

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю) Б1.О.19 Сопротивление материалов

Специальность

08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений

Специализация

08.05.01.01 Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений

1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотношенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практике и оценочными мероприятиями

Семестр	Код и наименование индикатора компетенции	Результаты обучения	Оценочные мероприятия
3 (зачет)	ОПК-1: Способен решать прикладные задачи строительной отрасли, используя теорию и методы фундаментальных наук	Знать: сущность и виды деформаций; методики расчета элементов конструкции методом предельных состояний при простых и сложных деформациях; законы Гука при растяжении (сжатии), чистом сдвиге, при кручении и изгибе; напряженное и деформированное состояние в точке, теории прочности; методики решения статически определимых	ОС-1 Вопросы к зачету
		Уметь: составлять расчетные схемы, определять внутренние силовые факторы и строить их эпюры; определять требуемые размеры сечения при простых и сложных деформациях; выполнять поверочные расчеты на прочность и жесткость при всех видах деформаций; подбирать размеры сечений из условия устойчивости; решать статически определимые и статически неопределимые задачи	
		Владеть: навыками: • обработки и анализа результатов опытов; • самостоятельной работы с литературой и справочниками	
4 (экзамен)	ОПК-1: Способен решать прикладные задачи строительной отрасли, используя теорию и методы фундаментальных наук	Знать: методики решения статически неопределимых задачи; методики определение перемещений, определять устойчивость сжатых стержней при продольно-поперечном изгибе;	ОС-2 Вопросы к экзамену,
		Уметь: выполнять поверочные расчеты при сложном сопротивлении на прочность, жесткость; подбирать размеры сечений из условия устойчивости; решать статически неопределимые задачи	
		Владеть: навыками: • обработки и анализа результатов опытов; • самостоятельной работы с литературой и справочниками	ОС-3 тематические типовые задачи

2 Типовые оценочные средства с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

2.1 Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль знаний необходим для проверки усвоения учебного материала и его закрепления. Контроль следует проводить на протяжении всего периода изучения дисциплины. Текущий контроль осуществляется в процессе практических и лекционных занятий. Формой текущего контроля является оценка по практическим работам.

2.2 Промежуточная аттестация

Учебным планом изучения дисциплины предусмотрена сдача зачета на 2-м курсе в 3-м семестре и экзамена на втором курсе в 4-м семестре. Для сдачи зачета предусмотрены контрольные вопросы (ОС-1), для сдачи экзамена экзаменационные билеты. Каждый билет содержит 2 теоретических вопроса (ОС-2) и типовую тематическую задачу (ОС-3).

Оценочное средство 1 – ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ (ОС-1)

2 курс 3 семестр

1. Основные понятия сопротивления материалов. Прочность, жесткость, устойчивость
2. Основные гипотезы сопротивления материалов
3. Реальный объект и расчетная схема
4. Схематизация внешних сил
5. Метод сечений
6. Внутренние силы в сечениях бруса
7. Общие принципы расчета элементов конструкции
8. Продольные силы и их эпюры, правила проверки эпюр
9. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии
10. Закон Гука при растяжении и сжатии
11. Основные механические характеристики материалов
12. Допускаемые напряжения и коэффициент запаса
13. Три основные задачи расчета на растяжение (сжатие)
14. Геометрические характеристики сечений
15. Моменты инерции простых и сложных фигур
16. Изгибающий момент и поперечная сила при изгибе, правило знаков.
17. Дифференциальные зависимости при изгибе
18. Распределение деформации и напряжения в сечении при изгибе
19. Три основные задачи расчета балок на изгиб
20. Напряжения и деформации в сечении при кручении круглого вала
21. Три основные задачи расчета круглого вала на кручение
22. Изгибающий момент и поперечная сила при изгибе, правило знаков.
23. Дифференциальные зависимости при изгибе
24. Распределение деформации и напряжения в сечении при изгибе
25. Три основные задачи расчета балок на изгиб
26. Напряжения и деформации в сечении при кручении круглого вала
27. Три основные задачи расчета круглого вала на кручение
28. Расчет заклепочных, болтовых соединений
29. Расчет сварных соединений
30. Типы деформаций

Критерии для выставления зачета

- «**ЗАЧТЕНО**» выставляется обучающемуся, если:

1. Он глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает.
2. Умеет тесно увязывать теорию с практикой.
3. Не допускает существенных неточностей при возникновении дополнительных вопросов.

- «**НЕ ЗАЧТЕНО**» выставляется обучающемуся, если:

1. Студент не усвоил основной материал и его детали, допускает значительные неточности при ответе.
2. Нарушает логическую последовательность в ответе.
3. Неуверенно, с большими затруднениями отвечает на дополнительные вопросы.

Оценочное средство 2 – ВОПРОСЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ (ОС-2)

2 курс, 4 семестр

1. Общие принципы расчета элементов конструкции
2. Продольные силы и их эпюры, правила проверки эпюр
3. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии
4. Закон Гука при растяжении и сжатии
5. Основные механические характеристики материалов
6. Допускаемые напряжения и коэффициент запаса
7. Три основные задачи расчета на растяжение (сжатие)
8. Геометрические характеристики сечений
9. Моменты инерции простых и сложных фигур
10. Изгибающий момент и поперечная сила при изгибе, правило знаков.
11. Дифференциальные зависимости при изгибе
12. Распределение деформации и напряжения в сечении при изгибе
13. Три основные задачи расчета балок на изгиб
14. Напряжения и деформации в сечении при кручении круглого вала
15. Три основные задачи расчета круглого вала на кручение
16. Изгибающий момент и поперечная сила при изгибе, правило знаков.
17. Дифференциальные зависимости при изгибе
18. Распределение деформации и напряжения в сечении при изгибе
19. Три основные задачи расчета балок на изгиб
20. Напряжения и деформации в сечении при кручении круглого вала
21. Три основные задачи расчета круглого вала на кручение
22. Расчет заклепочных, болтовых соединений
23. Расчет сварных соединений
24. Простые типы деформаций
25. Сложные типы деформаций
26. Косой изгиб
27. Внецентренное растяжение (сжатие)
28. Изгиб с кручением
29. Определение перемещений в статически определимых системах
30. Определение перемещений в статически неопределимых системах
31. Каноническое уравнение метода сил при расчете статически неопределимых балок
32. Явление усталости. Основные характеристики циклов нагружения
33. Экспериментальное определение характеристик усталости. Кривая усталости
34. Устойчивость сжатых стержней. Формула Эйлера
35. Учет условий закрепления концов стержня при определении критической силы потери устойчивости
36. Динамические нагрузки

Оценочное средство 3 – ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ (ОС-3)

2 курс, 4 семестр

Перечень тем типовых задач (ОС-3)

1. Проектирование (подбор сечения из профилей проката или простых геометрических фигур) статически определимых балок, рам из условия прочности
2. Определение перемещения методом начальных параметров, Интеграла Мора
3. Определение прочности и жесткости статически неопределимых балок методом сил
4. Определение прочности при сложных деформациях: косом изгибе, внецентренном растяжении-сжатии, изгибе с кручением
5. Проектирование (подбор сечения) из условия устойчивости стержневых конструкций
6. Проверка прочности при ударной нагрузки балок и рам.

ОС-3.1 ТЕМА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ

Примеры решения задач:

Исходные данные: Двухтавовая балка (*в*) находится под действием нагрузок, приложенных согласно расчетным схемам. Допускаемые напряжения и прогиб балки равны соответственно $\sigma_{adm} = 160$ МПа, $[y] = l/500$.

Требуется:

1. определить размеры поперечного сечения;
2. определить прогибы по середине пролета и на конце консоли, а также углы поворота на опорах методом начальных параметров и по правилу Верещагина;
3. проверить жесткость балки и построить упругую линию балки.

Схемы для расчета – схемы *в* к задаче 4, числовые данные в табл. 5.1.

Исходные данные: Стальная балка загружена, как показано на схеме $F = 2$ кН, $q = 3$ кН/м, $M = 4$ кНм (рис. 6.6). Сечение балки двухтавовое № 20 ($I_z = 1840$ см⁴). Допускаемый прогиб балки $[y] = l/500$.

Требуется:

1. определить прогибы по середине пролета и на конце консоли, а также углы поворота на опорах методом начальных параметров и по правилу Верещагина;
2. проверить жесткость балки и построить упругую линию балки.

