sigma = \frac{N_v}{\varphi A} = \frac{408,67}{0,797 \cdot 27} = 18,99 \text{ кН/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c = 24 \text{ кН/см}^2.$$

Устойчивость обеспечена.

Предельная гибкость (см. формулы (64) и (65))

$$\alpha = \frac{N_v}{\varphi A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{408,67}{0,797 \cdot 27 \cdot 24 \cdot 1} = 0,79;$$

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 0,79 = 132,5 > \lambda_y = 61,6.$$

Условие соблюдается.

Проверяем гибкость стенки

$$\bar{\lambda} = \lambda_{max} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 61,6 \sqrt{\frac{24}{2,06 \cdot 10^4}} = 2,10 > 1, \text{ т.к. } \bar{\lambda} > 1, \text{ то } \bar{\lambda}_{uw} \text{ находим по формуле}$$

$$(76) \quad \bar{\lambda}_{uw} = 1 + 0,2\bar{\lambda} = 1 + 0,2 \cdot 2,1 = 1,42 < 1,6$$

$$\frac{h_{ef}}{t_w} = \frac{h_v - 4t_w}{t_w} = \frac{160 - 4 \cdot 5}{5} = 28 < \bar{\lambda}_{eq} \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 1,42 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{24}} = 41,6.$$

Проверяем гибкость полки

$$\frac{b_{ef}}{t_w} = \frac{b - 4t_w}{t_w} = \frac{120 - 4 \cdot 5}{5} = 20 < \bar{\lambda}_{eq} \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 1,42 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{24}} = 41,6$$

Условия выполняются, поэтому при проверке пояса по формуле (63) оставляем полную площадь сечения А.

Подбор сечения нижнего растянутого пояса.

Расчетное усилие $N_n = 344,32 \text{ кН}$; $l_{ef,x} = l = 300 \text{ см}$; $l_{ef,y} = l_{1n} = 750 \text{ см}$;

$$\gamma_c = 0,95. \lambda_u = 400.$$

Требуемая площадь сечения по формуле (69)

$$A_{red} = \frac{N_n}{R_y \gamma_c} = \frac{344,32}{24 \cdot 0,95} = 15,1 \text{ см}^2$$

Принимаем по приложению 11, таблица П11.12 [3] профиль квадратного сечения Гн 120х4; $A=18,56 \text{ см}^2$, $i_x=i_y=4,74 \text{ см}$.

$$\text{Проверяем условие } \frac{h_v}{t_w} = \frac{120}{4} = 30 < 45.$$

Условие соблюдается.

Проверяем гибкость стержня

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{300}{4,74} = 63,29 < \lambda_u = 400,$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{750}{4,74} = 158,23 < \lambda_u = 400.$$

Проверка прочности сечения на растяжение

$$\sigma = \frac{N_n}{A} = \frac{344,32}{18,56} = 18,55 \text{ кН/см}^2 < R_{yc} = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2,$$

Прочность обеспечена.

Проверяем условие применения шарнирной расчетной схемы при выполнении статического расчета согласно п. 13.8 [5]:

$$- \text{ для верхнего пояса } \frac{h_v}{l} = \frac{16,0}{300} = \frac{1}{18,75} < \frac{1}{10};$$

$$- \text{ для нижнего пояса } \frac{h_n}{l} = \frac{12}{300} = \frac{1}{25} < \frac{1}{10}.$$

Расчет фермы допускается выполнять по шарнирной схеме.

Подбор сечений сжатых раскосов выполняем аналогично подбору сечения сжатого пояса, а растянутых раскосов аналогично подбору сечения растянутого пояса.

Подбор сечения растянутого опорного раскоса

$$N_{r1} = 166,95 \text{ кН}; l_{ef,x} = l = 235 \text{ см}; l_{ef,y} = l_{r1} = 235 \text{ см}; \gamma_c = 0,95. \lambda_u = 400.$$

$$A_{red} = \frac{N_{r1}}{R_y \gamma_c} = \frac{166,95}{24 \cdot 1} = 6,96 \text{ см}^2.$$

Принимаем квадратное минимальное сечение Гн 80х3; $A=9,24 \text{ см}^2$, $i_x=i_y=3,14 \text{ см}$.

$$\frac{h_{r1}}{t_{wr1}} = \frac{80}{3} = 26,7 < 60.$$

Гибкость стержня

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{235}{3,14} = 74,84 < \lambda_u = 400.$$

Прочность стержня

$$\sigma = \frac{166,95}{9,24} = 18,07 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность обеспечена.

Подбор сечения второго раскоса

$$N_{r2} = -161,72 \text{ кН}; l_{ef,x} = 0,9 l = 0,9 \cdot 235 = 211,5 \text{ см};$$

$$l_{ef,y} = 0,9 l_{r2} = 0,9 \cdot 235 = 211,5 \text{ см}; \gamma_c = 1, \lambda_u = 210 - 60 \alpha.$$

Принимаем $\varphi = 0,75$.

$$A_{red} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{161,72}{0,75 \cdot 24 \cdot 1} = 8,985 \text{ см}^2.$$

Принимаем квадратное минимальное сечение Гн 80х3; $A = 9,24 \text{ см}^2$,
 $i_x = i_y = 3,14 \text{ см}$.

$$\frac{h_{r2}}{t_{wr2}} = \frac{80}{3} = 26,7 < 60.$$

Гибкости стержня

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{l_{efx}}{i_x} = \frac{211,5}{3,14} = 67,36; \varphi = 0,767.$$

Устойчивость стержня

$$\sigma = \frac{N_{r2}}{\varphi A} = \frac{161,72}{0,767 \cdot 9,24} = 22,82 \text{ кН/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c = 24 \cdot 1 = 24 \text{ кН/см}^2.$$

Устойчивость обеспечена.

