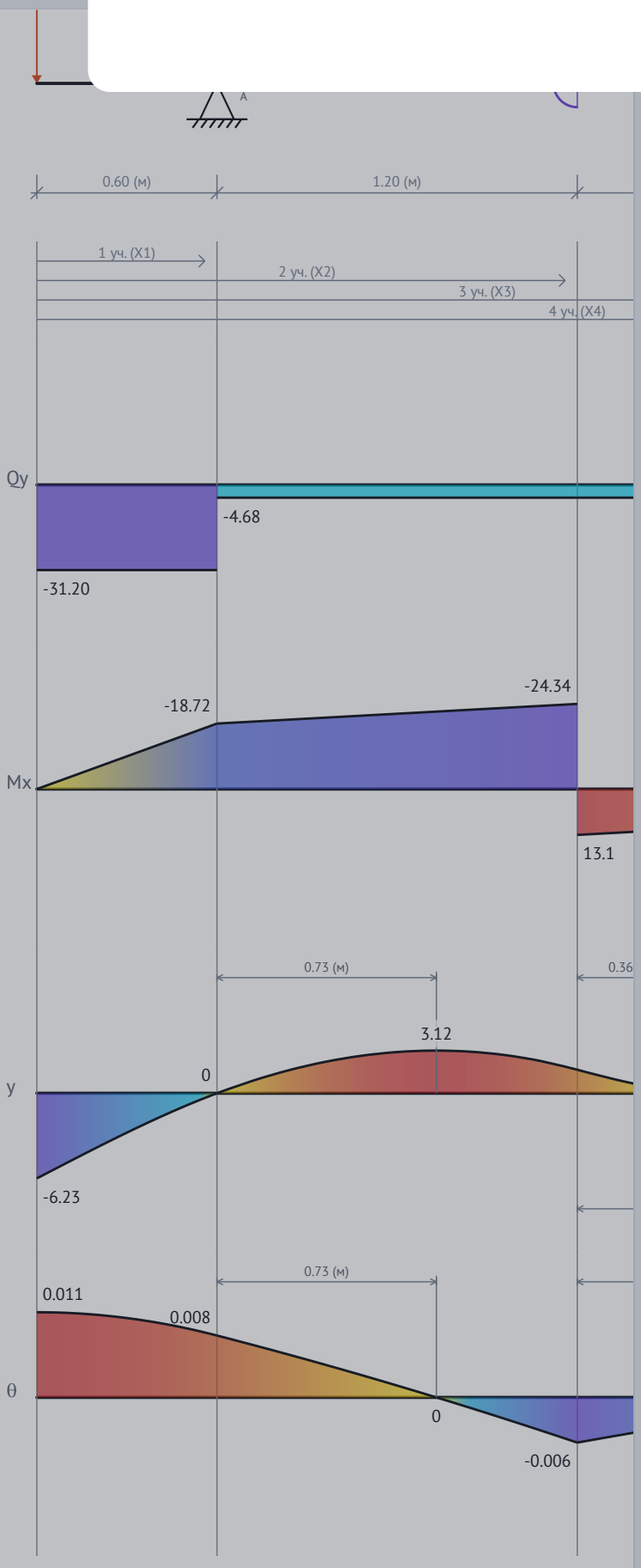
Эпюры Mx Qy Nx u θ 3D NEW

Редактировать сх

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

Закрыть



ицирован (FEM)
оверка МКЭ пройдена
кН·м Q -31.20 кН
угол 0.011 рад

M MIN	Q MIN	y MAX
−24.34 кН·м	−31.20 кН	−6.23 мм
при x = 1.80 м	при x = 0–0.60 м	при x = 0 м

✓ Прочность
Использование: 91%
σэкв 223.1 ≤ 245 МПа
ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ

✓ Жесткость
Использование: 62%
f 6.2 ≤ 10 мм

РЕАКЦИИ ОПОР

R_A	26.52 кН	вертикальная реакция, опора A (x = 0.60 м)
R_B	20.28 кН	вертикальная реакция, опора B (x = 3.60 м)