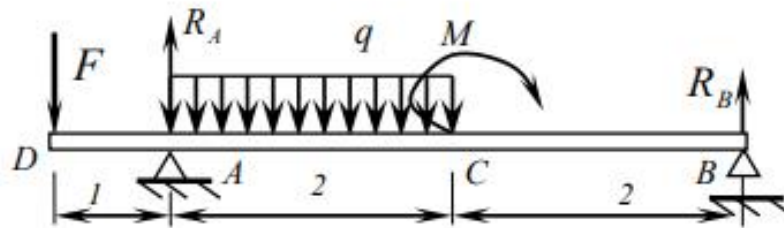


Рис. 6.6

Решение:

1. Определим опорные реакции из уравнений равновесия:

$$\sum M_A = q \cdot 2 \cdot 1 - R_B \cdot 4 + M - F \cdot 1 = 0;$$

$$R_B = \frac{q \cdot 2 + M - F \cdot 1}{4} = \frac{3 \cdot 2 + 4 - 2 \cdot 1}{4} = 2 \text{ кН.}$$

$$\sum M_B = M + R_A \cdot 4 - q \cdot 2 \cdot 3 - F \cdot 5 = 0;$$

$$R_A = \frac{q \cdot 6 - M + F \cdot 5}{4} = \frac{-4 + 18 + 10}{4} = 6 \text{ кН.}$$

Проверка: $\sum F_y = R_A + R_B - q \cdot 2 - F = 0; 2 + 6 - 2 - 3 \cdot 2 = 0.$

6.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕТОДОМ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

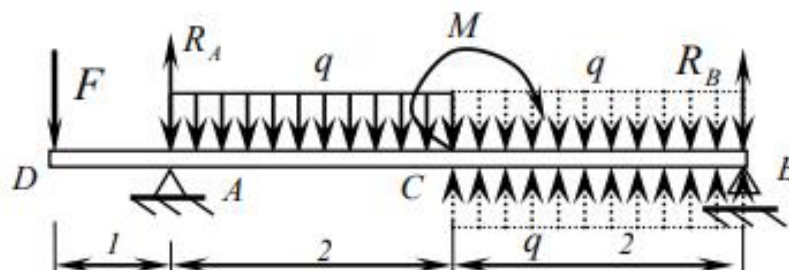
а) опишем граничные условия:

Заданная балка аналогична той, что приведена на рис. 6.4, *г*.

$$(-)A: \text{ при } x = 1 \quad y = 0;$$

$$(-)B: \text{ при } x = 5 \quad y = 0.$$

б) продлим нагрузку q до конца балки и введем компенсирующую нагрузку такой же интенсивности (рис. 6.7).



в) определим начальные параметры (прогиб и угол поворота в начале координат).

Для этого составим 1-ое уравнение метода начальных параметров (6.2) для каждой из опорных точек:

$$1. EI y_A = EI y_0 + EI \varphi_0 - F \frac{(1-0)^3}{6} = 0;$$

$$EI y_0 + EI \varphi_0 - \frac{F}{6} = 0;$$

$$EI y_0 + EI \varphi_0 - 0,333 = 0.$$

$$2. EI y_B = EI y_0 + EI \varphi_0 \cdot 5 + M \frac{(5-3)^2}{2} - F \frac{(5-0)^3}{6} +$$

$$+ R_A \frac{(5-1)^3}{6} - q \frac{(5-1)^4}{24} + q \frac{(5-3)^4}{24} = 0;$$

$$EI y_0 + EI \varphi_0 \cdot 5 + 8 - 41,66 + 64 - 32 + 2 = 0;$$

$$EI y_0 + EI \varphi_0 \cdot 5 + 0,34 = 0.$$

Решим совместно систему уравнений 1, 2 и определим y_0, φ_0 :

$$EI \varphi_0 = -0,1675;$$

$$EI y_0 = 0,4975.$$

г) определим прогиб по середине пролета (т. С):

Для этого составим 1-ое уравнение метода начальных параметров (6.2) для т. С:

$$EI y_C = EI y_0 + EI \varphi_0 \cdot 3 + R_A \frac{(3-1)^3}{6} - F \frac{(3-0)^3}{6} - q \frac{(3-1)^4}{24} =$$

$$= 0,4975 - 0,5025 + 8 - 9 - 2 = -3,005;$$

$$y_C = -\frac{3,005 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} = -0,00082 \text{ м} = -0,82 \text{ мм}.$$

Знак «-» показывает, что прогиб т. С – вниз.

д) определим прогиб на конце консоли (т. D):

Для этого составим 1-ое уравнение метода начальных параметров (6.2) для т. D :

$$EI y_D = EI y_0 = 0,4975;$$

$$y_D = \frac{0,4975 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} = 0,0001352 \text{ м} = 0,1352 \text{ мм}.$$

Знак «+» показывает, что прогиб сечения D – вверх.

е) определим угол поворота опоры A :

Для этого составим 2-ое уравнение метода начальных параметров (6.2) для т. A :

$$EI \varphi_A = EI \varphi_0 - F \frac{(1-0)^2}{2} = -0,1675 - 1 = -1,1675;$$

$$\varphi_A = -\frac{1,675 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} = -0,00032 \text{ рад.}$$

Знак «-» показывает, что угол поворота т. A – по часовой стрелке.

ж) определим угол поворота на опоре B :

Для этого составим 2-ое уравнение метода начальных параметров (6.2) для т. B :

$$\begin{aligned} EI \varphi_B &= EI \varphi_0 + M(5-3) - F \frac{(5-0)^2}{2} + R_A \frac{(5-1)^2}{2} - q \frac{(5-1)^3}{6} + q \frac{(5-3)^3}{6} = \\ &= -0,1675 + 8 - 25 + 32 - 32 + 4 = 2,8325; \\ \varphi_B &= \frac{2,8325 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} = 0,00077 \text{ рад.} \end{aligned}$$

Знак «+» показывает, что угол поворота т. B – против часовой стрелки.

6.2 Определение перемещений методом интеграла Мора. Правило Верещагина

Определим прогибы и углы поворота точек балки по правилу Верещагина.

а) построим грузовую эпюру изгибающих моментов M_F от действия внешней нагрузки (рис. 6.8, а).

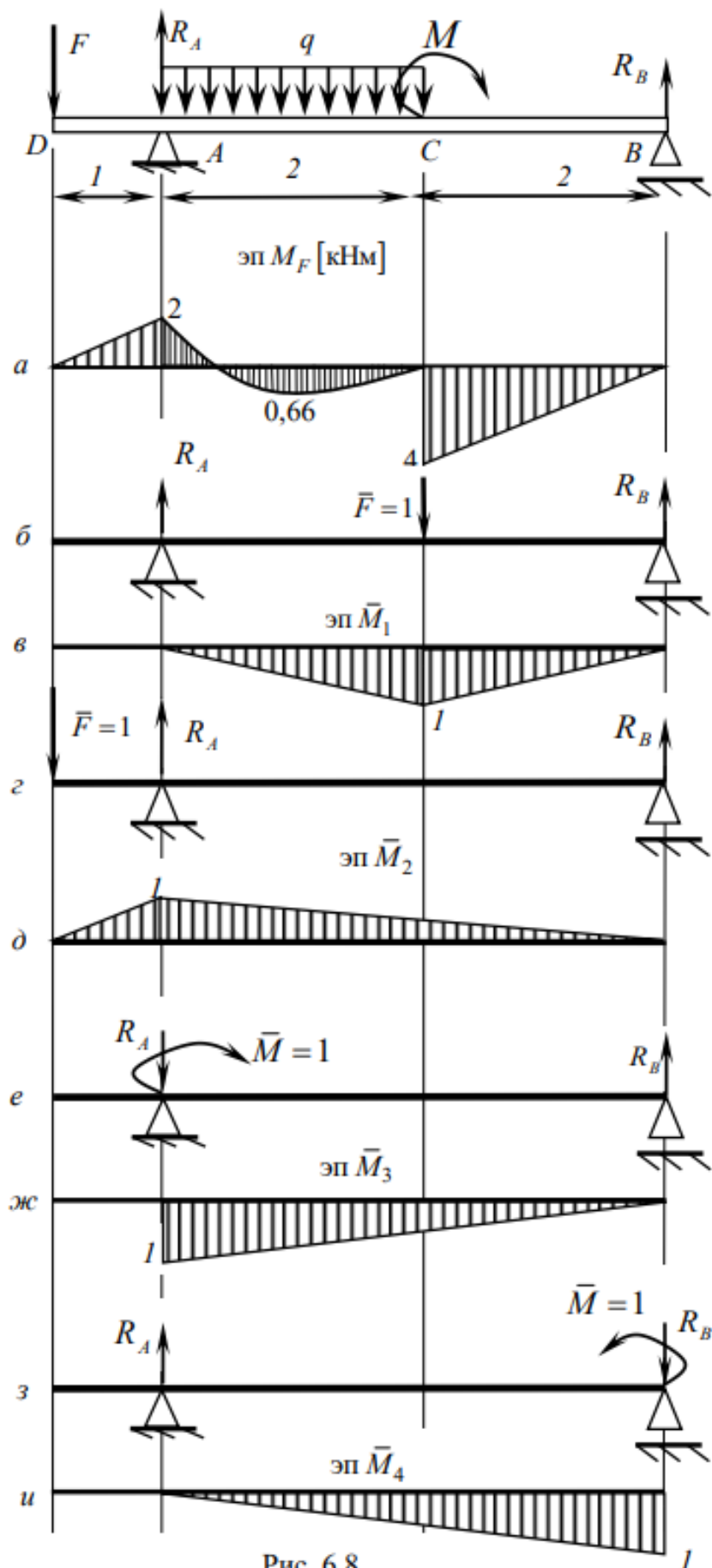


Рис. 6.8

б) определим прогиб по середине пролета (в т. С)

Для этого отбросим всю внешнюю нагрузку и в т. С приложим силу $\bar{F} = 1$ (рис. 6.8, б). Найдем опорные реакции при заданном нагружении и построим эпюру \bar{M}_1 (рис. 6.8, в). Определим y_C по формуле (6.5):

$$y_C = \frac{M_F \times \bar{M}_1}{EI} = \frac{1}{EI} \left[\frac{2}{6}(-2 \cdot 1) + \frac{3 \cdot 2^3}{12} \frac{1}{2} + \frac{2}{6}(2 \cdot 4 \cdot 1) \right] =$$

$$= \frac{1}{EI} (-0,667 + 1 + 2,667) = \frac{3}{EI} = 0,82 \text{ мм.}$$

Знак «+» показывает, что прогиб т. С направлен в ту же сторону, что и единичная сила (вниз).