Предельная гибкость

$$\alpha = \frac{N}{\varphi A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{161,72}{0,767 \cdot 9,24 \cdot 24 \cdot 1} = 0,951$$

$$\lambda_u = 210 - 60 \alpha = 210 - 60 \cdot 0,951 = 152,95 > \lambda_x = 67,36;$$

$$\bar{\lambda} = 67,36 \sqrt{\frac{24}{2,06 \cdot 10^4}} = 2,3 > 1;$$

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1 + 0,2 \bar{\lambda} = 1 + 0,2 \cdot 2,3 = 1,46 < 1,6$$

$$\frac{h_{ef}}{t_w} = \frac{h_{r2} - 4t_w}{t_w} = \frac{80 - 4 \cdot 3}{3} = 22,7 < \bar{\lambda}_{cu} \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 1,46 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{24}} = 42,77.$$

Остальные раскосы подбираются аналогично рассмотренным и для них минимальное квадратное сечение Гн. 80х3 обеспечивает прочность,

устойчивость, тонкостенность. Расчетные длины раскосов $l_{ef,x}$ и $l_{ef,y}$ с третьего по шестой определяются по аналогии второго раскоса.

Проверяем выполнение конструктивных условий.

Для раскосов из Гн $\square$ 80х3

$$b_r = 80 \text{ мм} < b_v - 2(t_w - t_{wr}) = 120 - 2(5+3) = 104 \text{ мм};$$

$$b_r = 80 \text{ мм} > 0,6b_v = 0,6 \square 120 = 72$$

мм; условия соблюдаются.

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

Расскажите последовательность подбора сечения центрально сжатого стержня фермы из ГСП.

Перечислите проверки для сжатого стержня.

Расскажите последовательность подбора сечения центрально растянутого стержня фермы из ГСП.

Перечислите проверки для растянутого стержня.

Какие конструктивные условия должны соблюдаться для стержней ферм из ГСП?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [5]; [6]; [7] или [12].

9. Расчет промежуточного узла легкой стропильной фермы из замкнутых гнутосварных профилей

Цель: научиться выполнять расчет узла легкой стропильной фермы из замкнутых гнутосварных профилей

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

- знать расчет узла легкой стропильной фермы из замкнутых гнутосварных профилей (ПК-7, ПК-16);
- уметь выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности (ПК-7, ПК-16);
- владеть моделированием расчетных схем, действующих нагрузок и иных свойств элементов проектируемого объекта (ПК-7, ПК-16).

Актуальность темы: получение навыков в проектировании расчета и необходимых проверок предельных состояний узла легкой стропильной фермы из замкнутых гнутосварных профилей. Моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов и способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Теоретическая часть

В узлах ферм с непосредственным прикреплением элементов решетки к поясам (рисунок 14) из замкнутых гнутосварных профилей (ГСП) прямоугольного сечения, в соответствии с нормами, следует проверять:

- несущую способность стенки (полки) пояса, к которой примыкает элемент решетки;
- прочность сварных швов.

В случае примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков при отношениях $0 \leq \frac{c}{d} \leq 0,25$ и $\frac{b_r}{b_p} \leq 0,9$ и при отсутствии изгибающего момента M от основного воздействия в примыкающем элементе решетки, несущую способность стенки пояса следует проверять для каждого примыкающего элемента по формуле (79) или (80):

- 1) несущую способность стенки пояса под сжатым элементом решетки, рисунок 14

$$N = \frac{\gamma_d \cdot \gamma_v \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t_{f,p}^2 \left(d_1 + c + \sqrt{2b_p \cdot f} \right)}{\left(0,4 + 1,8 \frac{c}{d_1} \right) f \cdot \sin \alpha_1} \geq N_{r1}, \quad (79)$$

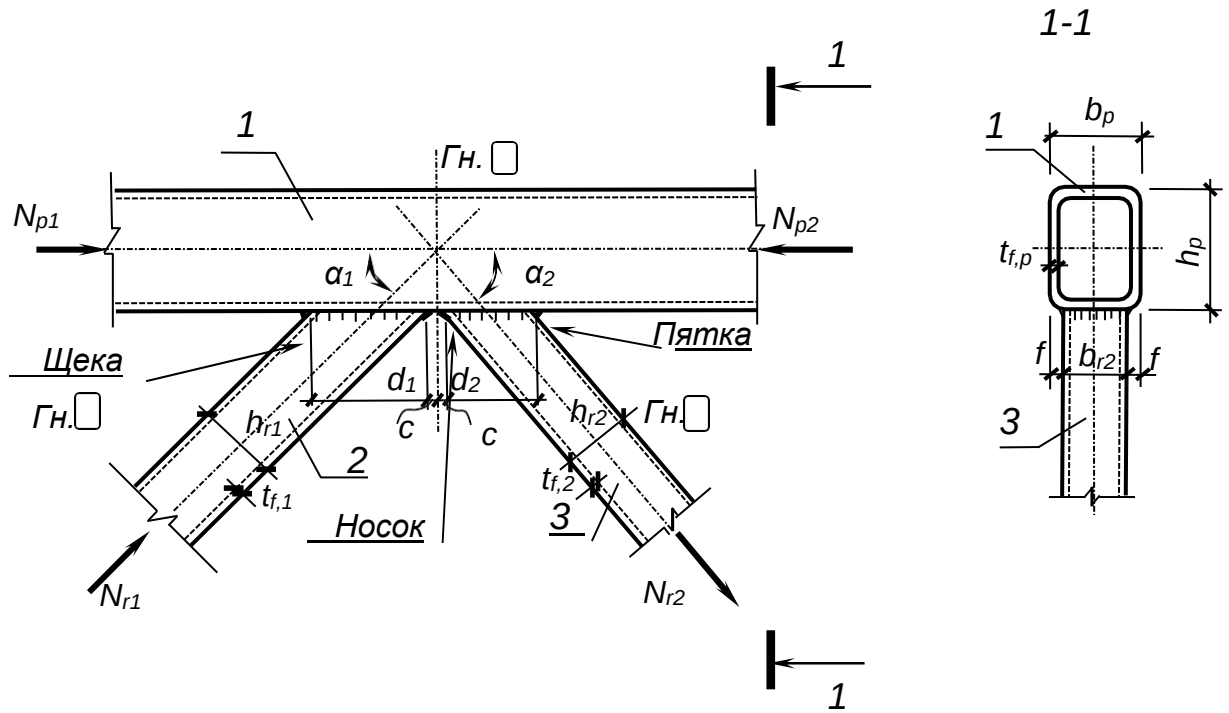


Рисунок 14 – Промежуточный узел фермы из ГСП: 1 – верхний пояс; 2 – сжатый раскос; 3 – растянутый раскос

