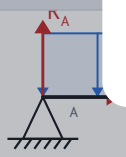
Эпюры Mx Qy Nx u θ

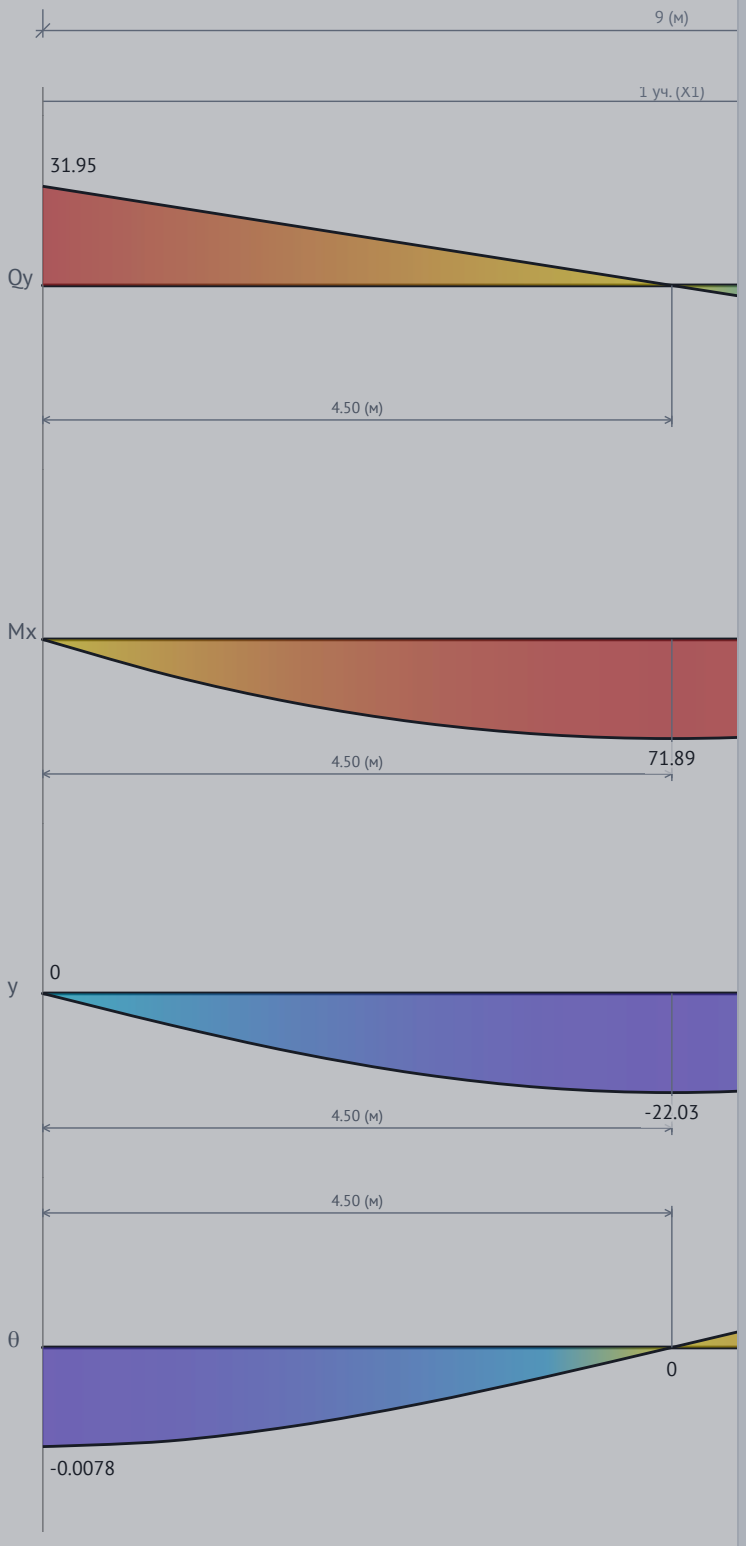
3D NEW

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

Закрыть

Редактировать сх





ицирован (FEM)
оверка МКЭ пройдена
Н·м Q 31.95 кН прогиб -22.03 мм

M MAX	Q MAX	y MAX
71.89 кН·м	31.95 кН	−22.03 мм
при x = 4.50 м	при x = 0 м	при x = 4.50 м