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Q_{max}	−4.68 кН	при x = 0.60–3 м
Q_{min}	−31.20 кН	при x = 0–0.60 м
M_{max}	13.10 кН·м	при x = 1.80 м
M_{min}	−24.34 кН·м	при x = 1.80 м

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

w_{max}	−6.23 мм	при x = 0 м
θ_{max}	0.011 рад	при x = 0 м

ПОДБОР СЕЧЕНИЯ

Сечение	Двутавр 16	ГОСТ 8239-89 (Двутавры стальные горячекатанные. Сортамент)
A	20.23 см²	
W_x	109.08 см³	
I_x	872.64 см⁴	
W_y	14.49 см³	
I_y	58.67 см⁴	
По нормальным напряжениям	223.14 МПа ≤ 245 МПа	Выполнено
По касательным напряжениям	44.54 МПа ≤ 141 МПа	Выполнено
По 3-й теории прочности	223.14 МПа ≤ 245 МПа	Выполнено

Сечение подобрано
Коэффициент использования: 0.911

ПРОВЕРКА ПРОГИБА

f_{max}	6.20 мм	пролет L = 3,0 м
[f]	10 мм	L/300 · СП 16.13330.2017 (СП 20.13330.2017, табл. Д.1)
Использование	62 %	Балки перекрытий (общий случай) · Полная (D+L)

Выполнено
f ≤ [f]: 6.2 ≤ 10,0 мм

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

01 Общие сведе

Расчетная схема
Пролет между оп

В точке A (x = 0.6 м) установлена неподвижная шарнирная опора, воспринимаю
(x = 3.6 м) установлена подвижная (катковая) опора, воспринимающая только по

К балке приложены следующие нагрузки:

— сосредоточенная вертикальная сила P_1 = 31.2 кН;

— сосредоточенный момент M_1 = 37.44 кН·м;

— равномерно распределенная нагрузка q_1 = 26 кН/м.

Расчет выполняется в следующем объеме:

— определение реакций опор из уравнений статического равновесия;

— построение эпюры поперечных сил Q(x) методом сечений;

— построение эпюры изгибающих моментов M(x) методом сечений;

— определение прогибов y(x) и углов поворота θ(x) поперечных сечений методом

— численная проверка результатов методом трапеций (N = 400);

— подбор оптимального поперечного сечения балки.

**Каждый раздел сопровождается подробными пошаговыми выкладк
формулами и подстановками, а не только итоговые значения.**

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

02 Результаты

ПАРАМЕТР		
РЕАКЦИИ ОПОР		
R_A	**26.52** кН	вертикальная
R_B	**20.28** кН	вертикальная
ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ		
Q_{max}	**-4.68** кН	при x = 0.60–3
Q_{min}	**-31.20** кН	при x = 0–0.6
M_{max}	**13.10** кН·м	при x = 1.80 м
M_{min}	**-24.34** кН·м	при x = 1.80 м
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ		
w_{max}	-6.2326 мм	при x = 0 м
θ_{max}	0.0114 рад	при x = 0 м
ПОДБОР СЕЧЕНИЯ		
Сечение	Двутавр 16	ГОСТ 8239-89
A	**20.23** $см^2$	
W_x	**109.08** $см^3$	
I_x	**872.64** $см^4$	
W_y	**14.49** $см^3$	
I_y	**58.67** $см^4$	
По нормальным напряжениям	223.14 МПа ≤ 245 МПа	✓ Выполне
По касательным напряжениям	44.54 МПа ≤ 141 МПа	✓ Выполне
По 3-й теории прочности	223.14 МПа ≤ 245 МПа	✓ Выполне
Результат	✓ Сечение подобрано	Коэффициент
ПРОВЕРКА ПРОГИБА		
f_{max}	6,2 мм	пролет L = 3,0
[f]	10,0 мм	L/300 · СП 16.
Использование	**62** %	Балки перекр
Результат	✓ Выполнено	f ≤ [f]: 6,2 ≤ 10

