

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)

08.03.01 Строительство
Промышленное и гражданское
строительство

Ставрополь

Содержание

Ведение

1. ПЗ 1 Подбор и проверка сечения трехслойной плиты покрытия с обшивками из плоских асбестоцементных листов
2. ПЗ 2 Подбор и проверки сечения трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов
3. ПЗ 3 Компоновка и подбор сечения балки с гибкой стенкой
4. ПЗ 4 Проверки прочности, устойчивости и деформативности балки с гибкой стенкой
5. ПЗ 5 Компоновка и подбор сечения балки с гофрированной стенкой
6. ПЗ 6 Проверки прочности, устойчивости и деформативности балки с гофрированной стенкой
7. ПЗ 7 Подбор и проверка сечений элементов стропильной фермы из цилиндрических труб
8. ПЗ 8 Подбор и проверка сечений элементов стропильной фермы из гнутосварных профилей
9. ПЗ 9 Расчет промежуточного узла легкой стропильной фермы из замкнутых гнутосварных профилей

Список литературы, рекомендуемой к использованию по данной теме

Введение

Изучению дисциплины «Облегченные и пространственные конструкции» предшествует изучение таких базовых специальных дисциплин, как «Строительная механика», «Железобетонные и каменные конструкции», «Металлические конструкции, включая сварку», «Конструкции 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).

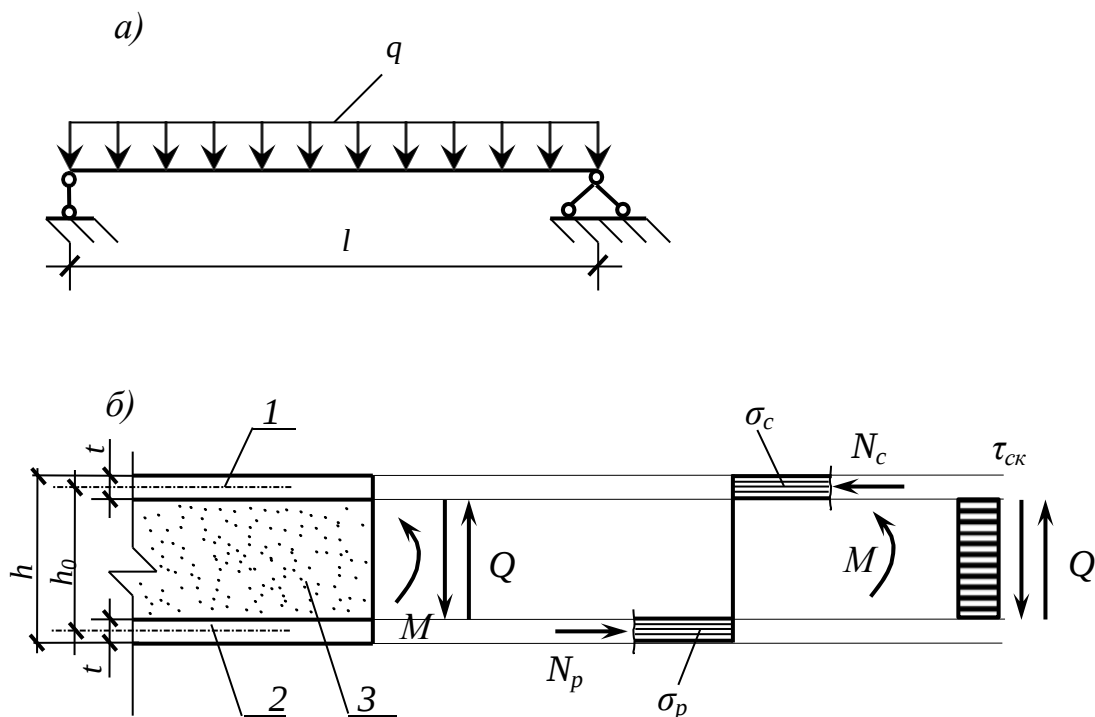


Рисунок 1 – Схема работы плиты: а – расчетная схема; б – работа обшивок и среднего слоя плиты; 1 – асбестоцементная верхняя обшивка; 2 – асбестоцементная нижняя обшивка; 3 – средний слой из пенопласта

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 достаточно рисунка 1. Прочность клеевых соединений, работающих на скалывание и обеспечение устойчивости обшивок, тоже достаточно.

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;

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

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)

$$K = 1 + \frac{9,6 \cdot E \cdot J_x}{G(h_0 + t) \cdot b \cdot l^2}, \quad (9)$$

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.