в) определим прогиб на конце консоли (т. D).

Для этого отбросим всю внешнюю нагрузку и в т. D приложим $\bar{F} = 1$ (рис. 6.8, з). Найдем опорные реакции при заданном нагружении и построим эпюру \bar{M}_2 (рис. 6.8, д). Определим y_D по формуле (6.5):

$$y_D = \frac{M_F \times \bar{M}_2}{EI} = \frac{1}{EI} \left[\frac{1}{6}(2 \cdot 2 \cdot 1) + \frac{2}{6}(2 \cdot 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5) - \frac{3 \cdot 2^3}{12} \frac{(1+0,5)}{2} + \frac{2}{6}(-2 \cdot 4 \cdot 0,5) \right] =$$

$$= \frac{1}{EI} \left(\frac{4}{6} + \frac{10}{6} - 1,5 - 1,333 \right) = -\frac{0,497}{EI} = -0,1352 \text{ мм.}$$

Знак «-» показывает, что прогиб т. D направлен в сторону противоположную направлению единичной силы (вверх).

г) определим угол поворота левого опорного сечения (т. А).

Для этого отбросим всю внешнюю нагрузку и в т. А приложим $\bar{M} = 1$ (рис. 6.8, е). Найдем опорные реакции при заданном нагружении и построим эпюру \bar{M}_3 (рис. 6.8, ж). Определим φ_A по формуле (6.5):

$$\varphi_A = \frac{M_F \times \bar{M}_3}{EI} = \frac{1}{EI} \left[\frac{2}{6}(-2 \cdot 2 \cdot 1 - 2 \cdot 0,5) + \frac{3 \cdot 2^3}{12} \left(\frac{1+0,5}{2} \right) + \frac{2}{6}(2 \cdot 4 \cdot 0,5) \right] =$$

$$= \frac{1}{EI} (-1,667 + 1,5 + 1,333) = \frac{1,167}{EI} = 0,00032 \text{ рад.}$$

Знак «+» показывает, что угол поворота т. *A* в ту же сторону, что и единичный момент (по часовой стрелки).

д) определим угол поворота правого опорного сечения (т. *B*).

Для этого отбросим всю внешнюю нагрузку и в т. *B* приложим $\bar{M} = 1$ (рис. 6.8, з). Найдем опорные реакции при заданном нагружении и построим эпюру \bar{M}_4 (рис. 6.8, и). Определим φ_B по формуле (6.5):

$$\begin{aligned} \varphi_B &= \frac{M_F \times \bar{M}_4}{EI} = \frac{1}{EI} \left[\frac{2}{6} (-2 \cdot 0,5) + \frac{3 \cdot 2^3}{12} \frac{0,5}{2} + \frac{2}{6EI} (2 \cdot 4 \cdot 0,5 + 4 \cdot 1) \right] = \\ &= \frac{1}{EI} (-0,333 + 0,5 + 2,667) = \frac{2,833}{EI} = 0,00077 \text{ рад.} \end{aligned}$$

Знак «+» показывает, что угол поворота т. *B* в ту же сторону, что и единичный момент (против часовой стрелки).

4. Проверка жесткости:

$$\sigma_{\max} = 0,00082 M < [\sigma_{adm}] = \frac{\ell}{500} = 0,008 M$$

Условие жесткости выполняется.

5. Построим упругую линию балки:

Упругую линию строят откладывая от оси балки найденные перемещения (без масштаба) с учетом знака.

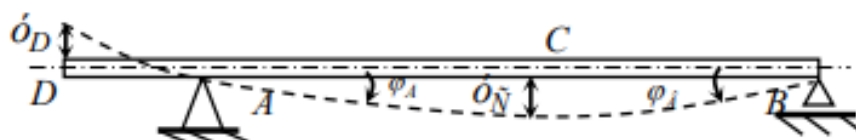


Рис. 6.9

Примерные задания ОС-3.1

1. Методом начальных параметров.
2. С помощью интеграла Мора по правилу Верещагина.

Задачи 1 и 2 решаются по одной и той же схеме с одними и теми же исходными данными, которые выбирают из рис.1 и табл. 1.

Исходные данные:

Стальная балка загружена, по расчетной схеме (рис. 1). Допускаемый прогиб балки $[y] = \frac{\ell}{500}$, допускаемое напряжение $\sigma_{adm} = 160 \text{ МПа}$. Числовые данные для расчета приведены в табл. 1.

Требуется:

1. Подобрать двутавровое сечение балки из условия прочности по нормальным напряжениям (прил. Г).
2. Определить прогибы в точках C, D, E , а также углы поворота на опорах A и B методом начальных параметров (задача 1, прил. Б, Ж) и по правилу Верещагина (задача 2, прил. Б, Ж).