2) несущую способность стенки пояса под растянутым элементом решетки, рисунок 14

$$N = \frac{\gamma_d \cdot \gamma_v \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t_{f,p}^2 \left(d_2 + c + \sqrt{2b_p \cdot f} \right)}{\left(0,4 + 1,8 \frac{c}{d_2} \right) f \cdot \sin \alpha_2} \geq N_{r2} \quad (80)$$

где γ_d – коэффициент, влияния знака усилия в примыкающем элементе принимаемый $\gamma_d = 1,2$ – при растяжении и $\gamma_d = 1$ – в остальных случаях;

γ_v – коэффициент влияния продольной силы в поясе, определяемый при сжатии в поясе,

$$\text{если } \frac{|N_{p2}|}{A_p \cdot R_y} > 0,5, \text{ по формуле } \gamma_v = 1,5 - \frac{|N_{p2}|}{A_p \cdot R_y},$$

в остальных случаях $\gamma_v = 1$.

N_{p2} – продольное усилие в поясе со стороны растянутого элемента решетки;

N_{r1} – продольное усилие сжатия в примыкающем элемента решетки;

N_{r2} – продольное усилие растяжения в примыкающем элемента решетки;

A_p – площадь поперечного сечения пояса;

R_y – расчетное сопротивление стали пояса;

d_1 и d_2 – соответственно, длины участков линий пересечения сжатого и растянутого элементов решетки с поясом, в направлении оси пояса (см. рисунок 14);

$$d_1 = \frac{h_{r1}}{\sin \alpha_1}; \quad d_2 = \frac{h_{r2}}{\sin \alpha_2};$$

c – половина расстояния между смежными стенками соседних элементов решетки (см. рисунок 14);

α_1 и α_2 – соответственно, углы примыкания сжатого и растянутого элементов решетки к оси пояса (см. рисунок 14);

f – полуразность ширины пояса и элемента решетки (см. рисунок 14);
при примыкании сжатого элемента решетки $f = \frac{b_p - b_{r1}}{2}$; при примыкании
растянутого элемента решетки $f = \frac{b_p - b_{r2}}{2}$,

здесь b_p – ширина сечения пояса;

b_r – ширина сечения раскоса;

$t_{f,p}$ – толщина стенки сечения пояса;

γ_c – коэффициент условия работы.

3) Несущую способность стенки пояса, при отношении $c/d_i > 0,25$ проверяют по формуле (81). Эту проверку выполняют отдельно для сжатого и растянутого раскосов.

$$N = [\gamma_c \gamma_d \gamma_v R_y t_{f,p}^2 (d_i + 2\sqrt{2 b_p f})] / (f \sin \alpha_i) \geq N_{ri}. \quad (81)$$

4) Несущую способность боковой стенки в плоскости узла в месте примыкания сжатого элемента при $b_{r1} / b_p > 0,85$ проверяют по формуле (82)

$$N = 2 \gamma_c \gamma_t k R_y t_{f,p} h_{r1} / (\sin^2 \alpha_1) \geq N_{r1}, \quad (82)$$

где γ_t – коэффициент влияния тонкостенности пояса, для отношений $b_p / t_{f,p} \geq 25$ принимают 0,8, в остальных случаях – 1,0;

k – коэффициент, принимают

$$\text{при } 4 (t_{f,p} / h_p)^2 - R_y / E \leq 0, \quad k = 3,6 (t_{f,p} / h_p)^2 E / R_y;$$

$$\text{при } 0 < 4 (t_{f,p} / h_p)^2 - R_y / E \leq 6 \cdot 10^{-4} \quad k = 0,9 + 670 (t_{f,p} / h_p)^2 - 170 R_y / E;$$

$$\text{в остальных случаях} \quad k = 1,0.$$

5) Несущую способность каждого элемента решетки вблизи примыкания к поясу проверяют по формуле (83) или (84):

$$\text{при отношениях } 0 \leq \frac{c}{d} \leq 0,25 \text{ и } \frac{b_r}{b_p} \leq 0,9, \text{ по формуле (83)}$$

$$N = (\gamma_c \gamma_d k R_{yr} A_{ri}) / (1,4 + 0,018 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha_i \geq N_{ri}, \quad (83)$$

где k определяют, как в формуле (82), но с заменой характеристик пояса на характеристики элемента решетки: h_p на большее из значений b_{ri} или h_{ri} , $t_{f,p}$ на t_{ri} и R_y на $R_{y(ri)}$.

Для элемента решетки неквадратного сечения в выражение N левой части формулы (83) следует вводить множитель $3(1 + b_{ri} / h_{ri}) / 2(2 + b_{ri} / h_{ri})$,

6) при отношении $c/b_i > 0,25$, по формуле (84)

$$N = (\gamma_c \gamma_d k R_{yr} A_{ri}) / [1 + 0,01 (3 + 5 b_{ri} / b_p - 0,1 h_{ri} / t_{ri}) b_p / t_{f,p}] \sin \alpha_i \geq N_{ri}, \quad (84)$$

Выражение в знаменателе в круглых скобках формулы (84) не должно быть менее 0.

Для элементов решетки неквадратного сечения в выражение N левой части формулы (84) следует вводить множитель $(1 + b_{ri} / h_{ri})/2$.

7) Прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, следует проверять по формуле (85) или (86) для каждого раскоса:

при отношениях $\frac{c}{d} \leq 0,25$ и $\frac{b_r}{b_p} \leq 0,9$, по формуле (85)

$$N_{ri} (1,06 + 0,014 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha_i / [\beta_f k_f (2h_{ri} / \sin \alpha_i + b_{ri})] \leq R_{wf} \gamma_c, \quad (85)$$

где β_f – коэффициент, зависящий от технологии сварки и катета шва, определяют по таблице норм;

k_f – катет углового шва, принимают по нормам не меньше минимального и не больше максимального $k_f \leq 1,2 t_{min}$;

R_{wf} – расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва определяют по таблице норм в зависимости от выбранной марки стали сварочного материала;

γ_c – коэффициент условий работы, определяют по таблице норм;

8) при отношении $c/b_i > 0,25$, по формуле (86)

$$N_{ri} [1 + 0,01 (3 + 5 b_{ri} / b_p - 0,1 h_{ri} / t_{ri}) b_p / t_{f,p}] \sin \alpha_i / (4 \beta_f k_f h_{ri}) \leq R_{wf} \gamma_c; \quad (86)$$

сварные швы, выполненные при наличии установочного зазора равного (0,5 – 0,7) $t_{f,r}$ с полным проплавлением стенки профиля следует рассчитывать как стыковые.

Пример 9.1

Проверить прочность узла фермы из гнутосварных профилей (ГСП) с непосредственным креплением элементов решетки к верхнему поясу (рисунок 15) при следующих исходных данных:

– материал конструкций узла – сталь по ГОСТ 27772, С245; $R_y = 24$ кН/см²;

– сварка механизированная в среде углекислого газа, сварочной проволокой марки Св – 08Г2С (ГОСТ 10157) при диаметре сварочной проволоки $d = 1,4 - 2$ мм;

- расчетные продольные усилия в верхнем поясе со стороны сжатого раскоса (слева) $N_{p1} = -165$ кН, со стороны растянутого раскоса (справа) $N_{p2} = -365$ кН;
- сечение верхнего пояса $\Gamma\text{H} \square 180 \times 140 \times 5$, $A_p = 30,4$ см²;
- расчетное продольное усилие в сжатом раскосе $N_{r1} = -209$ кН, сечение раскоса $\Gamma\text{H} \square 120 \times 4$, $A_{r1} = 18,56$ см²;
- расчетное продольное усилие в растянутом раскосе $N_{r2} = 140$ кН, сечение раскоса $\Gamma\text{H} \square 100 \times 3$, $A_{r2} = 11,6$ см²;
- остальные необходимые данные, полученные при построении и вычерчивании узла см. на рисунке 15.

Решение

Проверка несущей способности узла фермы из ГСП.

Проверку несущей способности стенки пояса следует проверять для каждого примыкающего элемента решетки.

Проверка несущей способности стенки пояса под сжатым раскосом.

Предварительно определяем для сжатого раскоса: $b_{r1} = 120$ мм, $c = 15$ мм, $h_{r1} = 120$ мм, $\alpha_1 = 45^\circ$, $\sin \alpha_1 = 0,707$, $d_1 = 169,73$ мм, $b_p = 140$ мм, где $d = \frac{h_{r1}}{\sin \alpha_1} = 120 / 0,707 = 169,73$ мм = 16,973 см;

– определяем следующие отношения для сжатого раскоса

так как $h_{r1} / b_p = 120 / 140 = 0,857 < 0,9$; и отношение $c / d_1 = 15 / 169,73 = 0,088 < 0,25$, то проверку несущей способности стенки пояса под сжатым раскосом выполняем по формуле (79)

$$N = \frac{\gamma_d \cdot \gamma_v \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t_{f,p}^2 \left(d_1 + c + \sqrt{2b_p \cdot f} \right)}{\left(0,4 + 1,8 \frac{c}{d_1} \right) f \cdot \sin \alpha_1} \geq N_{r1},$$

где $\gamma_d = 1,0$;

$$\frac{|N_{p2}|}{A_p \cdot R_y} = 385 / (31 \square 24) = 0,517 > 0,5, \text{ то } \gamma_v = 1,5 - \frac{|N_{p2}|}{A_p \cdot R_y} = 1,5 - 0,517 = 0,983;$$

$$f = \frac{b_p - b_{r1}}{2} = (140 - 120) / 2 = 10 \text{ MM} = 1 \text{ CM}.$$

$$N = [1 \ 0,983 \ 1 \ 24 \ 0,5^2 (16,973 + 1,5 + \sqrt{2 \ 14 \ 1})] / [(0,4 + 1,8 \ 0,088) \ 1 \ 0,707] = 355,04 \text{ кН} > 209 \text{ кН}, \text{ следовательно несущая способность стенки пояса под сжатым раскосом обеспечена.}$$