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

03 Определени

1. **Согласно с**
   рассмотреть равновесие балки:

$$\Sigma P_{ix} = 0: H_A = 0$$

Найдем сумму моментов относительно шарнирно-неподвижной опор

$$\Sigma M_A = 0: P_1 \times 0.6 - M_1 - q_1 \times 0.6 \times (2.4 + 0.6/2) + R_B \times 3 = 0$$

Найдем сумму моментов относительно шарнирно-подвижной опоры в

$$\Sigma M_B = 0: P_1 \times 3.6 - R_A \times 3 - M_1 + q_1 \times 0.6 \times (0.6 - 0.6/2) = 0$$

2. **Вычислим реакцию шарнирно-подвижной опоры в точке B:**

$$R_B = (- P_1 \times 0.6 + M_1 + q_1 \times 0.6 \times (2.4 + 0.6/2)) /3$$
$$= (- 31.20 \times 0.6 + 37.44 + 26 \times 0.6 \times (2.4 + 0.6/2)) /3$$
$$= \mathbf{20.28\ (кН)}$$

3. **Вычислим реакцию шарнирно-неподвижной опоры в точке A:**

$$R_A = (P_1 \times 3.6 - M_1 + q_1 \times 0.6 \times (0.6 - 0.6/2)) /3$$
$$= (31.20 \times 3.6 - 37.44 + 26 \times 0.6 \times (0.6 - 0.6/2)) /3$$
$$= \mathbf{26.52\ (кН)}$$

4. **Решаем полученную систему уравнений, находим неизвестные:**

$$H_A = \mathbf{0\ (кН)}$$

5. **Выполним проверку решения, подставляя найденные значения**
   Oy:

$$\Sigma P_{iy} = 0: - P_1 + R_A - q_1 \times 0.6 + R_B$$
$$= - 31.20 + 26.52 \times 1 - 26 \times 0.6 + 20.28 \times 1$$
$$= 0$$

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

04 Построение

1. **Рассмотри**

Поперечная сила Q:

$$Q(x_1) = -P_1$$

Значения Q на краях участка:

$$Q_1(0) = -31.20 = \mathbf{-31.20\ (кН)}$$

$$Q_1(0.60) = -31.20 = \mathbf{-31.20\ (кН)}$$

Изгибающий момент M:

$$M(x_1) = -P_1 \times (x_1)$$

Значения M на краях участка:

$$M_1(0) = -31.20 \times (0) = \mathbf{0\ (кН·м)}$$

$$M_1(0.60) = -31.20 \times (0.60) = \mathbf{-18.72\ (кН·м)}$$

2. **Рассмотрим второй участок 0.6 ≤ x2 < 1.8**

Поперечная сила Q:

$$Q(x_2) = -P_1 + R_A$$

Значения Q на краях участка:

$$Q_2(0.60) = -31.20 + 26.52 = \mathbf{-4.68\ (кН)}$$

Изгибающий момент M:

$$M(x_2) = -P_1 \times (x_2) + R_A \times (x_2 - 0.6)$$

Значения M на краях участка:

$$M_2(0.60) = -31.20 \times (0.60) + 26.52 \times (0.60 - 0.6) = \mathbf{-18.72\ (кН·м)}$$

$$M_2(1.80) = -31.20 \times (1.80) + 26.52 \times (1.80 - 0.6) = \mathbf{-24.34\ (кН·м)}$$

3. **Рассмотрим третий участок 1.8 ≤ x3 < 3**

Поперечная сила Q:

$$Q(x_3) = -P_1 + R_A$$

Значения Q на краях участка:

$$Q_3(1.80) = -31.20 + 26.52 = \mathbf{-4.68\ (кН)}$$

$$Q_3(3) = -31.20 + 26.52 = \mathbf{-4.68\ (кН)}$$

Изгибающий момент M:

$M(x_3) = -P_1 \times (x_3) + R_A \times (x_3 - 0.6) + M_1$

Значения M на к

$M_3(1.80) = -3$

$M_3(3) = -31.20 \times (3) + 26.52 \times (3 - 0.6) + 37.44 = \mathbf{7.49\ (кН·м)}$

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

4. **Рассмотрим четвертый участок 3 ≤ x4 < 3.6**

Поперечная сила Q:

$Q(x_4) = -P_1 + R_A - q_1 \times (x_4 - 3)$

Значения Q на краях участка:

$Q_4(3) = -31.20 + 26.52 - 26 \times (3 - 3) = \mathbf{-4.68\ (кН)}$

$Q_4(3.60) = -31.20 + 26.52 - 26 \times (3.6 - 3) = \mathbf{-20.28\ (кН)}$

Изгибающий момент M:

$M(x_4) = -P_1 \times (x_4) + R_A \times (x_4 - 0.6) + M_1 - q_1 \times (x_4 - 3)^2/2$

Значения M на краях участка:

$M_4(3) = -31.20 \times (3) + 26.52 \times (3 - 0.6) + 37.44 - 26 \times (3 - 3)^2/2 = \mathbf{7.49\ (кН·м)}$

$M_4(3.60) = -31.20 \times (3.60) + 26.52 \times (3.60 - 0.6) + 37.44 - 26 \times (3.60 - 3)^2/2 =$

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

05 Определени

1. **Для опред**
   балки EI = 1797.04 кН·м².

Дифференциальное уравнение упругой линии:

$$EI \times y''(x) = -M(x)$$

Дважды интегрируя, получаем универсальное уравнение упругой линии:

$$EI \times y(x) = EI \times y_0 + EI \times \theta_0 \times x - \int\int M(x)dx^2$$

2. **Граничные условия и определение начальных параметров:**

Из условий нулевого прогиба над опорами A и B определяем EIw₀ и EI

Условие нулевого прогиба над опорой A:

$$\begin{aligned} EI \times w(x_A) &= EIw_0 + EI\theta_0 \times 0.6 - P_1 \times (z-0)^3/6 \\ &= EIw_0 + EI\theta_0 \times 0.6 - 31.2 \times (0.6-0)^3/6 \\ &= EIw_0 + 0.6 \times EI\theta_0 - 1.12 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Условие нулевого прогиба над опорой B:

$$\begin{aligned} EI \times w(x_B) &= EIw_0 + EI\theta_0 \times 3.6 - P_1 \times (z-0)^3/6 + R_A \times (z-0.6)^3/6 + M_1 \times (z-1.8)^2/ \\ &= EIw_0 + EI\theta_0 \times 3.6 - 31.2 \times (3.6-0)^3/6 + 26.52 \times (3.6-0.6)^3/6 + 37.4 \\ &= EIw_0 + 3.6 \times EI\theta_0 - 62.76 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{EI\theta_o} = 20.55\ (кН{\cdot}м^2);\quad EIw_0 = \mathbf{-11.2\ (кН{\cdot}м^3)}$$

3. **Построение эпюр углов поворота и прогибов по участкам:**

Участок I $0 \le z \le 0.6$

Угол поворота сечения θ:

$$\begin{aligned} EI\theta^I(z) &= EI\theta_0 - P_1 \times (z-0)^2/2 \\ &= 20.55 - 31.2 \times (z-0)^2/2 \\ &= -15.6 \times z^2 + 20.55; \end{aligned}$$

Значения EIθ на краях отрезка:

$$EI\theta^I(0) = -15.6 \times 0^2 + 20.55 = \mathbf{20.55\ (кН{\cdot}м^2);}$$

$$EI\theta^I(0.6) = -15.6 \times 0.6^2 + 20.55 = \mathbf{14.93\ (кН{\cdot}м^2);}$$