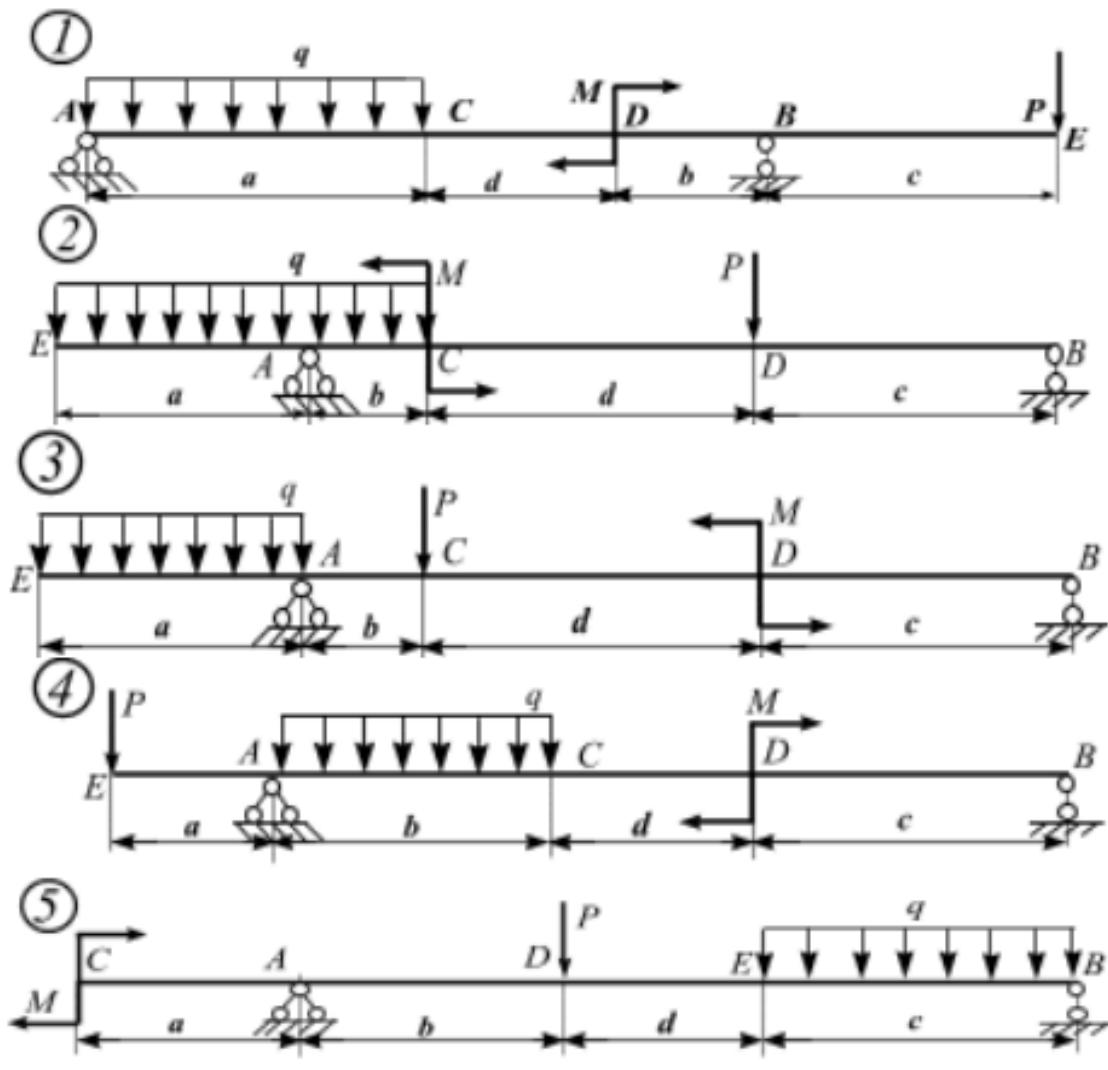


Рисунок 1 – Расчетные схемы ОС-2.3

Таблица 2 – Данные для ОС-2.3

Вариант	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>q</i> , кН/м	<i>P</i> , кН	<i>M</i> , кН·м
	м						
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	3	1	1	1	12	16	18
2	2	1	2	2	9	14	16
3	1	1	2	2	8	12	14
4	1	2	2	1	6	10	12
5	1	1,5	2	1,5	5	8	20
6	2	1,5	2	1,5	12	16	18
7	1,5	1	2	2	10	14	16
8	2	2	1	2	8	12	14
9	2	3	2	2	6	10	12
10	1,5	2	2	1	5	8	20
11	2	2	1	1	12	16	18
12	2	1	2	2	9	14	16
13	2	1	2	2	8	12	14
14	1	2	2	1	6	10	12
15	1,5	2	2	1	5	8	20
16	2	2	2	1	12	16	18
17	1,5	1	2	2	10	14	16
18	2	2	2	1	8	12	14
19	1	2	1	3	6	10	12
20	1,5	2	2	1	5	8	20
21	1,5	2	1,5	3	12	16	18
22	2	1	2	2	10	14	16
23	2	1	2	2	8	12	14
24	1	2	2	1	6	10	12
25	1,5	2	2	1	5	8	20
26	1,5	2	2	1,5	12	16	18
27	1,5	1	2	2	10	14	16
28	2	2	2	1	8	12	14
29	1	3	1	2	6	10	12
30	1,5	2	2	1	5	8	20

ОС-3.2 ТЕМА 4. СЛОЖНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ: ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

Исходные данные:

Жесткая колонна заданного поперечного сечения сжимается силой F , параллельной оси колонны и приложенной в точке (рис. 4, табл. 4) показанной на схеме сечения. Допускаемое напряжение материала на растяжение $\sigma_{adm}^{раст} = 2,7$ МПа, на сжатие $\sigma_{adm}^{сж} = 27$ МПа.

Требуется:

1. определить положение центра тяжести сечения (прил. В) и геометрические характеристики сечения;
2. найти положение нулевой линии;
3. вычислить наибольшие сжимающее и растягивающее напряжения и построить эпюру напряжений. Дать заключение о прочности колонны;
4. найти допускаемую нагрузку F_{adm} при заданных размерах сечения;
5. построить ядро сечения (прил. К).

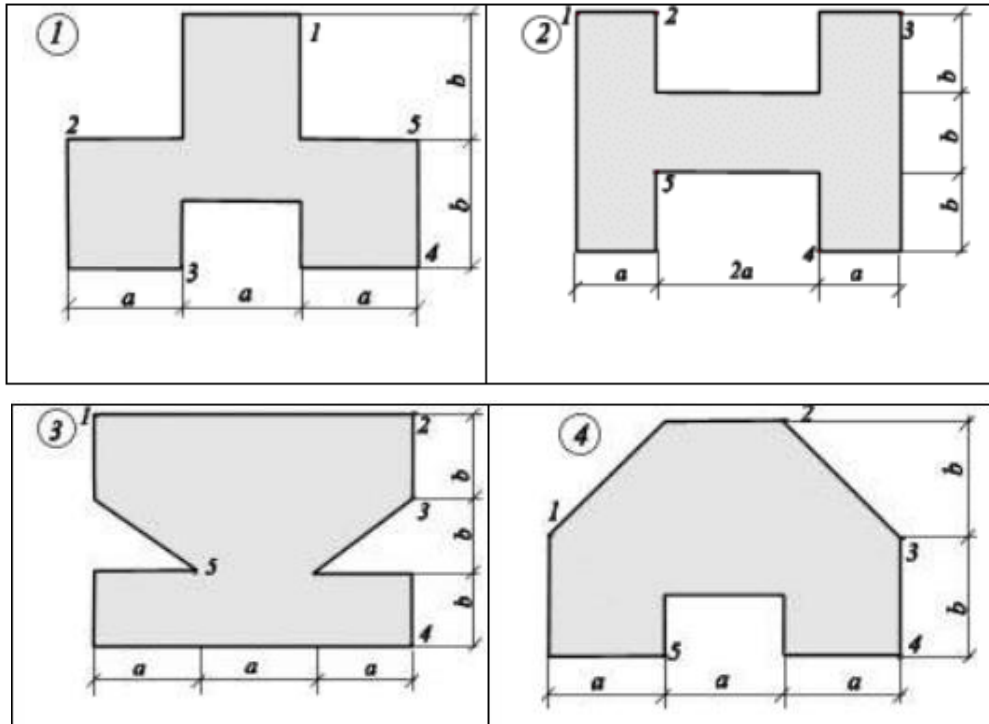


Рисунок ОС-3.2 – Расчетные схемы

Таблица ОС-3.2 – Расчетные данные

Номер варианта	$F, кН$	Размеры сечения, см		Точка приложения силы
		a	b	
1	2	3	4	5
1	120	30	12	1
2	100	24	10	2
3	160	30	12	3
4	100	24	14	4
5	180	36	15	5
6	200	40	18	1
7	320	50	20	2
8	220	28	16	3
9	240	36	18	4
10	260	40	16	5
11	280	30	14	1
12	100	24	10	2
13	120	30	12	3
14	160	40	16	4
15	120	34	12	5
16	160	36	14	1
17	200	40	16	2
18	240	34	18	3
19	260	40	20	4
20	280	38	16	5
21	160	24	18	1
22	220	30	14	2
23	100	24	10	3
24	200	34	16	4
25	160	30	12	5
26	180	26	14	1
27	220	28	20	2
28	180	36	18	3
29	140	24	14	4
30	160	38	12	5

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ОС-3.2

ТЕМА 4. СЛОЖНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ: ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

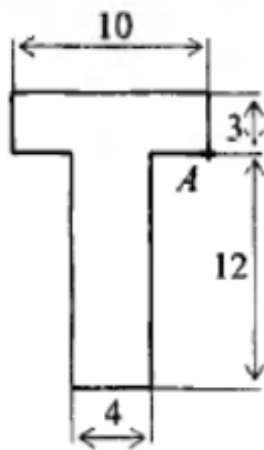


Рис. 6.6

Чугунный короткий стержень, поперечное сечение которого показано на рис 6.6, сжимается продольной силой, приложенной в точке A .

Требуется:

1. Вычислить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в поперечном сечении, выразив эти напряжения через силу F и размеры сечения.

2. Найти допускаемую нагрузку F , если $\sigma_{adm}^{сж} = 120$ МПа; $\sigma_{adm}^{раст} = 25$ МПа (размеры сечения заданы в см).

Решение:

1. Определяем геометрические характеристики поперечного сечения стержня, предварительно определив положение центра тяжести данного сечения. Для этого разобьем сечение на две простейшие фигуры, покажем для каждой из них положение собственного центра тяжести (C_1 и C_2) и центральных осей (z_1, y_1, z_2, y_2).

Так как фигура симметрична относительно оси y , значит, центр тяжести всего сечения будет находиться на этой оси. Нам остается определить координату центра тяжести y_c по формуле (4.4).

$$y_c = \frac{S_z}{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{\sum A_i},$$

где A_1, A_2 – площади фигур 1 и 2 соответственно; y_1, y_2 – расстояние между случайной осью \bar{z} и осями z_1, z_2 соответственно.

$$A_1 = 10 \cdot 3 = 30 \text{ см}^2; A_2 = 12 \cdot 4 = 48 \text{ см}^2; y_1 = 12 + 1,5 = 13,5 \text{ см};$$

$y_2 = 6$ см, следовательно,

$$y_c = \frac{30 \cdot 13,5 + 48 \cdot 6}{30 + 48} = \frac{693}{78} = 8,885 \text{ см}.$$

От оси \bar{z} вдоль оси y откладываем $8,885$ см и получаем точку C (центр тяжести всего сечения). Через точку C проводим центральные оси z_C, y_C .

Проверка:

$$S_{z_C} = A_1 a_1 + A_2 a_2 = 30 \cdot 4,615 + 48 \cdot (-2,885) = 138,45 - 138,48 = -0,03 \approx 0;$$

$$S_{y_C} = A_1 b_1 + A_2 b_2 = 30 \cdot 0 + 48 \cdot 0 = 0.$$

где a_i – расстояние между точками C и C_i вдоль оси y ; b_i – расстояние между точками C и C_i вдоль оси z .

$$a_1 = y_1 - y_C = 13,5 - 8,885 = 4,615 \text{ см};$$

$$a_2 = y_2 - y_C = 6 - 8,885 = -2,885 \text{ см}.$$

Так как оси y_1, y_2, y_C совпадают, то $b_1 = b_2 = 0$.