✓ Прочность
Использование: 40%
σ 96.8 ≤ 245 МПа

✓ Жесткость
Использование: 98%
f 22 ≤ 22.5 мм
ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ

РЕАКЦИИ ОПОР

R_A	31.95 кН	вертикальная реакция, опора A (x = 0 м)
R_B	31.95 кН	вертикальная реакция, опора B (x = 9 м)

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Q_{max}	31.95 кН	при x = 0 м
Q_{min}	−31.95 кН	при x = 9 м
M_{max}	71.89 кН·м	при x = 4.50 м
M_{min}	0 кН·м	при x = 0; 9 м

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

w_{max}	−22.03 мм	при x = 4.50 м
θ_{max}	−0.0078 рад	при x = 0 м

ПОДБОР СЕЧЕНИЯ

Сечение	Двутавр 36	ГОСТ 8239-89 (Двутавры стальные горячекатанные. Сортамент)
A	61.81 см²	
W_x	742.53 см³	
I_x	13 366 см⁴	
W_y	71.20 см³	
I_y	516.21 см⁴	
По нормальным напряжениям	96.82 МПа ≤ 245 МПа	Выполнено
По касательным напряжениям	13.48 МПа ≤ 141 МПа	Выполнено
По 3-й теории прочности	96.81 МПа ≤ 245 МПа	Выполнено

Сечение подобрано
Коэффициент использования: 0.979

ПРОВЕРКА ПРОГИБА

f_{max}	22 мм	пролет L = 9,0 м
[f]	22.50 мм	L/400 · задан вручную
Использование	98 %	

Выполнено
f ≤ [f]: 22,0 ≤ 22,5 мм

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

01 Общие сведе

Расчетная схема

В точке A (x = 0 м)
(x = 9 м) установлена подвижная (катковая) опора, воспринимающая только поп

К балке приложена равномерно распределенная нагрузка q_1 = 7.1 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	**31.95** кН	вертикальная
R_B	**31.95** кН	вертикальная
ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ		
Q_{max}	**31.95** кН	при x = 0 м
Q_{min}	**-31.95** кН	при x = 9 м
M_{max}	**71.89** кН·м	при x = 4.50 м
M_{min}	**0** кН·м	при x = 0; 9 м
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ		
w_{max}	-22.0292 мм	при x = 4.50 м
θ_{max}	-0.0078 рад	при x = 0 м
ПОДБОР СЕЧЕНИЯ		
Сечение	Двутавр 36	ГОСТ 8239-89
A	**61.81** $см^2$	
W_x	**742.53** $см^3$	
I_x	**13 366** $см^4$	
W_y	**71.20** $см^3$	
I_y	**516.21** $см^4$	
По нормальным напряжениям	96.82 МПа ≤ 245 МПа	✓ Выполне
По касательным напряжениям	13.48 МПа ≤ 141 МПа	✓ Выполне
По 3-й теории прочности	96.81 МПа ≤ 245 МПа	✓ Выполне
Результат	✓ Сечение подобрано	Коэффициент
ПРОВЕРКА ПРОГИБА		
f_{max}	22,0 мм	пролет L = 9,0
[f]	22,5 мм	L/400 · задан
Использование	**98** %	
Результат	✓ Выполнено	f ≤ [f]: 22,0 ≤ 2

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

$$\Sigma M_A = 0: - q_1 \times 9 \times (9/2) + R_B \times 9 = 0$$

Найдем сумму моментов относительно шарнирно-подвижной опоры в

$$\Sigma M_B = 0: - R_A \times 9 + q_1 \times 9 \times (9 - 9/2) = 0$$

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

$$R_B = (q_1 \times 9 \times (9/2)) /9$$
$$= (7.10 \times 9 \times (9/2)) /9$$
$$= \mathbf{31.95\ (кН)}$$