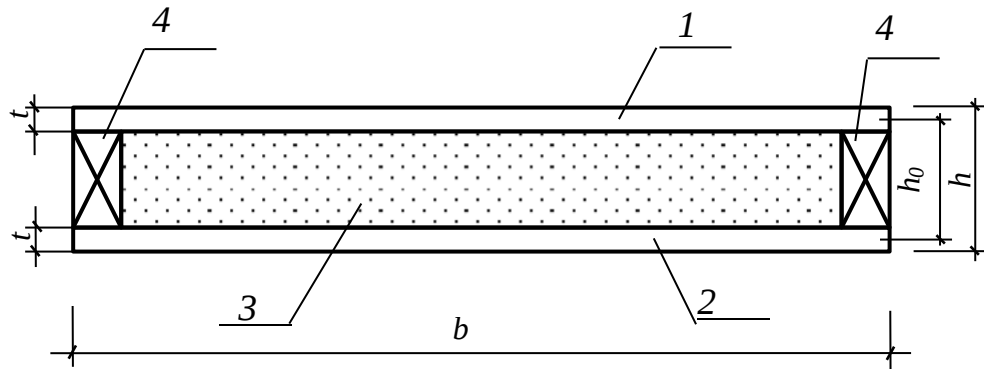


Рисунок 2 – сечение трехслойной плиты покрытия с асбестоцементными обшивками: 1 – верхняя обшивка; 2 – нижняя обшивка; 3 – средний слой (пенопласт); 4 – обрамляющие бруски

Решение

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

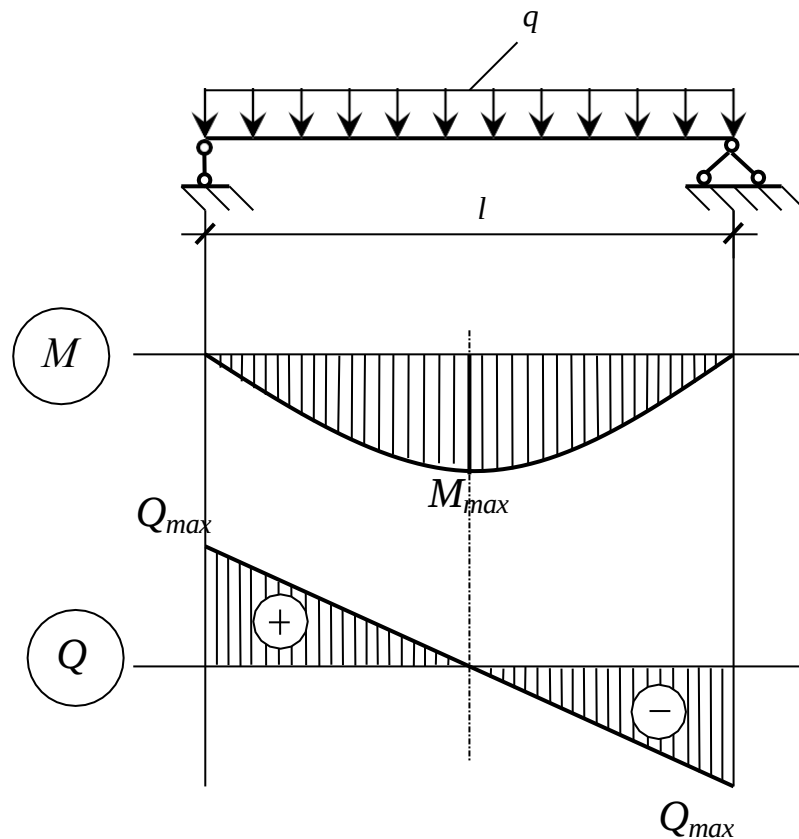


Рисунок 3 – Расчетная схема плиты и эпюры внутренних усилий M и Q

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 $t = 10 \text{ мм} = 1 \text{ см}$; расчетное сопротивление асбестоцементных листов растяжению $R_p = 4,2 \text{ МПа} = 0,42 \text{ кН/см}^2$; модуль упругости $E = 6250 \text{ МПа} = 625 \text{ кН/см}^2$.

Для среднего слоя принимаем: пенопласт пенополиуретан марки ППУ–60 с плотностью $\rho = 60 \text{ кг/м}^3$, расчетное сопротивление скалыванию $R_{ск} = 0,025 \text{ МПа} = 0,0025 \text{ кН/см}^2$, модуль сдвига $G = 7 \text{ МПа} = 0,7 \text{ кН/см}^2$.

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 $h = 19,0 \text{ см}$ и $h_0 = h - t = 19 - 1 = 18 \text{ см} > h_{0,mp} = 17,4 \text{ см}$.

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).

$$K = 1 + \frac{9,6 \cdot E \cdot J_x}{G \cdot (h_0 + t) b \cdot l^2} = 1 + \frac{9,6 \cdot 625 \cdot 16200}{0,7 \cdot (18+1) 100 \cdot 290^2} = 1,869$$

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

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) $K = 1 + \frac{9,6 \cdot E \cdot J_x}{G \cdot h_0 \cdot b \cdot l^2}$, 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 $t_2 = - 5^{\circ}\text{C}$.