Определим значения моментов инерции сечения относительно центральных осей по формулам (4.8):

$$I_{z_C} = \sum_{i=1}^2 (I_{z_i} + a_i^2 A_i); \quad I_{y_C} = \sum_{i=1}^2 (I_{y_i} + b_i^2 A_i).$$

Определим моменты инерции 1 и 2 фигуры согласно формул прил. 3:

$$I_{z_1} = \frac{b_1 h_1^3}{12} = \frac{10 \cdot 3^3}{12} = 22,5 \text{ см}^4; \quad I_{y_1} = \frac{b_1^3 h_1}{12} = \frac{10^3 \cdot 3}{12} = 250 \text{ см}^4;$$

$$I_{z_2} = \frac{b_2 h_2^3}{12} = \frac{4 \cdot 12^3}{12} = 576 \text{ см}^4; \quad I_{y_2} = \frac{b_2^3 h_2}{12} = \frac{4^3 \cdot 12}{12} = 64 \text{ см}^4;$$

$$I_{z_C} = (22,5 + 4,615^2 \cdot 30) + (576 + (-2,885)^2 \cdot 48) = 661,447 + 975,515 = 1636,96 \text{ см}^4;$$

$$I_{y_C} = (250 + 30 \cdot 0^2) + (64 + 48 \cdot 0^2) = 250 + 64 = 314 \text{ см}^4.$$

$$i_z^2 = \frac{I_z}{A} = \frac{1636,96}{78} = 21 \text{ см}^2;$$

$$i_y^2 = \frac{I_y}{A} = \frac{314}{78} = 4,026 \text{ см}^2.$$

2. Определим положение нулевой линии. С этой целью определим длину отрезков, отсекаемых нулевой линией на центральных осях инерции z_C, y_C , по формулам (6.3):

$$z_{н.л} = -\frac{i_y^2}{z_F}; \quad y_{н.л} = -\frac{i_z^2}{y_F},$$

где z_F, y_F – координаты точки приложения сжимающей силы, вычисленные относительно центральных осей, взятые со своими знаками.

$$y_F = 12 - y_C = 12 - 8,885 = 3,115 \text{ см};$$

$$z_F = \frac{10}{2} = 5 \text{ см};$$

$$z_{н.л} = -\frac{4,026}{5} = -0,805 \text{ см}; \quad y_{н.л} = -\frac{21}{3,115} = -6,741 \text{ см}.$$

Величины $z_{н.л}, y_{н.л}$ откладываем на осях z_C, y_C . Линия, проведенная через полученные точки, является нулевой (рис. 6.7).

3. Определим наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в поперечном сечении. Для этого найдем опасные точки, которые наиболее удалены от нулевой линии: $G(5; 6,115); D(-5; 3,115)$.

Нормальные напряжения в точках G и D вычисляются по формуле (6.2).

Напряжение в точке D :

$$\begin{aligned} \sigma_D &= -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{y_F y_D}{i_z^2} + \frac{z_F z_D}{i_y^2} \right) = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{3,115 \cdot 10^{-2} \cdot 3,115 \cdot 10^{-2}}{21 \cdot 10^{-4}} + \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot (-5) \cdot 10^{-2}}{4,026 \cdot 10^{-4}} \right) = \\ &= -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{9,703}{21} - \frac{25}{4,026} \right) = -\frac{F}{A} (1 + 0,462 - 6,21) = 4,75 \frac{F}{A}. \end{aligned}$$

Напряжение в точке G:

$$\sigma_G = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{y_F y_G}{I_x^2} + \frac{z_F z_G}{I_y^2} \right) = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{3,115 \cdot 10^{-2} \cdot 6,115 \cdot 10^{-2}}{21 \cdot 10^{-4}} + \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{4,026 \cdot 10^{-4}} \right) =$$

$$= -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{19,05}{21} + \frac{25}{4,026} \right) = -\frac{F}{A} (1 + 0,907 + 6,21) = -8,117 \frac{F}{A}$$

По полученным значениям строим эпюру нормальных напряжений. Для этого проводим касательные к сечению параллельно нейтральной линии через опасные точки. Восстанавливаем перпендикулярно нейтральной линии базис и откладываем положительные значения напряжений выше базиса, отрицательные – ниже (рис. 6.7).

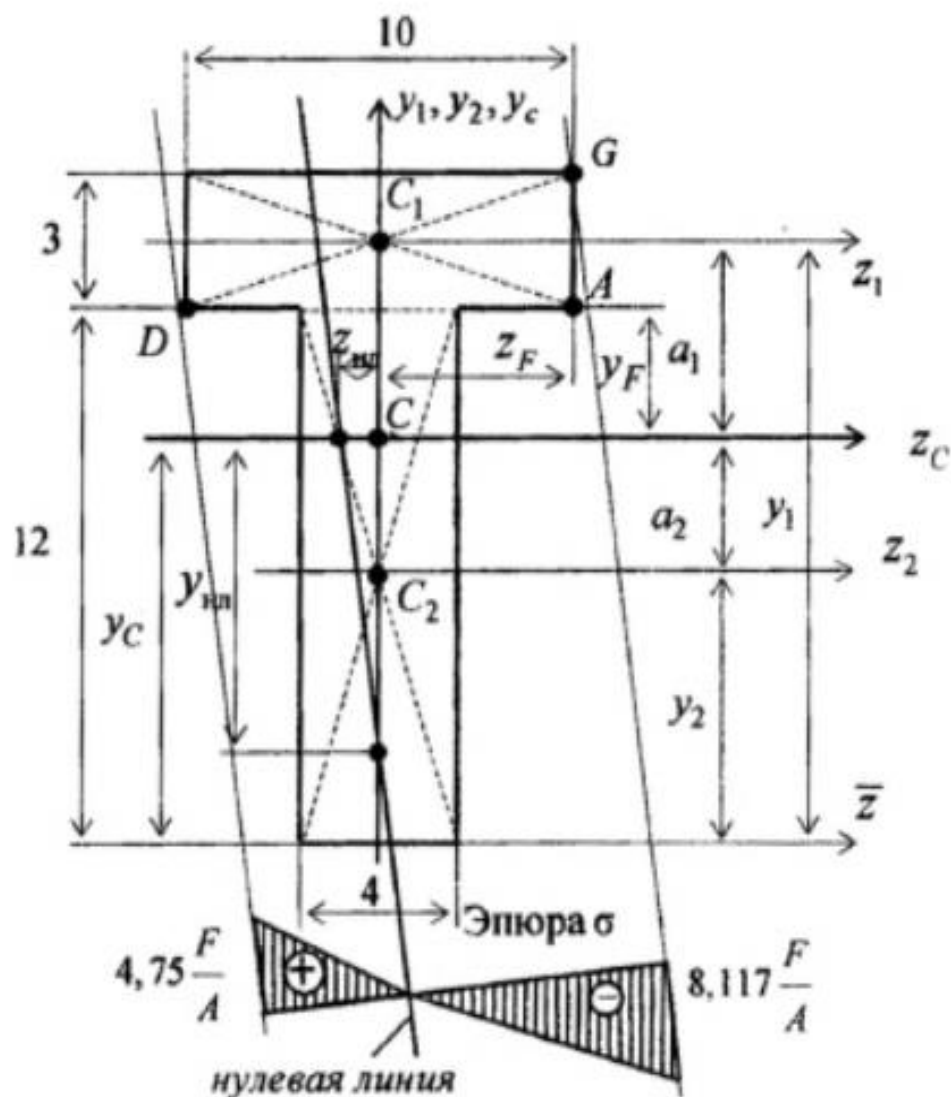


Рис. 6.7

4. Определим допускаемую нагрузку из условия прочности (6.4) при внецентренном растяжении (сжатии):

$$\sigma = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{y_F y_l}{i_z^2} + \frac{z_F z_l}{i_y^2} \right) \leq \sigma_{\text{adm}};$$

а) из условия прочности на сжатие:

$$\sigma_G = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{y_F y_G}{i_z^2} + \frac{z_F z_G}{i_y^2} \right) \leq \sigma_{\text{adm}}^{\text{сж}}; \Rightarrow$$

$$F_{\text{adm}} \leq \frac{\sigma_{\text{adm}}^{\text{сж}} \cdot A}{1 + \frac{y_F y_G}{i_z^2} + \frac{z_F z_G}{i_y^2}};$$

$$|F_{\text{adm}}^{\text{сж}}| \leq \frac{20 \cdot 10^6 \cdot 0,0078}{\left(1 + \frac{3,115 \cdot 10^{-2} \cdot 6,115 \cdot 10^{-2}}{21 \cdot 10^{-4}} + \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{4,026 \cdot 10^{-4}} \right)} = \frac{936000}{(1 + 0,91 + 6,21)} =$$

= 115,3 кН.