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

$$R_A = (q_1 \times 9 \times (9 - 9/2)) /9$$
$$= (7.10 \times 9 \times (9 - 9/2)) /9$$
$$= \mathbf{31.95\ (кН)}$$

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

$$H_A = \mathbf{0\ (кН)}$$

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

$$\Sigma P_{iy} = 0: R_A - q_1 \times 9 + R_B$$
$$= 31.95 \times 1 - 7.10 \times 9 + 31.95 \times 1$$
$$= 0$$

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

04 Построение

1. Рассмотри

Поперечная сила Q:

$$Q(x_1) = R_A - q_1 \times (x_1 - 0)$$

Значения Q на краях участка:

$$Q_1(0) = 31.95 - 7.10 \times (0 - 0) = \mathbf{31.95\ (кН)}$$

$$Q_1(9) = 31.95 - 7.10 \times (9 - 0) = \mathbf{-31.95\ (кН)}$$

На этом участке эпюра Q пересекает горизонтальную ось. Точка пересечения:x =

Изгибающий момент M:

$$M(x_1) = R_A \times (x_1) - q_1 \times (x_1)^2/2$$

Значения M на краях участка:

$$M_1(0) = 31.95 \times (0) - 7.10 \times (0 - 0)^2/2 = \mathbf{0\ (кН{\cdot}м)}$$

$$M_1(9) = 31.95 \times (9) - 7.10 \times (9 - 0)^2/2 = \mathbf{0\ (кН{\cdot}м)}$$

Локальный экстремум в точке x = 4.50:

$$M_1(4.50) = 31.95 \times (4.50) - 7.10 \times (4.50 - 0)^2/2 = \mathbf{71.89\ (кН{\cdot}м)}$$

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

05 Определени

1. **Для опред**
   балки EI = 2733.96 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:**

Прогиб над левой опорой A равен нулю, откуда EIw₀ = 0.

Начальный угол поворота θ₀ определим из условия нулевого прогиба

$$\begin{aligned} EI \times w(x_B) &= EIw_0 + EI\theta_0 \times 9 + R_A \times z^3/6 - q_1 \times (z-0)^4/24 \\ &= EIw_0 + EI\theta_0 \times 9 + 31.95 \times 9^3/6 - 7.1 \times (9-0)^4/24 \\ &= EIw_0 + 9 \times EI\theta_0 + 1940.96 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{EI\theta_0} = -215.66\ (кН \cdot м^2);\quad EIw_0 = \mathbf{0\ (кН \cdot м^3)}$$

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

Участок I $0 \le z \le 9$

Угол поворота сечения θ:

$$\begin{aligned} EI\theta^I(z) &= EI\theta_0 + R_A \times z^2/2 - q_1 \times (z-0)^3/6 \\ &= -215.66 + 31.95 \times z^2/2 - 7.1 \times (z-0)^3/6 \\ &= -1.18 \times z^3 + 15.98 \times z^2 - 215.66; \end{aligned}$$

Значения EIθ на краях отрезка:

$$EI\theta^I(0) = -1.18 \times 0^3 + 15.98 \times 0^2 - 215.66 = \mathbf{-215.66\ (кН \cdot м^2);}$$

$$EI\theta^I(9) = -1.18 \times 9^3 + 15.98 \times 9^2 - 215.66 = \mathbf{215.66\ (кН \cdot м^2);}$$

Прогиб w:

$$\begin{aligned} EIw^I(z) &= EI\theta_0 \times z + R_A \times z^3/6 - q_1 \times (z-0)^4/24 \\ &= -215.66 \times z + 31.95 \times z^3/6 - 7.1 \times (z-0)^4/24 \\ &= -0.3 \times z^4 + 5.33 \times z^3 - 215.66 \times z; \end{aligned}$$

Значения EIw на краях отрезка:

$$EIw^I(0) = -0.3 \times 0^4 + 5.33 \times 0^3 - 215.66 \times 0 = \mathbf{0\ (кН \cdot м^3);}$$

$$EIw^I(9) = -0.3 \times 9^4 + 5.33 \times 9^3 - 215.66 \times 9 = \mathbf{0\ (кН \cdot м^3);}$$