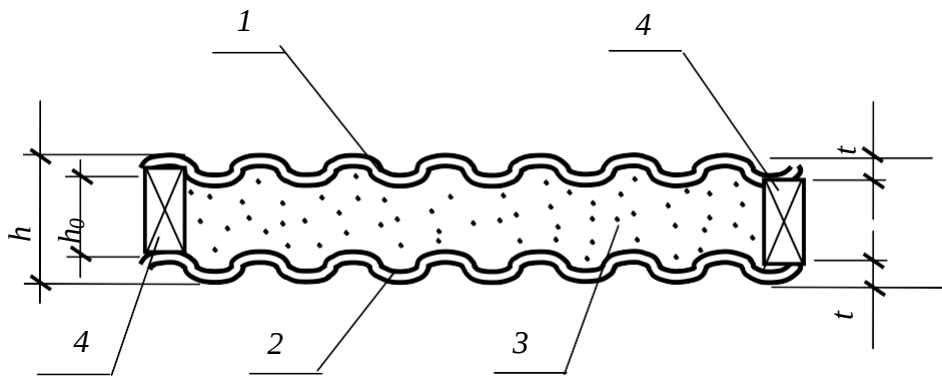


Рисунок 4 – Сечение сплошной трехслойной плиты покрытия с обшивками из гофрированных алюминиевых листов: 1 – верхняя обшивка; 2 – нижняя обшивка; 3 – средний слой (утеплитель); 4 – обрамляющие бруски

Решение.

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

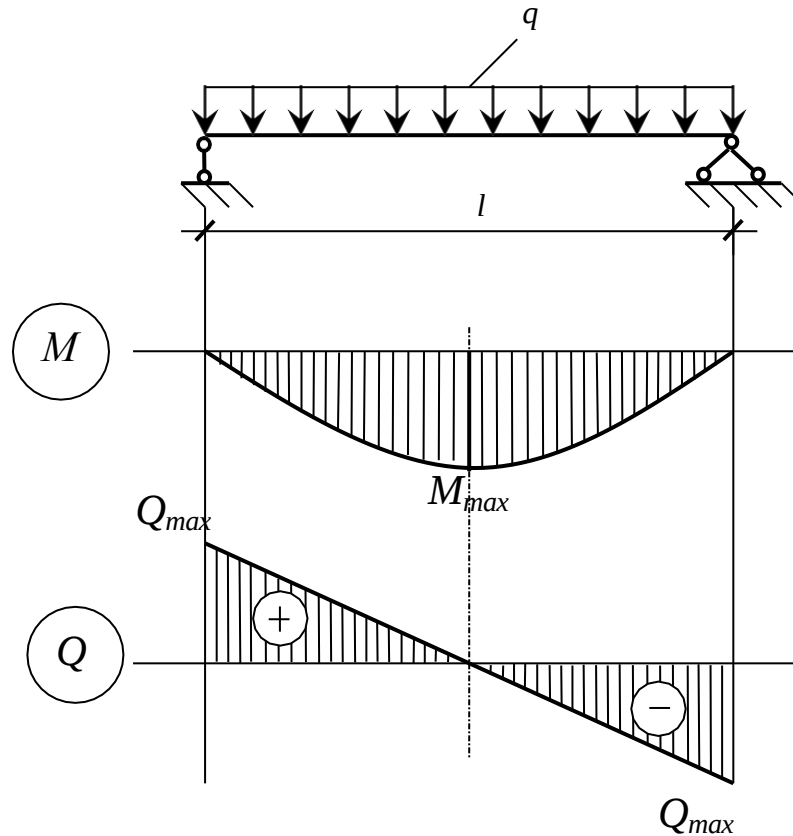


Рисунок 5 – Расчетная схема плиты и эпюры внутренних усилий M и Q

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 $b_{\epsilon} = 5$ мм, длина волны $l_{\epsilon} = 30$ 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 $h = h_0 + b_g = 11 + 0,5 = 11,5 \text{ см}$.

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

$$J_x = b \cdot t \cdot h_0^2 / 2 = 100 \cdot 0,1 \cdot 11^2 / 2 = 605 \text{ см}^4;$$

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

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

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.