б) из условия прочности на растяжение:

$$\sigma_D = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{y_F y_D}{i_z^2} + \frac{z_F z_D}{i_y^2} \right) \leq \sigma_{\text{adm}}^{\text{раст}};$$

$$F_{\text{adm}} \leq \frac{\sigma_{\text{adm}}^{\text{раст}} \cdot A}{\left(1 + \frac{y_F y_D}{i_z^2} + \frac{z_F z_D}{i_y^2} \right)};$$

$$|F_{\text{adm}}^{\text{раст}}| \leq \frac{25 \cdot 10^6 \cdot 0,0078}{\left(1 + \frac{3,115 \cdot 10^{-2} \cdot 3,115 \cdot 10^{-2}}{21 \cdot 10^{-4}} + \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot (-5) \cdot 10^{-2}}{4,026 \cdot 10^{-4}} \right)} =$$

$$= \frac{195000}{(1 + 0,462 - 6,21)} = 41,07 \text{ кН.}$$

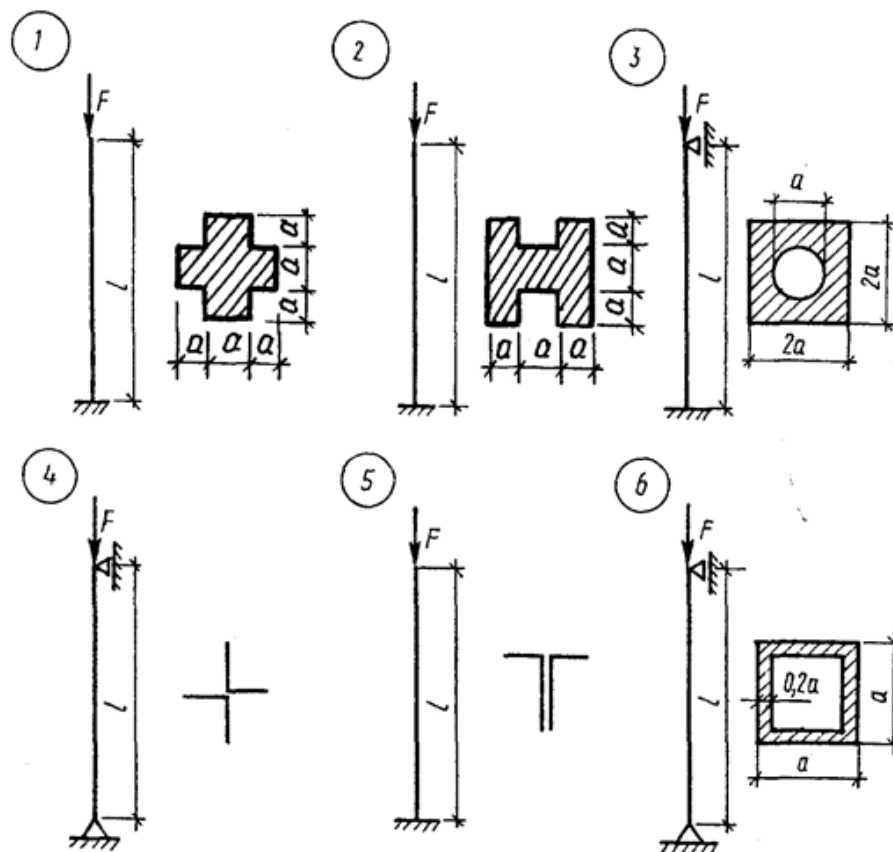
ОС-3.3 ТЕМА 5. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Исходные данные:

Стальной стержень длиной l сжимается осевой нагрузкой F . Допускаемое напряжение материала $\sigma_{adm} = 160 \text{ МПа}$.

Требуется:

1. подобрать размеры поперечного сечения стойки из условия устойчивости, пользуясь таблицей коэффициентов продольного изгиба φ ;
2. определить критическую силу для заданного стержня и найти запас устойчивости как отношение критической силы к заданной. Считать условия закрепления концов стержня во всех направлениях одинаковыми. В связи с этим учитывать возможность потери устойчивости в плоскости, где радиус инерции сечения наименьший.



Номер варианта	F , кН	l , м	Номер варианта	F , кН	l , м
1	160	3,0	16	144	2,8
2	216	3,0	17	110	2,6
3	176	3,0	18	220	2,4
4	124	3,0	19	280	3,0
5	110	2,5	20	140	2,5
6	210	3,0	21	110	3,0
7	172	2,8	22	160	3,0
8	140	3,0	23	170	3,0
9	100	2,5	24	190	3,0
10	200	3,0	25	100	3,0
11	186	3,0	26	120	2,5
12	150	2,2	27	164	2,6
13	180	3,0	28	195	3,0
14	224	2,5	29	120	2,8
15	282	3,0	30	130	3,0

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ОС-3.3
ТЕМА 5. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Стальной стержень длиной $l = 2,5\text{ м}$ сжимается силой $F = 400\text{ кН}$ (рис. 7.2).

Требуется:

1. Найти размеры поперечного сечения при допуске напряжении на простое сжатие $\sigma_{adm} = 160\text{ МПа}$ (расчет производить последовательными приближениями).

2. Найти критическую силу.

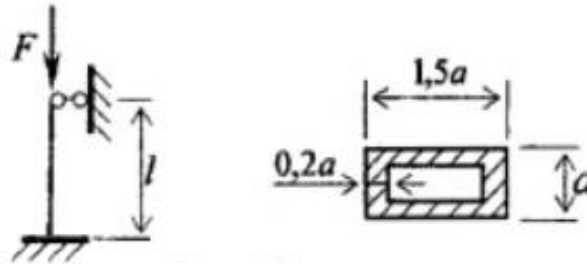


Рис. 7.2

Решение:

Условие устойчивости имеет вид: $\sigma = \frac{F}{A} \leq \varphi \cdot \sigma_{adm}$,
где φ – коэффициент продольного изгиба, зависящий от материала и гибкости λ , где $\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{min}}$, определяемый по табл.1.1 (прил.1).

Из условия устойчивости можно определить площадь: $A \geq \frac{F}{\varphi \cdot \sigma_{adm}}$.

Задаваясь значением φ , методом последовательных приближений можно определить размеры поперечного сечения.

1. Определим геометрические характеристики сечения:

а) площадь поперечного сечения:

$$A = 1,5a \cdot a - (1,5a - 0,4a) \cdot (a - 0,4a) = 1,5a^2 - 1,1a \cdot 0,6a = 0,84a^2;$$

б) минимальный момент инерции:

$$I_z = \frac{b_1 h_1^3}{12} - \frac{b_2 h_2^3}{12} = \frac{1,5a \cdot a^3}{12} - \frac{1,1a \cdot (0,6a)^3}{12} = 0,105a^4,$$

$$I_y = \frac{h_1 b_1^3}{12} - \frac{h_2 b_2^3}{12} = \frac{a(1,5a)^3}{12} - \frac{0,6a \cdot (1,1a)^3}{12} = 0,215a^4,$$

$I_z < I_y$, в расчет вводим $I_z = I_{min}$;

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{0,105a^4}{0,84a^2}} = 0,354a.$$

Определим размеры поперечного сечения методом приближений:

I приближение: задаем $\varphi = 0,5$, тогда

$$A_1 = \frac{400 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 50 \text{ см}^2;$$

$$a_1 = \sqrt{\frac{A_1}{0,84}} = \sqrt{\frac{50}{0,84}} = 7,72 \text{ см};$$

$$i_{\min} = 0,354 \cdot 7,72 = 2,73 \text{ см};$$

$$\lambda_1 = \frac{0,7 \cdot 250}{2,73} = 64,1.$$

Определяем φ_1 методом линейной интерполяции табл. 1.1 (прил. I): при $\lambda = 60$, $\varphi = 0,82$; при $\lambda = 70$,

$$\varphi = 0,77, \varphi_1' = 0,82 - \frac{0,82 - 0,77}{10} \cdot 4,1 = 0,7995.$$

II приближение:

$$\varphi_2 = \frac{0,7995 + 0,5}{2} = 0,65;$$

$$A_2 = \frac{400 \cdot 10^3}{0,65 \cdot 160 \cdot 10^6} = 3,846 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 38,46 \text{ см}^2;$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{38,46}{0,84}} = 6,77 \text{ см};$$

$$i_{\min} = 0,354 \cdot 6,77 = 2,397 \text{ см};$$

$$\lambda_2 = \frac{0,7 \cdot 250}{2,397} = 73,008;$$

при $\lambda = 70$, $\varphi = 0,77$; при $\lambda = 80$, $\varphi = 0,715$.

$$\varphi'_2 = 0,77 - \frac{0,77 - 0,715}{10} 3,008 = 0,753;$$

$$\sigma_2 = \frac{400 \cdot 10^3}{0,753 \cdot 3,846 \cdot 10^{-3}} = 138,12 \text{ МПа}.$$

III приближение:

$$\varphi_3 = \frac{0,65 + 0,753}{2} = 0,702;$$

$$A_3 = \frac{400 \cdot 10^3}{0,702 \cdot 160 \cdot 10^6} = 3,561 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 35,61 \text{ см}^2;$$

$$a_3 = \sqrt{\frac{35,61}{0,84}} = 6,51 \text{ см};$$

$$i_{\min} = 0,354 \cdot 6,51 = 2,305 \text{ см};$$

$$\lambda_3 = \frac{0,7 \cdot 250}{2,305} = 75,92;$$

при $\lambda = 70$, $\varphi = 0,77$; при $\lambda = 80$, $\varphi = 0,715$.

$$\varphi'_3 = 0,77 - \frac{0,77 - 0,715}{10} 5,92 = 0,737;$$

$$\sigma_3 = \frac{400 \cdot 10^3}{0,737 \cdot 3,561 \cdot 10^{-3}} = 152,415 \text{ МПа};$$

$$\delta = \frac{160 - 152,415}{160} \cdot 100 \% = 4,74 \% > 3 \%.$$

IV приближение:

$$\varphi_4 = \frac{0,702 + 0,737}{2} = 0,7195;$$

$$A_4 = \frac{400 \cdot 10^3}{0,7195 \cdot 160 \cdot 10^6} = 3,475 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 34,75 \text{ см}^2;$$

$$a_4 = \sqrt{\frac{34,75}{0,84}} = 6,432 \text{ см};$$

$$i_{\min} = 0,354 \cdot 6,432 = 2,277 \text{ см};$$

$$\lambda_4 = \frac{0,7 \cdot 250}{2,277} = 76,856;$$

при $\lambda = 70$, $\varphi = 0,77$; при $\lambda = 80$, $\varphi = 0,715$.