Прогиб w:

$$\begin{aligned} EIw^I(z) &= EIw_0 + EI\theta_0 \times z - P_1 \times (z-0)^3/6 \\ &= -11.2 + 20.55 \times z - 31.2 \times (z-0)^3/6 \\ &= -5.2 \times z^3 + 20.55 \times z - 11.2; \end{aligned}$$

Значения EIw на краях отрезка:

$EIw^{I}(0)$ = -

$EIw^{I}(0.6)$ =

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

Участок II $0.6 \le z \le 1.8$

Угол поворота сечения θ:

$$EI\theta^{II}(z) = EI\theta_0 - P_1 \times (z-0)^2/2 + R_A \times (z-0.6)^2/2$$
$$= 20.55 - 31.2 \times (z-0)^2/2 + 26.52 \times (z-0.6)^2/2$$
$$= -2.34 \times z^2 - 15.91 \times z + 25.32;$$

Значения EIθ на краях отрезка:

$EI\theta^{II}(0.6) = -2.34 \times 0.6^2 - 15.91 \times 0.6 + 25.32 =$ **14.93 (кН·м²);**

$EI\theta^{II}(1.8) = -2.34 \times 1.8^2 - 15.91 \times 1.8 + 25.32 =$ **-10.9 (кН·м²);**

Прогиб w:

$$EIw^{II}(z) = EIw_0 + EI\theta_0 \times z - P_1 \times (z-0)^3/6 + R_A \times (z-0.6)^3/6$$
$$= -11.2 + 20.55 \times z - 31.2 \times (z-0)^3/6 + 26.52 \times (z-0.6)^3/6$$
$$= -0.78 \times z^3 - 7.96 \times z^2 + 25.32 \times z - 12.16;$$

Значения EIw на краях отрезка:

$EIw^{II}(0.6) = -0.78 \times 0.6^3 - 7.96 \times 0.6^2 + 25.32 \times 0.6 - 12.16 =$ **0 (кН·м³);**

$EIw^{II}(1.8) = -0.78 \times 1.8^3 - 7.96 \times 1.8^2 + 25.32 \times 1.8 - 12.16 =$ **3.09 (кН·м³);**

Локальный экстремум в точке z = 1.33:

$EIw^{II}(1.33) = -0.78 \times 1.33^3 - 7.96 \times 1.33^2 + 25.32 \times 1.33 - 12.16 =$ **5.61 (кН·м**

Участок III $1.8 \le z \le 3$

Угол поворота сечения θ:

$$EI\theta^{III}(z) = EI\theta_0 - P_1 \times (z-0)^2/2 + R_A \times (z-0.6)^2/2 + M_1 \times (z-1.8)$$
$$= 20.55 - 31.2 \times (z-0)^2/2 + 26.52 \times (z-0.6)^2/2 + 37.44 \times (z-1.8)$$
$$= -2.34 \times z^2 + 21.53 \times z - 42.07;$$

Значения EIθ на краях отрезка:

$EI\theta^{III}(1.8) = -2.34 \times 1.8^2 + 21.53 \times 1.8 - 42.07 =$ **-10.9 (кН·м²);**

$EI\theta^{III}(3) = -2.34 \times 3^2 + 21.53 \times 3 - 42.07 =$ **1.45 (кН·м²);**

Прогиб w:

$$EIw^{III}(z) = EIw_0 + EI\theta_0 \times z - P_1 \times (z-0)^3/6 + R_A \times (z-0.6)^3/6 + M_1 \times (z-1.8)^2/2$$
$$= -11.2 + 20.55 \times z - 31.2 \times (z-0)^3/6 + 26.52 \times (z-0.6)^3/6 + 37.44 \times (z$$
$$= -0.78 \times z^3 + 10.76 \times z^2 - 42.07 \times z + 48.49;$$

Значения EIw на краях отрезка:

$EIw^{III}(1.8) = -0.78 \times 1.8^3 + 10.76 \times 1.8^2 - 42.07 \times 1.8 + 48.49 =$ **3.09 (кН·м³**

$EIw^{III}(3) =$

Локальный э

$EIw^{III}(2.82) = -0.78 \times 2.82^3 + 10.76 \times 2.82^2 - 42.07 \times 2.82 + 48.49 =$ **-2.04 (**

Участок IV $3 \le z \le 3.6$

Угол поворота сечения θ:

$$EI\theta^{IV}(z) = EI\theta_0 - P_1 \times (z-0)^2/2 + R_A \times (z-0.6)^2/2 + M_1 \times (z-1.8) - q_1 \times (z-3)^3/6$$
$$= 20.55 - 31.2 \times (z-0)^2/2 + 26.52 \times (z-0.6)^2/2 + 37.44 \times (z-1.8) - 26 \times$$
$$= -4.33 \times z^3 + 36.66 \times z^2 - 95.47 \times z + 74.93;$$

Значения EIθ на краях отрезка:

$EI\theta^{IV}(3) = -4.33 \times 3^3 + 36.66 \times 3^2 - 95.47 \times 3 + 74.93 =$ **1.45 (кН·м²);**

$EI\theta^{IV}(3.6) = -4.33 \times 3.6^3 + 36.66 \times 3.6^2 - 95.47 \times 3.6 + 74.93 =$ **4.17 (кН·м²**

Прогиб w:

$$EIw^{IV}(z) = EIw_0 + EI\theta_0 \times z - P_1 \times (z-0)^3/6 + R_A \times (z-0.6)^3/6 + M_1 \times (z-1.8)^2/2$$
$$= -11.2 + 20.55 \times z - 31.2 \times (z-0)^3/6 + 26.52 \times (z-0.6)^3/6 + 37.44 \times (z-$$
$$= -1.08 \times z^4 + 12.22 \times z^3 - 47.74 \times z^2 + 74.93 \times z - 39.26;$$

Значения EIw на краях отрезка:

$EIw^{IV}(3) = -1.08 \times 3^4 + 12.22 \times 3^3 - 47.74 \times 3^2 + 74.93 \times 3 - 39.26 =$ **-1.91 (к**

$EIw^{IV}(3.6) = -1.08 \times 3.6^4 + 12.22 \times 3.6^3 - 47.74 \times 3.6^2 + 74.93 \times 3.6 - 39.26 =$

4. Максимальный прогиб и угол поворота:

$EIw_{max} = EI \cdot w = EIw(0) = -5.2 \times 0^3 + 20.55 \times 0 - 11.2 = -11.2039$ (кН·м³)

$$\mathbf{w_{max} = \frac{EIw_{max}}{EI} = \frac{-11.2039}{1797.64} = -0.0062\ (м) = -6.2326\ (мм)}$$

$EI\theta_{max} = EI \cdot \theta = EI\theta(0) = -15.6 \times 0^2 + 20.55 = 20.5452$ (кН·м²)

$$\mathbf{\theta_{max} = \frac{EI\theta_{max}}{EI} = \frac{20.5452}{1797.64} = 0.0114\ (рад)}$$

5. Проверка граничных условий:

Опора A: $EIw^{I}(0.60) = -5.2 \times 0.6^3 + 20.55 \times 0.6 - 11.2 =$ **0** (кН·м³) ✓

Опора B: $EIw^{IV}(3.60) = -1.08 \times 3.6^4 + 12.22 \times 3.6^3 - 47.74 \times 3.6^2 + 74.93 \times 3.6 - 39.$

6. Численная проверка (метод трапеций, N=400):

Для независимого контроля точности эпюры прогибов y(x) и углов поворота θ(x)
(аналитически), сверяются с результатами численного расчета — двойного инте
методом трапеций.