Локальный экстремум в точке z = 4.5:

$EIw^I(4.5) = -0.3 \times 4.5^4 + 5.33 \times 4.5^3 - 215.66 \times 4.5 =$ **-606.55 (кН·м³);**

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

4. **Максимал**

$EIw_{max} = EI \cdot w$

$$w_{max} = \frac{EIw_{max}}{EI} = \frac{-606.5508}{27533.96} = -0.0220 \text{ (м)} = -22.0292 \text{ (мм)}$$

$EI\theta_{max} = EI \cdot \theta = EI\theta(0) = -1.18 \times 0^3 + 15.98 \times 0^2 - 215.66 = -215.6625$ (кН·м²)

$$\theta_{max} = \frac{EI\theta_{max}}{EI} = \frac{-215.6625}{27533.96} = -0.0078 \text{ (рад)}$$

5. **Проверка граничных условий:**

Опора A: $EIw^I(0) = -0.3 \times 0^4 + 5.33 \times 0^3 - 215.66 \times 0 =$ **0** (кН·м³) ✓

Опора B: $EIw^I(9) = -0.3 \times 9^4 + 5.33 \times 9^3 - 215.66 \times 9 =$ **0** (кН·м³) ✓

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.

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

z, м	EIw аналит.	EIw числ.	Δ	EIθ аналит.	EIθ числ.	Δ
0	0	0	0	-215.6625	-215.6622	0.0003
4.50	-606.5508	-606.5468	0.0040	0	0	0
9	0	0	0	215.6625	215.6622	0.0003

Максимальные отклонения: $\Delta EIw_{max} =$ **0.0040** $\Delta EI\theta_{max} =$ **0.0003**

Относительная погрешность: $\delta_w =$ **0.0007 %** $\delta_\theta =$ **0.0002 %**

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

06 Проверка прогиба

Предельный прогиб задан вручную.

Расчетный пролет: L = 9,0 м.

Предельный прогиб: [f] = L/400 = 22,5 мм.

Фактический прогиб: f = 22,0 мм (из эпюры y(x)).

✓ **Условие: f ≤ [f] → Выполнено. Использование 98%.**

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

07 Подбор сече

Из эпюры изгиба
изгибающего мо

Из эпюры поперечных сил Q определяем, что Q_{max} = 31.95 (кН). Выполним пере
силы в с систему СИ: Q_{max} = 31.95 (кН) = 31950 (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: $W_x \geq \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{71890(\text{Н}\times\text{м})}{[245(\text{МПа})]} = 293.429(\text{см}^3)$

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 = 742.53 ($см^3$)

Высота сечения: h = 36 (см)

Ширина сечения: b = 14.5 (см)

Толщина стенки: t_s = 0.75 (см)

Средняя толщина полки: t_f = 1.23 (см)

Статический момент полусечения относительно оси Ox: S_x = 422.97 ($см^3$)

Осевой момент инерции относительно оси Ox: I_x = 13366 ($см^4$)

1. **Проверим прочность выбранного сечения (Двутавр 36) по норма**

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x^{\text{таб}}} = \frac{71890(\text{Н}\times\text{м})}{742.53\times10^{-6}(\text{м}^3)} = 96.818(\text{МПа}) \leq 245(\text{МПа})$$

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;

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max}\times S_x}{b(y)\times I_x} = \frac{31950(\text{Н})\times422.97\times10^{-6}(\text{м}^3)}{0.75\times10^{-2}(\text{м})\times13366\times10^{-8}(\text{м}^4)} = 13.481(\text{МПа}) \leq 141(\text{МПа})$$

3. **По теории наибольших касательных напряжений (третья теория
напряжения в рассматриваемых точках выбранного поперечног**

$$\sigma_i^{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_i^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

$$\sigma_i = \frac{M_{max}}{I_x} \times y$$

где y - расстояни

Отчет успешно сформирован: Скачать отчет

качать отчет Word

Эпюры