$$\varphi'_4 = 0,77 - \frac{0,77 - 0,715}{10} 6,856 = 0,7324;$$

$$\sigma_4 = \frac{400 \cdot 10^3}{0,732 \cdot 3,475 \cdot 10^{-3}} = 157,25 \text{ МПа};$$

$$\delta = \frac{160 - 157,25}{160} 100 = 1,72 < 3 \text{ \%}.$$

2. Определим значение критической силы по формуле Эйлера:

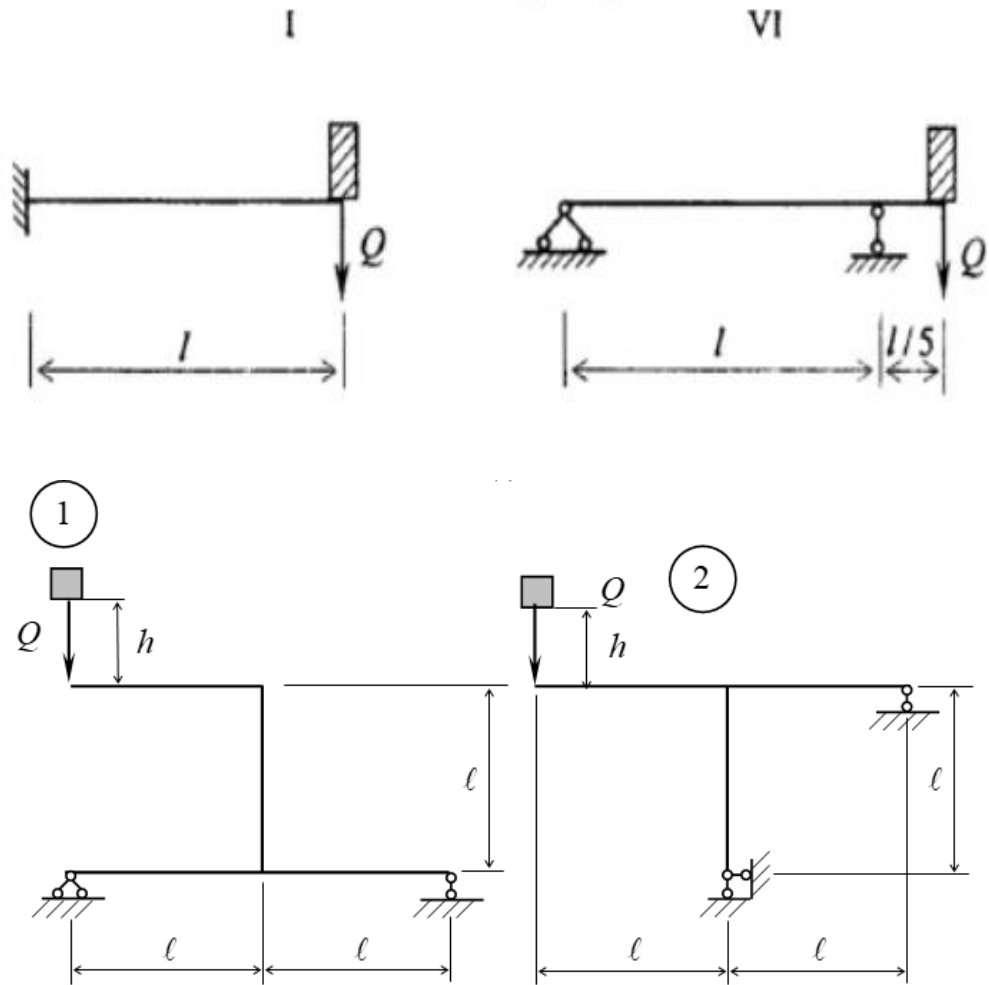
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 179,71 \cdot 10^{-8}}{(0,7 \cdot 2,5)^2} = 1446,4 \cdot 10^3 \text{ Н} = 1446,4 \text{ кН},$$

где $I_{\min} = 0,105 \cdot (6,432)^4 = 179,71 \text{ см}^4$.

3. Определим значение коэффициента запаса устойчивости:

$$n = \frac{F_{cr}}{F} = \frac{1446,4}{400} = 3,62.$$

ОС-3.4 ТЕМА 6. УДАР



Номер задания	$Q, Н$	$h, см$	$l, м$	Номер двугра
1	2	3	4	5
1	500	6	0,6	27
2	450	4	0,7	24а
3	600	7	0,8	24
4	650	6,2	0,9	22а
5	700	5	1,0	22
6	740	6	1,1	20а
7	600	4	1,2	20
8	400	4,6	1,3	18а
9	460	4,2	1,4	18

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ОС-3.4
ТЕМА 6. УДАР

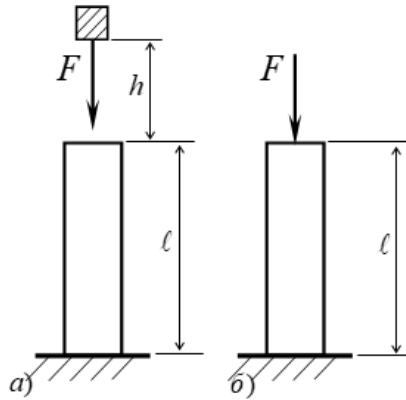


Рис. 10.2

Рассмотрим несколько примеров ударного действия нагрузки:

1. Продольный удар:

Определить σ_D^{\max} , δ_D , в стальном стержне, площадь поперечного сечения которого A при падении на него груза F с высоты h (рис. 10.2,а).

При статическом приложении силы F к стержню (рис. 10.2, б) в

нем возникают напряжения $\sigma = -\frac{F}{A}$, при этом укорочение стерж-

ня $\Delta l = \delta_{cm} = -\frac{F\ell}{EA}$, где знак минус указывает на укорочение стержня. Для определения k_D знак упускаем.

Динамический коэффициент $k_D = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h \cdot EA}{F\ell}}$, тогда

$$\sigma_D^{\max} = -\frac{F}{A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h \cdot EA}{F\ell}} \right).$$

$$\delta_D = -\frac{F\ell}{EA} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h \cdot EA}{F\ell}} \right).$$

2. Изгибающий удар

На балку (I №10) с высоты h падает груз F (рис. 10.3, а).

Определить δ_D ; σ_D^{\max} . Для определения σ_{cm} необходимо рассмотреть заданную балку, к которой приложена статически сила F (рис. 10.3, б) и построить эпюру моментов от этой силы – эпюру M тогда

$$\sigma_{cm} = \frac{M_{cm}^{\max}}{W_z} = \frac{F\ell}{4W_z}.$$

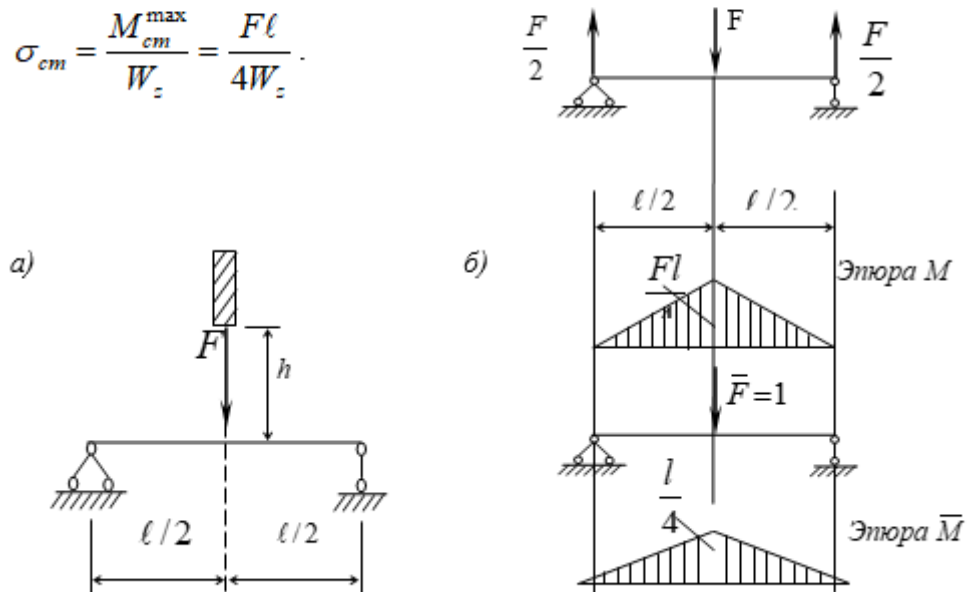


Рис. 10.3

Для определения прогиба в месте удара по правилу Верещагина необходимо построить эпюру моментов от силы $\bar{F} = 1$, приложенной в месте удара:

$$\delta_{cm} = y = \frac{1}{EJ_z} \sum \omega_i y_i = \frac{1}{EJ_z} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{Fl}{4} \cdot \frac{\ell}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\ell}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{Fl}{4} \cdot \frac{\ell}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\ell}{4} \right) = \frac{Fl^3}{48EJ_z}$$

Определить динамический коэффициент:

$$k_D = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h \cdot 48EJ_z}{Fl^3}}, \text{ тогда}$$

$$\sigma_D = \frac{Fl}{4W_z} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h \cdot 48EJ_z}{Fl^3}} \right),$$

$$\delta_D = \frac{Fl^3}{48EJ_z} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h \cdot 48EJ_z}{Fl^3}} \right).$$

Пример 10

Исходные данные:

На раму ($l = 3,4\text{ м}$) с высоты $h = 7\text{ см}$ падает груз $Q = 600\text{ кН}$ (рис.10.4). Поперечное сечение рамы – двутавр №24 с $W_x = 289\text{ см}^3$. Материал рамы – сталь с допускаемым напряжением $\sigma_{adm} = 210\text{ МПа}$.