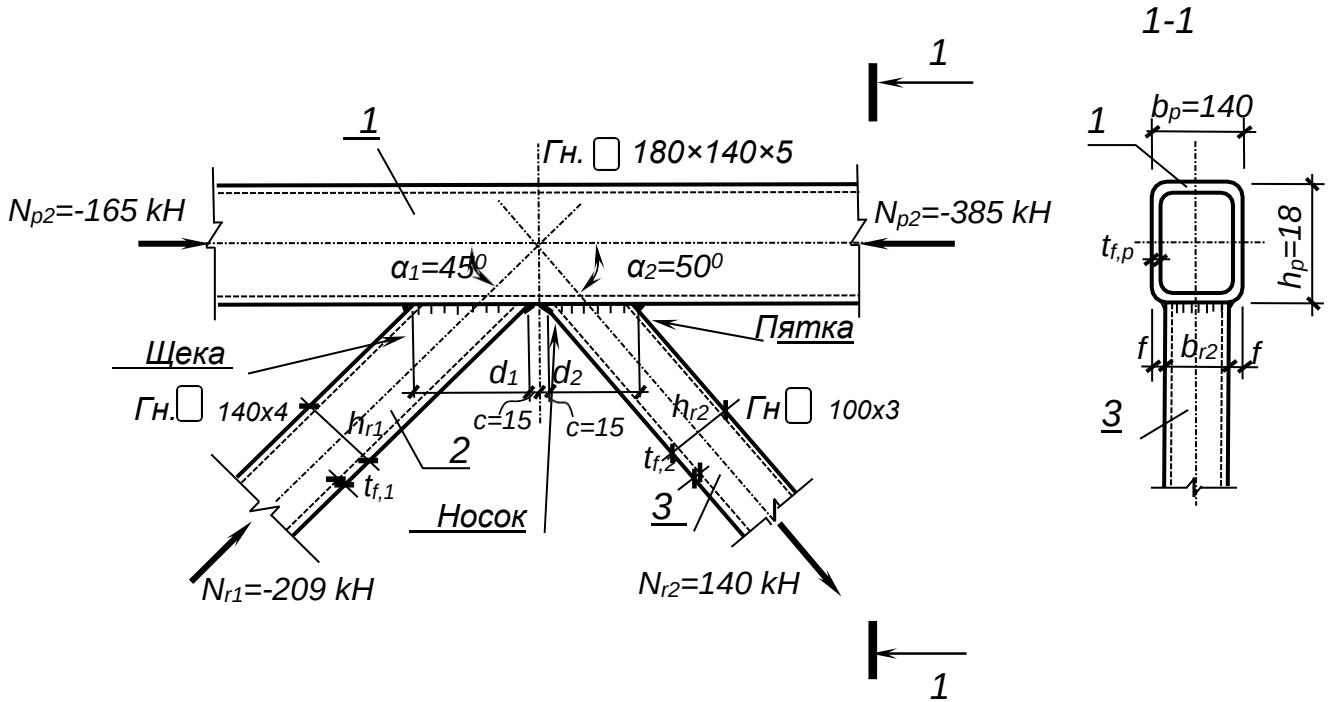


Рисунок 15 – Промежуточный узел фермы из ГСП: 1 – верхний пояс; 2 – сжатый раскос; 3 – растянутый раскос

Проверка несущей способности стенки пояса под растянутым раскосом.

Предварительно определяем для растянутого раскоса: $b_{r2} = 100$ мм, $c = 15$ мм, $h_{r2} = 100$ мм, $\alpha = 50^\circ$, $\sin \alpha_2 = 0,766$, $d_2 = 169,73$ мм, $b_p = 140$ мм
где $d_2 = h_{r2} / \sin \alpha_2 = 100 / 0,766 = 130,55$ мм = 13,055 см;

– определяем следующие отношения для растянутого раскоса

так как $h_{r2} / b_p = 100 / 140 = 0,714 < 0,9$; и отношение $c / d_2 = 15 / 130,55 = 0,115 < 0,25$, то проверку несущей способности стенки пояса под растянутым раскосом выполняем по формуле (79)

$$N = \frac{\gamma_d \cdot \gamma_v \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t_{f,p}^2 \left(d_2 + c + \sqrt{2b_p \cdot f} \right)}{\left(0,4 + 1,8 \frac{c}{d_2} \right) f \cdot \sin \alpha_2} \geq N_{r2},$$

где $\gamma_d = 1,2$;

$$\frac{|N_{p2}|}{\gamma} = 385 / (31 \cdot 24) = 0,517 > 0,5, \text{ то } \frac{|N_{p2}|}{A_p \cdot R_y} = 1,5 - 0,517 = 0,983;$$

$$f = \frac{b_p - b_{r2}}{2} = (140 - 100) / 2 = 20 \text{ мм} = 2 \text{ см.}$$

$$N = [1,2 \cdot 0,983 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,5^2 (13,055 + 1,5 + \sqrt{2 \cdot 14 \cdot 2})] / [(0,4 + 1,8 \cdot 0,115) \cdot 2 \cdot 0,766] = 167,73 \text{ кН} > 140 \text{ кН.}$$

Несущая способность стенки пояса под растянутым раскосом обеспечена.

Несущую способность боковой стенки в плоскости узла в месте примыкания сжатого элемента при $h_{r1} / b_p > 0,85$ проверяют по формуле (82).

Для сжатого раскоса отношение $h_{r1} / h_p = 120 / 140 = 0,857 > 0,85$, то несущую способность узла в месте примыкания сжатого элемента решетки проверяем по формуле (82).

$$N = 2 \gamma_c \gamma_t k R_y t_{f,p} h_{r1} / (\sin^2 \alpha_1) \geq N_{r1},$$

где $\gamma_t = 0,8$, так как $h_p / t_{f,p} = 180 / 5 = 36 > 25$;

при $4 (t_{f,p} / h_p)^2 - R_y / E = 4 (0,5 / 18,0)^2 - 24 / 2,06 \cdot 10^4 = 0,00192 > 0$, что лежит в пределах $0 < 0,00192 < 6 \cdot 10^{-4}$, то коэффициент $k = 1$. Тогда по формуле (82)

$$N = 2 \gamma_c \gamma_t k R_y t_{f,p} h_{r1} / (\sin^2 \alpha_1) = (2 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,5 \cdot 12,0) / 0,707^2 = 460,94 \text{ кН} > 209 \text{ кН.}$$

Несущая способность боковой стенки в плоскости узла в месте примыкания сжатого элемента решетки обеспечена.

Проверяем несущую способность элемента решетки вблизи примыкания к поясу по формуле (83):

$$N = (\gamma_c \gamma_d k R_{yr} A_{ri}) / (1,4 + 0,018 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha \geq N_{ri}.$$

Такую проверку делаем для сжатого и растянутого элементов решетки.

Несущая способность сжатого элемента решетки вблизи примыкания к поясу.