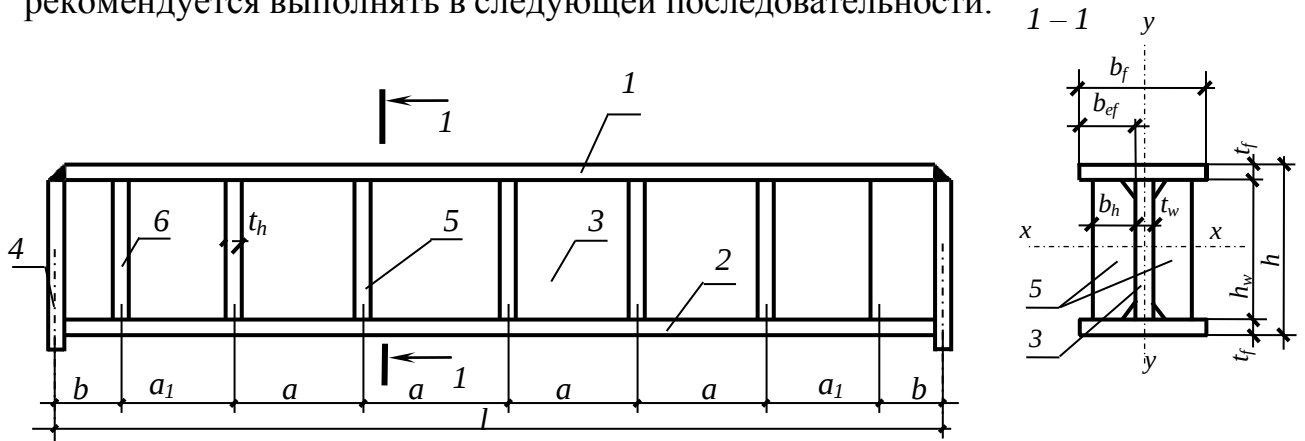


Рисунок 6 – Схема балки с гибкой стенкой симметричного двутаврового сечения: 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – стенка; 4 – торцевое опорное ребро; 5 – основное поперечное ребро жесткости; 6 – дополнительное двустороннее поперечное ребро жесткости

Находят минимальную и оптимальную высоты балки.

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

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

где: σ_{nf} – напряжение от общего изгиба в поясе, возникающего от действия заданной нормативной нагрузки (от которой разыскивается прогиб), кН/см^2 ;

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]

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

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: $\alpha_{fu} = (10,3^3 / \lambda_w^3) \cdot (1,34 - 412 R_y / E)$, 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):

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

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.

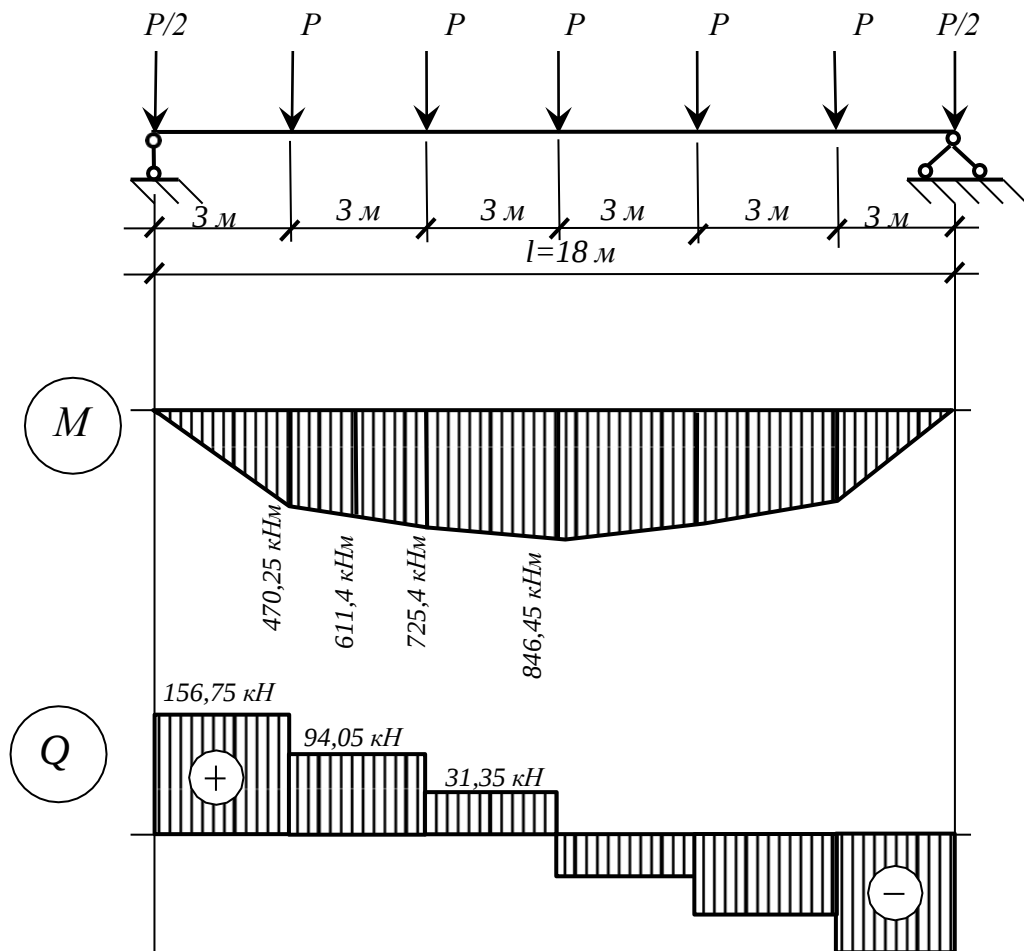


Рисунок 7 – Расчетная схема стропильной балки покрытия и эпюры внутренних усилий M и Q

Решение

Находим минимальную высоту сечения балки по формуле (14) при

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

$$\alpha = 1,2 - 0,033 \bar{\lambda}_w = 1,2 - 0,033 \cdot 10 = 0,87$$

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

Оптимальная высота балки по формуле (16)

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

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 $V = 0,9 \cdot h_w$

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

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: $A_f = 28 \cdot 1,6 = 44,8 \text{ см}^2$; $A_w = 125 \cdot 0,5 = 62,5 \text{ см}^2$.