Требуется:

1. определить значения максимальных динамических напряжений в элементах системы;
2. определить динамическое перемещение точки приложения груза;
3. дать закл~~ю~~чение о прочности системы.

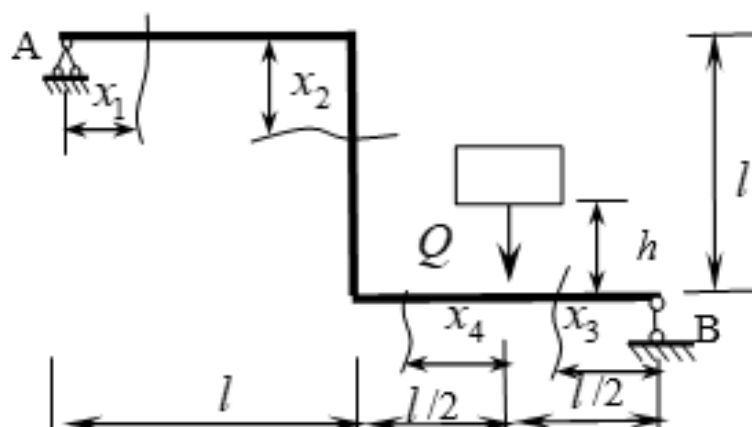


Рис. 10.4

Решение:

1. Строим эпюры изгибающих моментов от статического действия нагрузки и единичной силы, приложенной в месте удара (рис. 10.5).

Для этого определим опорные реакции:

а) для грузовой эпюры:

$$\sum F_x = 0; H_A = 0;$$

$$\sum M_A = -Q \cdot \left(l + \frac{l}{2} \right) + R_B \cdot 2 \cdot l = 0 \Rightarrow$$

$$R_B = \frac{Q \cdot 1,5 \cdot l}{2 \cdot l} = 450H;$$

$$\sum M_B = Q \cdot \frac{l}{2} - R_A \cdot 2 \cdot l = 0 \Rightarrow$$

$$R_A = \frac{Q \cdot 0,5 \cdot l}{2 \cdot l} = 150H;$$

б) для единичной эпюры: уравнения те же, но $Q=1$, тогда

$$R_B = \frac{1 \cdot 1,5}{2} = 0,75H; R_A = \frac{0,5 \cdot Q}{2} = 0,25H;$$

Участок 1 $0 \leq x_1 \leq 3,4м$

$$M_1 = R_A \cdot x_1 \begin{cases} x_1 = 3,4м; & M_1 = 150 \cdot 3,4 = 510кНм; \\ x = 0; & M_1 = 0. \end{cases}$$

Участок 2 $0 \leq x_2 \leq 3,4м$

$$M_2 = R_A \cdot 3,4 = 150 \cdot 3,4 = 510кНм;$$

Участок 3 $0 \leq x_3 \leq 1,7м$

$$M_3 = R_B \cdot x_3 \begin{cases} x_3 = 1,7м; & M_3 = 450 \cdot 1,7 = 765кНм; \\ x_3 = 0; & M_3 = 0. \end{cases}$$

Участок 4 $0 \leq x_4 \leq 1,7 \text{ м}$

$$M_4 = R_B \cdot (1,7 + x_4) - Q \cdot x_4$$

$$\begin{cases} x_4 = 1,7 \text{ м}; & M_4 = 450 \cdot 3,4 - 600 \cdot 1,7 = 510 \text{ кНм}; \\ & x_4 = 0; & M_4 = 0. \end{cases}$$

Значения на эпюре изгибающих моментов указанные в скобках для случая приложения единичной нагрузки.

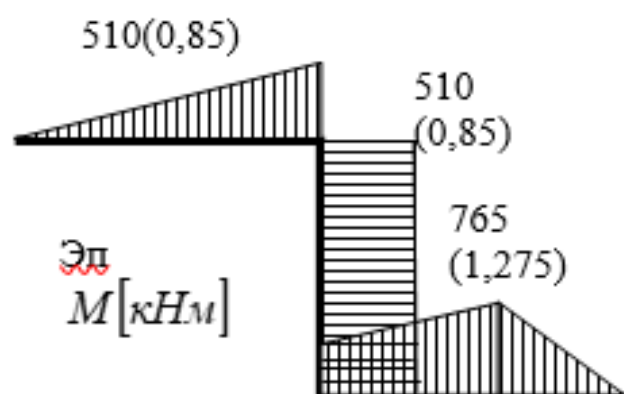


Рис. 10.5

Определим напряжения при статическом действии нагрузки:

$$\sigma_{стат} = \frac{M_{max}}{W_z} = \frac{765}{289 \cdot 10^{-6}} = 2,64 \text{ МПа};$$

Определим перемещения в месте удара при статическом действии нагрузки по правилу Верещагина:

$$\begin{aligned} \delta_{стат} &= \frac{1}{EI} \frac{3,4}{6} (2 \cdot 510 \cdot 0,85) + \frac{510 \cdot 3,14 \cdot 0,85}{EI} + \\ &+ \frac{1}{EI} \frac{1,7}{6} (2 \cdot 510 \cdot 0,85 + 2 \cdot 765 \cdot 1,275 + 510 \cdot 1,275 + 765 \cdot 0,85) + \\ &+ \frac{1}{EI} \frac{1,7}{6} (2 \cdot 765 \cdot 1,275) = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \end{aligned}$$

Определим динамический коэффициент:

$$k_{дин} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\sigma_{стат}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,07}{0,5 \cdot 10^{-3}}} = 17,76$$

Определим динамическое напряжение:

$$\sigma_{дин} = \sigma_{стат} \cdot k_{дин} = 2,64 \cdot 17,76 = 46,89 \text{ МПа} < \sigma_{adm} = 210 \text{ МПа}.$$

б. Определим динамический прогиб:

$$\delta_{дин} = \delta_{стат} \cdot k_{дин} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 17,76 = 0,0088 \text{ м}$$

Критерии оценки экзаменационных ответов

«ОТЛИЧНО» выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание ответа соответствует вопросу.
2. Ответ четко структурирован и выстроен в определенной логике.
3. Продемонстрировано знание материала, отсутствуют фактические ошибки.
4. Показано умелое использование категорий и терминов.
5. Видно умелое владение материалом, изложение сопровождается адекватными примерами и иллюстрациями.

«ХОРОШО» выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание ответа соответствует вопросу.
2. Ответ в достаточной степени структурирован и выстроен в определенной логике без нарушения смысла.
3. Продемонстрировано знание материала, отсутствуют фактические ошибки.
4. Показано умелое использование категорий и терминов.
5. Видно достаточное владение материалом, изложение отчасти сопровождается адекватными примерами и иллюстрациями.

«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание ответа в целом соответствует вопросу.
2. Ответ плохо структурирован, нарушена заданная логика.
3. Продемонстрировано достаточное знание материала, имеются фактические ошибки.
4. Ошибки в использовании категорий и терминов.

«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется обучающемуся, если:

1. Ответ представляет собой текст без структурирования, части ответа не взаимосвязаны.
2. Продемонстрировано крайне слабое знание материала, имеются фактические ошибки.

Соответствие оценок в баллах и стандартных оценок, выставляемых обучающимся за экзамен:

Оценка (стандартная)	Оценка в баллах
«Отлично»	84-100
«Хорошо»	67-83
«Удовлетворительно»	50-66
«Неудовлетворительно»	0-49

ПРОЦЕДУРА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ


Сдача зачета проходит за неделю до экзаменационной сессии по вопросам к зачету (ОС-1) в 3 семестре. Сдача экзамена производится в экзаменационную сессию по билетам, сформированным из перечня вопросов к экзамену (ОС-2) и типовых ситуационных задач ОС-3. Один билет содержит 2 теоретических вопроса и 1 задачу.

На зачет и экзамен допускаются студенты после успешной сдачи практических работ.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических возможностей (подбираются индивидуально в зависимости от возможностей здоровья студента):

Категории студентов	Виды оценочных средств	Форма контроля и оценки результатов обучения
С нарушением слуха	Контрольные вопросы для экзамена и задача	Преимущественно письменная проверка
С нарушением зрения	Контрольные вопросы для экзамена и задача (в ограниченном объеме)	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушением опорно-двигательного аппарата	Контрольные вопросы для экзамена и задача	Письменная проверка

Разработчик:

 / Е. В. Логинова/