Предварительно находим значение коэффициента k , в соответствии с указаниями к формуле (83).

При $4 (t_{r,1} / h_{r1})^2 - R_y / E = 4 (0,4 / 12,0)^2 - 24 / 2,06 \cdot 10^4 = 0,00328$, что больше 0 и больше $6 \cdot 10^{-4}$, следовательно, $k = 1$.

$N = (\gamma_c \gamma_d k R_{yr1} A_{r1}) / (1,4 + 0,018 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha_1 = (1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 18,56) / (1,4 + 0,018 \cdot 14 / 0,5) \cdot 0,766 = 330,9 \text{ кН} > 209 \text{ кН}$.

Несущая способность сжатого элемента решетки вблизи примыкания к поясу обеспечена.

Определяем несущую способность растянутого элемента решетки вблизи примыкания к поясу.

Предварительно находим значение коэффициента k , в соответствии с указаниями к формуле (83).

При $4 (t_{r,2} / h_{r2})^2 - R_y / E = 4 (0,3 / 10,0)^2 - 24 / 2,06 \cdot 10^4 = 0,00243$, что больше 0 и больше $6 \cdot 10^{-4}$, следовательно, $k = 1$.

$N = (\gamma_c \gamma_d k R_{yr2} A_{r2}) / (1,4 + 0,018 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha_2 = (1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 11,6) / (1,4 + 0,018 \cdot 14 / 0,5) \cdot 0,766 = 190,89 \text{ кН} > 140 \text{ кН}$.

Несущая способность растянутого элемента решетки вблизи примыкания к поясу обеспечена

Прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, проверяют:

при отношениях $\frac{c}{d} \leq 0,25$ и $\frac{b_r}{b_p} \leq 0,9$, по формуле (85)

$$N_{ri} (1,06 + 0,014 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha_i / [\beta_f k_f (2h_{ri} / \sin \alpha_i + b_{ri})] \leq R_{wf} \gamma_c$$

Прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, проверяют для каждого элемента отдельно, если сечения элементов решетки разные.

Проверяем прочность сварных швов, прикрепляющих сжатый элемент решетки к поясу по формуле (85).

В соответствии с исходными данными находим по нормам значения величин: $\beta_f = 0,9$, $k_f = 4$ мм, $R_{wf} = 21,5$ кН/см² $> R_{wz} = 0,45 R_{un}$ $0,45 \cdot 37 = 16,65$ при механизированной сварке и для элементов из стали с пределом текучести до 28,5 кН/см².

Прочность сварных швов, прикрепляющих сжатый элемент решетки к поясу по формуле (85).

$$N_{r1} (1,06 + 0,014 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha_1 / [\beta_f k_f (2h_{r1} / \sin \alpha_1 + b_{r1})] = 209 (1,06 + 0,014 \cdot 14 / 0,5) \cdot 0,707 / [0,9 \cdot 0,4 (2 \cdot 12 / 0,707 + 12)] = 12,97 \text{ кН/см}^2 < R_{wf} \gamma_c = 21,5$$

$$1 = 21,5 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность сварных швов, прикрепляющих сжатый элемент решетки к поясу, обеспечена.

Прочность сварных швов, прикрепляющих растянутый элемент решетки к поясу по формуле (85). Катет шва k_f для этого раскоса также принимаем 4мм, так как толщина стенок и полок проверяемого раскоса в месте его примыкания к поясу будет $0,3 / 0,766 = 0,392$ мм, $k_f \leq 1,2 t_{min} = 1,2 \cdot 0,392 = 0,47$ см, что позволяет его приваривать катетом шва $k_f = 4$ мм.

$$N_{r1} (1,06 + 0,014 b_p / t_{f,p}) \sin \alpha_2 / [\beta_f k_f (2h_{r2} / \sin \alpha_2 + b_{r2})] = 140 (1,06 + 0,014 \cdot 14 / 0,5) \cdot 0,766 / [0,9 \cdot 0,4 (2 \cdot 10 / 0,766 + 10)] = 8,77 \text{ кН/см}^2 < R_{wf} \gamma_c = 21,5$$

$$1 = 21,5 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность сварных швов, прикрепляющих растянутый элемент решетки к поясу, обеспечена.

Все проверки для узла выполнены, следовательно, прочность узла обеспечена при заданных исходных данных.

Задания

Задания выдаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Вопросы

Назовите проверки, которые необходимо выполнить для стенки (полки) пояса, к которому примыкает элемент решетки?

Назовите проверки, которые необходимо выполнить для решетки вблизи примыкания к поясу?

Какие ещё проверки необходимо выполнить, кроме ранее названных проверок, для узла?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме – [5]; [6]; [7], [11] или [12].

Список рекомендуемой литературы

Основной

1. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. – 14-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 688с.

Дополнительной

2. Конструкции из дерева и пластмасс: учебник / М. М. Гаппоев, И. М. Гуськов, Л. К. Ермоленко, В. И. Линьков, Е. Т. Серова, Б. А. Степанов, Э. В. Филимонов. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 440 с.

3. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 551 с.: ил.

4. Конструкции из дерева и пластмасс. учеб. пособие для студ. вузов /Г.Н. Зубарев, Ф.А.Бойтемиров, В.М. Головина и др.; Под ред. Ю.Н. Хромца. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 304 с.

5. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») [Текст]: ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.

6. Проектирование металлических конструкций [Текст]: Спец. курс. Учеб. пособ. для вузов /В.В. Бирюлев. И.И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с: ил.

7. Конструкции из дерева и пластмасс. учеб. для вузов /Ю.В. Слищкоухов, В.Д. Будаков, М.М. Гаппоев и др.; Под ред. Г.Г. Карлсена и Ю.В. Слищкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с., ил.

8. Руководство по проектированию стальных конструкций из гнутосварных замкнутых профилей /ЦНИИПроектстальконструкция. М.: 1978 – 43 с.

9. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*/Мин. Регионального развития РФ. – М. ФЦС, 2011. – 176 с.

10. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*/ Мин. строительства и ЖКХ РФ. – М. ФЦС, 2011. – 176 с.

11. СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования. / Мин. строительства и ЖКХ РФ. – М. ФЦС, 2017. – 167 с.

12. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*/Мин. строительства и ЖКХ РФ. – М. ФЦС, 2016. – 89 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ
УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ОРГАНИЗАЦИИ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
(Облегченные и пространственные конструкции**

Направление подготовки
Направленность (профиль)
Квалификация
Форма обучения

08.03.01 Строительство
Проектирование зданий
бакалавр
очная

Ставрополь

Методические рекомендации разработаны для студентов по организации самостоятельных работ по дисциплине «Облегченные и пространственные конструкции» по направлению подготовки студентов 08.03.01 «Строительство»

Содержание

Введение.....	4
1. Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Облегченные и пространственные конструкции».	5
2. План-график выполнения самостоятельной работы.	6
3. Контрольные точки и виды отчетности по ним.....	7
4. Методические рекомендации по изучению теоретического материала.	7
5. Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины.	8
6. Методические указания по подготовке к экзамену.	9
7. Методические указания по выполнению решений заданий.	9
8. Список рекомендуемой литературы.	13

Введение

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования общих и профессиональных компетенций;
- развитию исследовательских умений.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Перед выполнением студентами внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит инструктаж по выполнению задания, который включает цель задания, его содержание, сроки выполнения, ориентировочный объем работы, основные требования к результатам работы, критерии оценки. В процессе инструктажа преподаватель предупреждает студентов о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов используются самостоятельное изучение и подготовка его к лекционным, лабораторным и практическим занятиям, зачеты, сдача

экзамена.

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентом учебного материала;
- умение студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач; сформированность общеучебных умений;
- уровень умения активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями
- уровень умения четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- уровень умения определить, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- уровень умения сформулировать собственную позицию, оценку и аргументировать ее.

1. Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Облегченные и пространственные конструкции»

Целью освоения дисциплины «Облегченные и пространственные конструкции» является: подготовка квалифицированных специалистов промышленного и гражданского строительства, знающих теоретические основы расчета и проектирования облегченных и пространственных конструкций и умеющих их эффективно использовать в практической деятельности.

Задачи дисциплины – изучение современных методов расчета при

проектировании разных современных облегченных и пространственных конструкций применяемых при строительстве зданий и сооружений различного назначения.

Формируемые в результате подготовки компетенции это: моделирование расчетных схем, действующих нагрузок, иных свойств элементов проектируемого объекта и его взаимодействия с окружающей средой с соблюдением установленных требований для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности. Способность выполнять необходимые расчеты для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

2. План-график выполнения самостоятельной работы

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения, нед.
	7 семестр	
1	Самостоятельное изучение литературы по темам предусмотренным учебным планом	1-16
2	Подготовка к лекционным занятиям. Конспект лекций	1-16
3	Подготовка отчета к лабораторным работам предусмотренным учебным планом. Отчет по лабораторным работам.	1-16
4	Подготовка отчета к практическим занятиям предусмотренным учебным планом. Отчет по практическим работам.	1-16
5	Подготовка и сдача экзамена по дисциплине	

3. Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Для выполнения практических работ, курсового проекта, расчетно-графической работы студент должен ознакомиться с соответствующими разделами теоретического материала и приведенными примерами в учебной литературе и методических указаниях по данной дисциплине. Самостоятельную проработку необходимых тем лекционного курса, лабораторных работ и практических работ указывает преподаватель на соответствующих занятиях.

Результатами самостоятельной работы студентов по этим материалам являются составление: конспекта лекций, отчет по лабораторным, практическим занятиям и собеседование с преподавателем по соответствующим темам.

4. Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины

Рабочей программы дисциплины предусмотрены следующие виды занятий и работ для студентов: лекции, лабораторные работы, практические работы, экзамен.

Во время посещения лекций студенты кратко конспектируют основные положения излагаемого материала лекций, выделяя его главные положения, либо слушают этот материал. Рекомендуется повторить прослушанный материал лекции не позднее 48 часов после его изложения. В этом случае начинает срабатывать долгосрочная память, и все основные положения материала будут усвоены. Если какие-то темы рекомендуются проработать самостоятельно, то студентом составляется краткий конспект, проработанный темы материала. При собеседовании с преподавателем по темам лекций студент должен предоставить такой краткий конспект проработанных самостоятельно тем лекций.

При посещении лабораторных работ каждый студент должен иметь отдельную подписанную тетрадь для выполнения лабораторных работ. В тетради записываются разбираемые темы лабораторных работ, выполненные задания. Конспект выполненных работ представляется студентом преподавателю ведущим лабораторные занятия при собеседовании.

При посещении практических работ каждый студент должен иметь отдельную подписанную тетрадь для выполнения заданий для практических занятий. В тетради записываются разбираемые темы практических занятий и решенные на разобранные темы задания. Конспект решенных заданий представляется студентом преподавателю ведущим практические занятия при собеседовании.

5. Методические указания по подготовке к экзамену

Для подготовки к экзамену по дисциплине студенту выдается перечень экзаменационных вопросов. Подготовка к экзамену осуществляется в

течение всего изучения курса дисциплины путем проведения лекций-бесед, самостоятельного изучения отдельного материала по учебникам, подготовкой к лабораторным и практическим занятиям, выполнением решений разноуровневых заданий. В сессию студентам отводится дополнительное время для систематизации полученных знаний, умений и повторения соответствующего материала. Для этого необходимо по каждому вопросу во время подготовки составить краткий тезисный план ответа, включая необходимые поясняющие рисунки.