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

Δ — абсолютная погрешность численного метода: Δ = |аналитическое – численн

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

z, м	EIw анал					
0	-11.2039					
0.60	0					
1.33	5.6069	5.5456	0.0614	-0.0011	-0.1081	0.1076
1.80	3.0888	2.9781	0.1107	-10.9044	-10.8429	0.0615
2.16	0.0001	-0.0887	0.0887	-6.5325	-6.4711	0.0614
2.82	-2.0448	-2.0929	0.0482	-0.0004	0.0613	0.0616
3	-1.9094	-1.9463	0.0368	1.4508	1.5123	0.0615
3.60	0	0	0	4.1652	4.2268	0.0616

Максимальные отклонения: ΔEIw_{max} = **0.1107** $\Delta EI\theta_{max}$ = **0.1073**

Относительная погрешность: δ_w = **0.9882 %** δ_θ = **0.5224 %**

Вывод: результаты аналитического и численного методов согласуются (δ ≤ 5%)

06

Проверка прогиба

Норматив: СП 16.13330.2017 — Балки перекрытий (общий случай) (Полная (D+L

Расчетный пролет: L = 3,0 м.

Предельный прогиб: [f] = L/300 = 10,0 мм.

Фактический прогиб: f = 6,2 мм (из эпюры y(x)).

✓ **Условие: f ≤ [f] → Выполнено. Использование 62%.**

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

07 Подбор сече

Из эпюры изгиба
изгибающего мо

Из эпюры поперечных сил Q определяем, что Q_{max} = 31.2 (кН). Выполним перев
силы в с систему СИ: Q_{max} = 31.2 (кН) = 31200 (Н).

Условие прочности при изгибе по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

где: M_{max} - наибольший изгибающий момент;

W_x - момент сопротивления сечения относительно нейтральной оси Ox;

Заметим, что наибольшие нормальные напряжения в поперечных сечениях бал
нейтральной оси Ox, которая проходит через центр тяжести сечения.

Из условия прочности по нормальным напряжениям вычислим значение миним
сечения: $W_x \geq \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{24340(\text{Н}\times\text{м})}{[245(\text{МПа})]} = 99.347(\text{см}^3)$

Дополнительно из условия жесткости (проверка прогиба) требуемый момент ин

Из сортамента выбираем ближайший больший номер сечения у которого: $W_x^{\text{таб}}$

Из сборника ГОСТ 8239-89 (Двутавры стальные горячекатанные. Сортамент) вы

Геометрические характеристики выбранного сечения:

Момент сопротивления относительно оси Ox: W_x = 109.08 (см^3)

Высота сечения: h = 16 (см)

Ширина сечения: b = 8.1 (см)

Толщина стенки: t_s = 0.5 (см)

Средняя толщина полки: t_f = 0.78 (см)

Статический момент полусечения относительно оси Ox: S_x = 62.29 (см^3)

Осевой момент инерции относительно оси Ox: I_x = 872.64 (см^4)

1. **Проверим прочность выбранного сечения (Двутавр 16) по норма**

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x^{\text{таб}}} = \frac{24340(\text{Н}\times\text{м})}{109.08\times10^{-6}(\text{м}^3)} = 223.139(\text{МПа}) \leq 245(\text{МПа})$$

2. **Определим, удовлетворяет ли принятое сечение балки (Двутавр
напряжениям:**

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max}\times S_x^{\text{отс}}}{b\times I_x} \leq [\tau]$$

где: Q_{max} - наибольшая поперечная сила;

$S_x^{\text{отс}}$ - статический момент отсеченной части поперечного сечения относительно

b - ширина поперечного сечения балки на уровне рассматриваемой точки;

I_x - момент инерции всего сечения относительно нейтральной оси Ox;

$$Q_{max}\times S_x^{\text{отс}} \quad 31200(\text{Н})\times62.29\times10^{-6}(\text{м}^3)$$

Скачать отчет Word

Печать в PDF | Эпюры