Отношение площадей сечений пояса и стенки не должно превышать:

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

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,

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

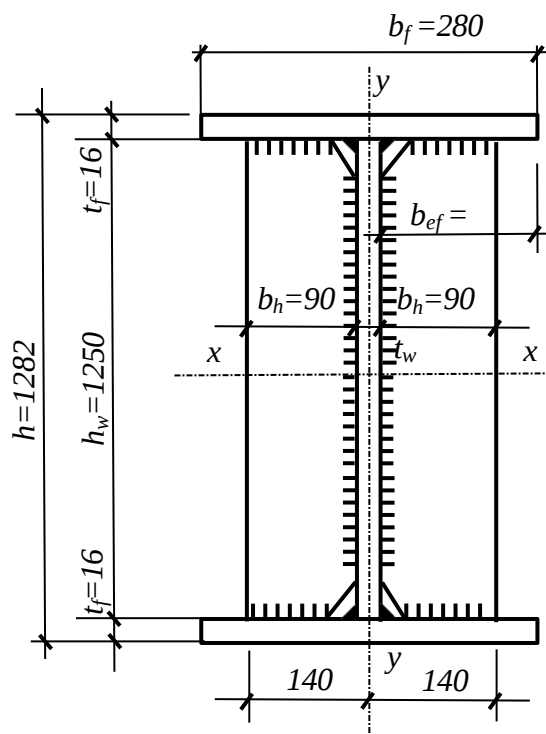


Рисунок 8 – Поперечное сечение стропильной балки покрытия с гибкой стенкой

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.

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

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

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).

$$\tau_{cr} = \left(10,3 \left(1 + \frac{31}{0,76} \right) \frac{R_{s,w}}{\mu^2} \right) \lambda_{ef}^2 ; \quad (27)$$

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

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 $l_{ef,y} \leq 0,21 b_f \sqrt{\frac{E}{R_{yf}}}$ (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 $\alpha = 1,2 - 0,033 \lambda_w$ для балок с ребрами в пролете и на коэффициент $\alpha = 1,2 - 0,033 \lambda_w - \left(\frac{h}{l} \right)$ 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)

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

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

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

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

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

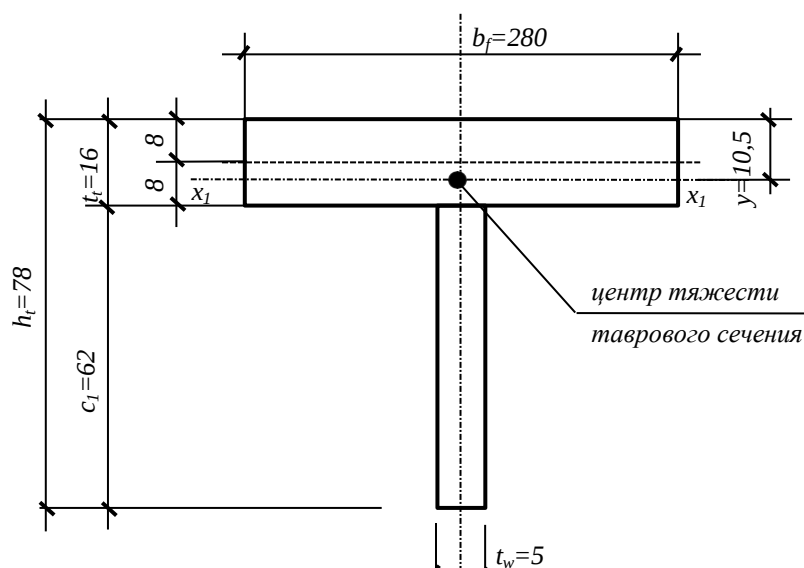


Рисунок 9 – Условный сжатый пояс балки

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

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

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

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)

$$I_f = b_f \cdot \frac{t_f^3}{12} + t_w \cdot \frac{c_1^3}{12} + b_f \cdot t_f \left(y - \frac{t_f}{2} \right)^2 + c_1 \cdot t_w \left[\frac{c_1}{2} + \left(t_f - y \right) \right]^2 = 28 \frac{1,6^3}{12} + \frac{0,5 \cdot 6,2^3}{12} + 28 \cdot 1,6 \cdot \left(1,05 - \frac{1,6}{2} \right)^2 + 6,2 \cdot 0,5 \cdot \left[\frac{6,2}{2} + (1,6 - 1,05) \right]^2 = 63,6 \text{ см}^4;$$

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

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

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 $\beta = 0,15$.

$$Q_u = R_{s,w} \cdot t_w \cdot h_w \left[\frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} + 3,3 \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} \right) \frac{\beta \cdot \mu_1^2}{1 + \mu_1^2} \right] = 19,43 \cdot 0,5 \cdot 125 \left[\frac{2,22}{0,58 \cdot 33,5} + 3,3 \left(1 - \frac{2,22}{0,58 \cdot 33,5} \right) \frac{0,15 \cdot 2,4^2}{(1 + 2,4^2)} \right] = 327,8 \text{ кН.}$$

Проверяем прочность балки:

– в первом отсеке при сдвиге

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

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

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{2,28^2} \right) \frac{0,58 \cdot 33,5}{10,1^2} = 2,25 \text{ кН/см}^2;$$

$$Q_u = R_{s,w} \cdot t_w \cdot h_w \left[\frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} + 3,3 \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_{s,w}} \right) \frac{\beta \cdot \mu_1^2}{1 + \mu_1^2} \right] = 0,58 \cdot 33,5 \cdot 0,5 \cdot 125 \left[\frac{2,25}{0,58 \cdot 33,5} + 3,3 \left(1 - \frac{2,25}{0,58 \cdot 33,5} \right) \frac{0,15 \cdot 2,28^2}{(1 + 2,28^2)} \right] = 336,13 \text{ кН.}$$

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

– 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

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

Находим гибкость при расчетной длине ребра равной

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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 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.