6. Методические указания по выполнению решения задач

Для выполнения решений задач каждому студенту выдается индивидуальное задание на следующие темы:

1. Подобрать и проверить сечение однопролетной, сплошной трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов и среднего слоя из легкого эффективного утеплителя.
2. Подобрать и проверить сечение однопролетной, сплошной трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов и среднего слоя из легкого эффективного утеплителя.
3. Найти размеры, выполнить компоновку поперечного сечения и проверить прочность, устойчивость и жесткость (прогиб) балки с гибкой стенкой.
4. Найти размеры, выполнить компоновку поперечного сечения и проверить прочность, устойчивость и жесткость (прогиб) балки с гофрированной стенкой.
5. Подобрать и проверить сечения элементов фермы из стальных электросварных прямошовных цилиндрических труб по ГОСТ 10704.
6. Подобрать и проверить сечения элементов фермы из гнутосварных профилей (ГСП) по ТУ 36-2287 из стали по ГОСТ 27772.

После получения задания студент должен приступить к его выполнению. Решение задач выполняется в течение всего семестра.

Решенные задачи оформляются, как и отчет по практическим занятиям,

в отдельной подписанной тетради и представляются на проверку и собеседование преподавателю, проводящему практические занятия.

После собеседования студенту выставляется оценка. Критерии оценивания ответов приведены ниже.

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент при ответе на вопросы как базового, так и повышенного уровня показывает глубокое и всестороннее знание предмета, обязательной и дополнительной литературы, аргументировано и логически стройно излагает материал, пользуясь СП, ГОСТами, может применять знания для анализа конкретных ситуаций.

Оценка **«хорошо»** ставится, если при ответе на вопросы базовой части студент показывает знание предмета, обязательной литературы, знакомстве с дополнительной литературой, аргументировано излагает материал, умеет применять знания для анализа конкретных ситуаций, однако незначительно нарушает последовательность изложения материала, дает недостаточно полное, хотя и верное определение понятий.

Оценка **«удовлетворительно»** ставится, если студент при ответе на вопросы базовой части показал, что он в основном знает предмет, обязательную литературу, может практически применять свои знания, но программный материал излагает фрагментарно и непоследовательно, допускает отдельные ошибки и погрешности при проектировании зданий и сооружений, слабо ориентируется в межпредметных связях.

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится, если студент не отвечает на предлагаемые ему вопросы базовой части или его ответ показывает, что не усвоено основное содержание предмета, обнаруживается незнание большей части учебного материала, допускаются грубые ошибки при формулировке основных понятий

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции ПК-7, ПК-16. Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо прочитать лекционный материал, выполнить лабораторные, практические работы и решение разноуровневых заданий, изучить дополнительную литературу, установить взаимосвязи между изучаемыми понятиями, запомнить

основные определения, продумать, где они могут применяться. Рекомендуется готовиться к данному контрольному мероприятию в течение семестра, разбирая теоретические задания для оценки сформированности компетенций к каждому лабораторному и практическому занятию.

Содержание и объем материала, подлежащего проверке, определяется программой дисциплины. При проверке усвоения этого материала производится выявление полноты, прочности усвоения студентами теории и умения применять ее на практике.

При оценке в первую очередь учитываются показанные студентами знания и умения (их полноту, глубину, прочность, использование). Оценка также зависит от наличия и характера погрешностей. Среди погрешностей выделяют ошибки и недочеты. Погрешность считается ошибкой, если она свидетельствует о том, что студент не овладел основными знаниями, умениями, указанными в программе.

К недочетам относятся погрешности, свидетельствующие о недостаточно полном или недостаточно прочном усвоении основных знаний и умений или об отсутствии знаний, не считающихся основными в соответствии с программой. Недочетами также являются: погрешности, которые не привели к искажению смысла полученного студентом задания или способа его выполнения, неаккуратная запись, небрежное выполнение рисунков.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература:

1. О.Г. Купняк и др. Железобетонные и каменные конструкции. Учебник. Изд.-2е, доп. и перераб. – М: Издательство АСВ. – 2014. – 672 с.
ISBN 978-5-4323-0039-3
2. Металлические конструкции: учебник для студ. Учреждений высш. проф. образоваия / [Ю. И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.]; под ред. Ю. И. Кудишина. – 13-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2011. – 688 с. – (Сер. Бакалавриат).
ISBN 978-5-7695-8483-1

Дополнительная литература:

3. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 551с.
4. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Конструкции зданий: Учеб. для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов, Г.И. Белый и др.; Под ред. В.В. Горева.-2-е изд., испр.- М.: Высш. шк., 2002.- 528с.
5. Металлические конструкции. В 3т. Т.3. Специальные конструкции и сооружения: Учеб. для строит. вузов; Под ред. В.В. Горева.-2-е изд., испр.- М.: Высш. шк., 2002.-544 с.
6. Проектирование металлических конструкций. Спец. курс под ред. В.В. Бирюлева. - Л:Стройиздат, 1990.
7. Металлические конструкции. Спец. курс. Под ред. Беленя Е.Н. - М. Стройиздат, 1991. -684 с.
8. Сахновский М.М. Легкие конструкции стальных каркасов зданий и сооружений.-Киев: Будивельник, 1984.-160 с.
9. М.М. Гаппоев, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко, В.И. Линьков, Е.Т. Серова, Б.А. Степанов, Э.В. Филимонов Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник.– М.; Издательство АСВ, 2014, – 440 с.

10. Байков В.Н. Проектирование железобетонных тонкостенных пространственных конструкций. - М.: Стройиздат. 1990. 200с.

11. Легкие конструкции одноэтажных производственных зданий. Справочник проектировщика.-М.: Стройиздат, 1995.-265 с.

**Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы
студента по дисциплине**

1. Гаврилова А.И. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Облегченные и пространственные конструкции» - Ставрополь, СКФУ.-2022.- 83 с.

2. 1. Гаврилова А.И. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Облегченные и пространственные конструкции» - Ставрополь, СКФУ.-2022.- 35 с.