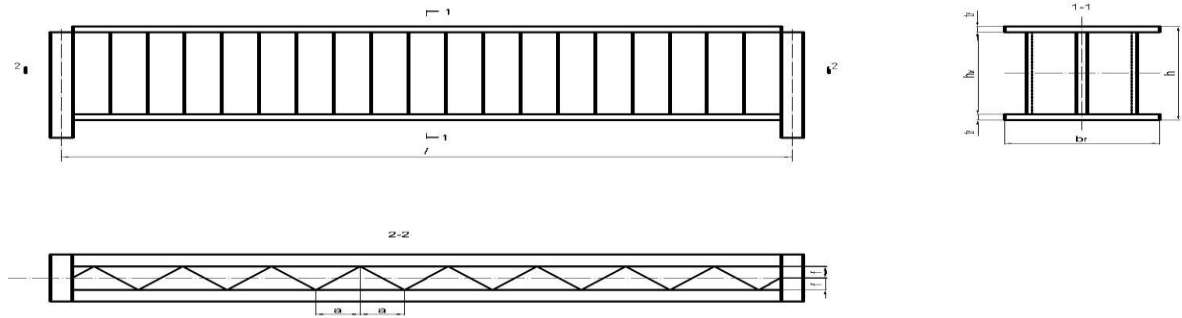


Рисунок 10 – Схема балки с гофрированной стенкой: a – длина полуволны гофра; f – высота волны гофра; h – высота сечения балки; h_w – высота сечения стенки; t_w – толщина сечения стенки; b_f – ширина сечения пояса; t_f – толщина сечения пояса

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;

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

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:

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

где $\nu \approx 1,03 \cdot h_w$.

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

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

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)

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

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

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

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)

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

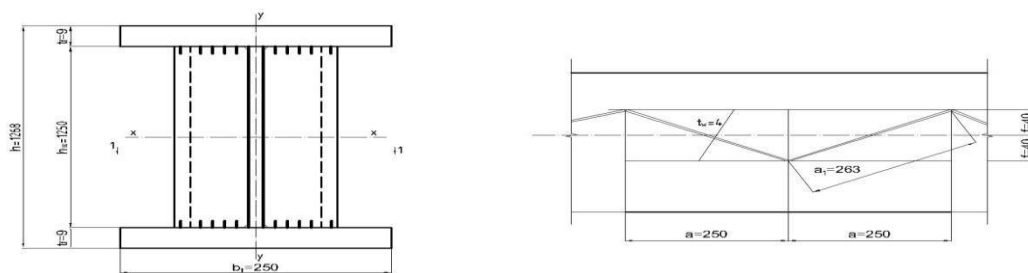


Рисунок 11 – Скомпонованное поперечное сечение балки с гофрированной стенкой: а) – принятые размеры поперечного сечения; б) – принятые параметры гофра

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 $\tau_{loc,cr}$

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

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

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

– 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		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)

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

– 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];

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

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

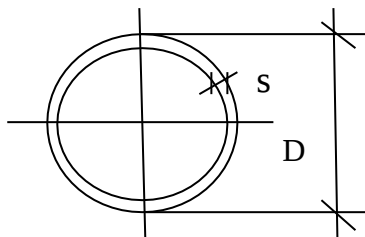


Рисунок 12 – Сечение цилиндрической трубы

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

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

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

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

здесь $0,5 \leq \alpha \leq 1$

где – проверяют выполнение условия

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

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 впрытык;
- 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} $N_{sl} = -52,17$ 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 $s = 4 \dots 36$ 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.

$$N_{r3} = 198,25 \text{ кН}; \quad l_{ef,x} = 0,9 l = 0,9 \cdot 417 = 376 \text{ см}; \quad l_{ef,y} = 0,9 l_{1r3} = 0,9 \cdot 417 = 376 \text{ см}; \quad \gamma_c = 0,8; \quad \lambda_u = 400.$$

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

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

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

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

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

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.

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

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), $\gamma_c = 0,8$.

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

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

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.

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

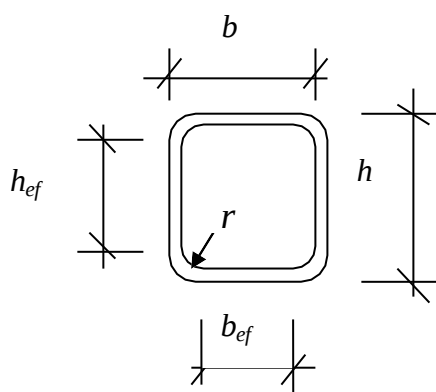


Рисунок 13 – Сечение ГСП. К расчету на местную устойчивость стенок и полок

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

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

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

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

$k = 2,9 + 0,2\bar{\lambda} - 0,7\bar{\lambda}_w$ (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

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

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

$k_1 = 2,9 + 0,2\bar{\lambda} - 0,7\bar{\lambda}_{w1}$ (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 Гн 160х120х5; $A = 27$ см², $i_x = 6,09$ см; $i_y = 4,87$ см.

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

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

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

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

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

Проверяем гибкость полки

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

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

Подбор сечения нижнего растянутого пояса.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 80х3

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

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

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

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

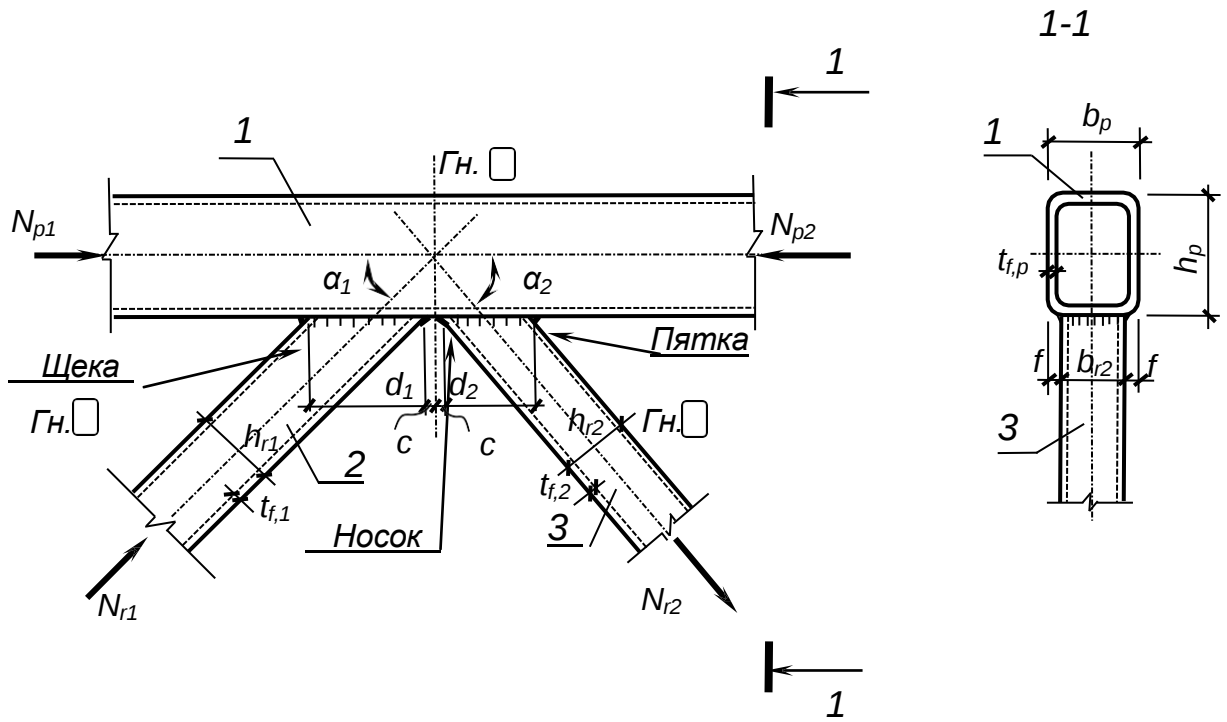


Рисунок 14 – Промежуточный узел фермы из ГСП: 1 – верхний пояс; 2 – сжатый раскос; 3 – растянутый раскос

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 элементе 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):

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

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

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)

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

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)

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

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)

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

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 $\Gamma_n \square 180 \times 140 \times 5$, $A_p = 30,4$ см²;
- расчетное продольное усилие в сжатом раскосе $N_{r1} = -209$ кН, сечение раскоса $\Gamma_n \square 120 \times 4$, $A_{r1} = 18,56$ см²;
- расчетное продольное усилие в растянутом раскосе $N_{r2} = 140$ кН, сечение раскоса $\Gamma_n \square 100 \times 3$, $A_{r2} = 11,6$ 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 $d_1 = \frac{h_{r1}}{\sin \alpha_1} = 120 / 0,707 = 169,73$ 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)

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

где $\gamma_d = 1,0$;

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

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

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

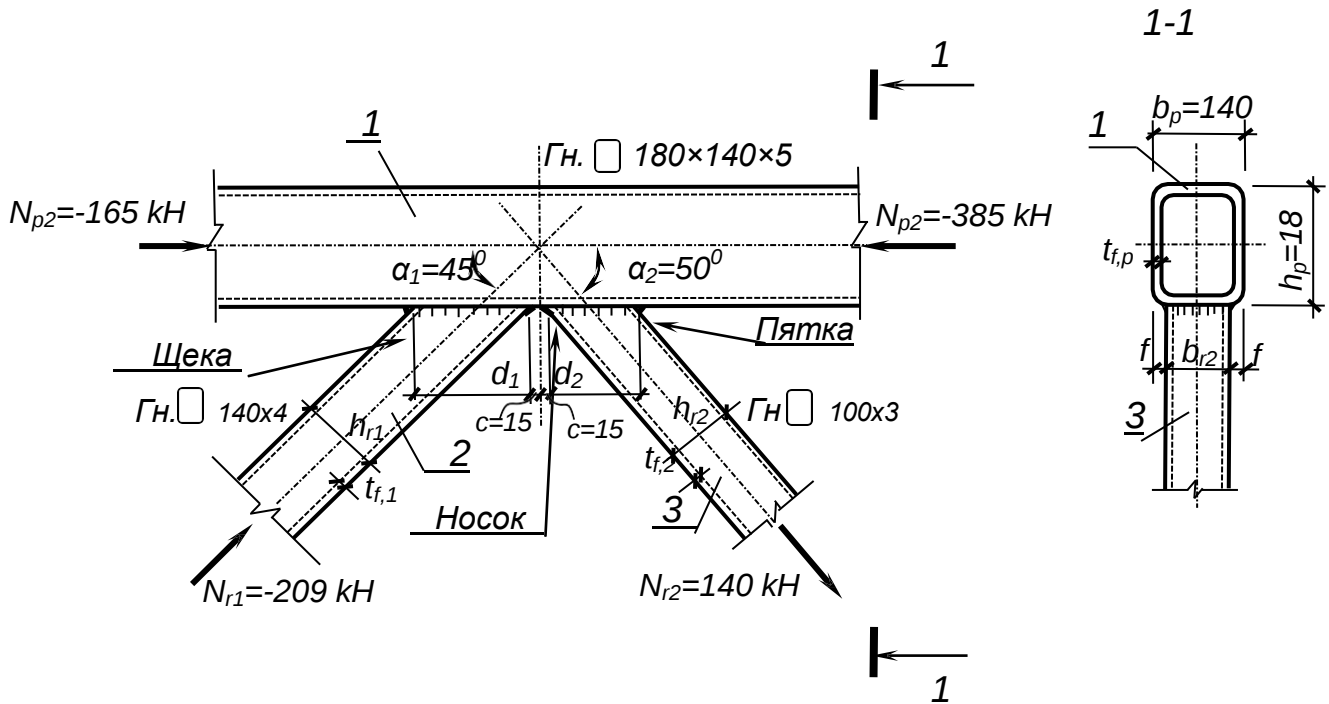


Рисунок 15 – Промежуточный узел фермы из ГСП: 1 – верхний пояс; 2 – сжатый раскос; 3 – растянутый раскос

Проверка несущей способности стенки пояса под растянутым раскосом.

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

– 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 $\gamma_d = 1,2$;

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

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

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

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):

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

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, $k = 1$.

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

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, $k = 1$.

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

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)

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

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).

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

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.

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

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. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции /Госстрой России–М.: ФГУП ЦПП, 2011. – 90 с.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. СНиП 2.03.09–85. Асбестоцементные конструкции /Госстрой России / – М.: Госстрой ЦИТП, 2011 – 40 с.
10. СНиП 2.03.06–85. Алюминиевые конструкции /Госстрой России /– М.: Госстрой ЦИТП, 2011 – 47 с.
11. Руководство по проектированию стальных конструкций из гнутосварных замкнутых профилей /ЦНИИПроектстальконструкция. М.: 1978 – 43 с.
12. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*/Мин. Регионального развития РФ. – М. ФЦС, 2011. – 176 с.
13. СНиП 2.01.07. Нагрузки и воздействия / Госстрой России. – М.: ГУП ЦИТП, 2011 – 44 с
14. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*/ Мин. строительства и ЖКХ РФ. – М. ФЦС, 2017. – 147 с.
15. СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования. / Мин. строительства и ЖКХ РФ. – М. ФЦС, 2017. – 166 с.
16. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*/Мин. строительства и ЖКХ РФ. – М. ФЦС, 2016. – 91 с.

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации самостоятельной работы по дисциплине
Облегченные и пространственные конструкции

Направление подготовки
Направленность (профиль)

08.03.01 Строительство
Промышленное и гражданское
строительство

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнение контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;

- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;

- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;

- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;

- углубление и расширение теоретических знаний;

- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;

- углубление и расширение теоретических знаний;

- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

- развитие исследовательских умений;

- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;

- подготовка к лекциям;

- подготовка к практическим занятиям;

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки, основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы студентов направлена на решение следующих задач:

- а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;
- б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;
- в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;
- г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);
- подготовка сообщения для выступления на конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии.

Для формирования умений:

- выполнение контрольных работ;
- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных

вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;
- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих форме собеседование.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины. Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет с оценкой.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические занятия группы, на последнем занятии по результатам работы в семестре.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;

Основные критерии оценивания компетенций:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.