

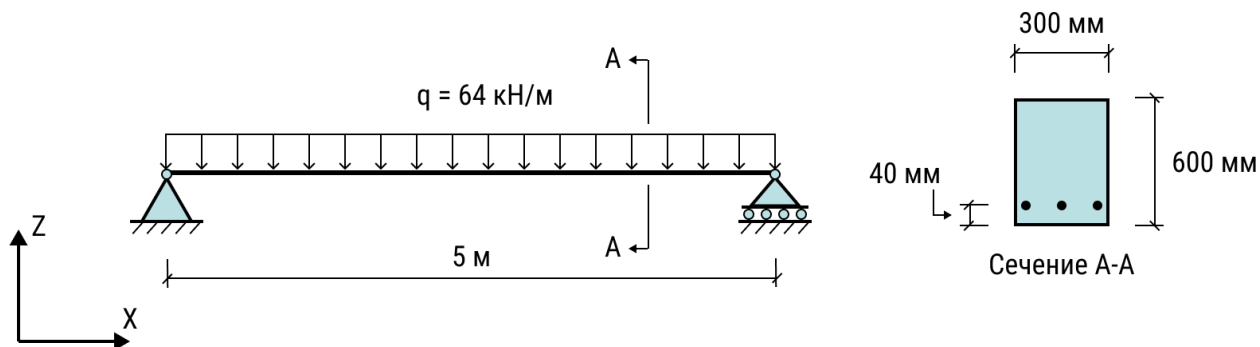
## ПОДБОР РАСТЯНУТОГО ПРОДОЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ИЗГИБАЕМОЙ БАЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

### ОПИСАНИЕ ПРИМЕРА

Рассматривается железобетонная балка с сечением шириной  $b = 300$  мм и высотой  $h = 600$  мм. Используется тяжёлый бетон класса В15 и арматура класса А400. Защитный слой арматуры  $a = 40$  мм.

Изгибающий момент в сечении с учётом кратковременных нагрузок  $M = 200$  кН·м. Определяется требуемая площадь продольного армирования.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



#### Свойства сечения

$$h = 600 \text{ мм}$$

– высота сечения

$$b = 300 \text{ мм}$$

– ширина сечения

$$a = 40 \text{ мм}$$

– защитный слой до центра тяжести арматуры

#### Свойства материалов

Бетон В15

$$E_b = 24\,000\,000 \text{ кН/м}^2$$

– модуль упругости

$$R_{bn} = 11\,000 \text{ кН/м}^2$$

– нормативное сопротивление сжатию

Арматура А400 – продольная

$$E_s = 200\,000\,000 \text{ кН/м}^2$$

– модуль упругости

$$R_{sn} = 400\,000 \text{ кН/м}^2$$

– нормативное сопротивление

Коэффициенты

$\gamma_b = 1.3$	– коэффициент надёжности по бетону при сжатии
$\gamma_{b1} = 1.0$	– коэффициенты условий работы бетона
$\gamma_{b2} = 1.0$	
$\gamma_{b3} = 1.0$	
$\gamma_{b4} = 1.0$	
$\gamma_{b5} = 1.0$	
$\gamma_s = 1.15$	– коэффициент надёжности по арматуре

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ

Расчёт производится с использованием формул раздела 8 [1].

Определяем расчётные характеристики бетона и арматуры.

Согласно формуле 6.1 и положениям п. 6.1.12 [1] определяем расчётное сопротивление бетона осевому сжатию:

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_b} \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b4} \cdot \gamma_{b5} = \frac{11\,000}{1.3} \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 8\,462 \text{ кПа.}$$

Согласно формуле 6.10 и положениям п. 6.2.8 [1] определяем расчётное сопротивление продольной арматуры класса А400 на растяжение:

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_s} = \frac{400\,000}{1.15} = 347\,826 \text{ кПа.}$$

Максимальное усилие в элементе  $M = 200 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Находим минимальную и требуемую площадь продольной арматуры в сечении с максимальным изгибающим моментом.

Вычисляем граничную относительную высоту сжатой зоны бетона согласно формуле 8.1 [1]:

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = \frac{0.8}{1 + \frac{1.74 \cdot 10^{-3}}{3.5 \cdot 10^{-3}}} = 0.534,$$

где

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{347\,826}{200\,000\,000} = 1.74 \cdot 10^{-3} \text{ – относительная деформация растянутой арматуры при напряжениях, равных } R_s, \text{ определяемая по формуле 8.2 [1];}$$

$$\varepsilon_{b2} = 3.5 \cdot 10^{-3} \text{ – относительная деформация сжатого бетона при напряжениях, равных } R_b, \text{ принимаемая в соответствии с п. 6.1.20 [1] при непродолжительном действии нагрузки.}$$

Вычисляем коэффициенты  $\alpha_R$  и  $\alpha_m$  согласно п. 3.2.5 и формуле 3.22 [2]:

$$\alpha_R = \xi_R \cdot (1 - 0.5 \cdot \xi_R) = 0.534 \cdot (1 - 0.5 \cdot 0.534) = 0.392;$$

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{200}{8\,462 \cdot 0.3 \cdot 0.56^2} = 0.251,$$

где

$$h_0 = h - a = 0.6 - 0.04 = 0.56 \text{ м} - \text{рабочая высота сечения.}$$

Так как  $\alpha_m < \alpha_R$ , то сжатая арматура в сечении не требуется, то есть  $A'_s = 0 \text{ мм}^2$ .

Вычисляем требуемую площадь растянутой продольной арматуры по формуле 3.23 [2]:

$$A_s = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m})}{R_s} =$$
$$= \frac{8\,462 \cdot 0.3 \cdot 0.56 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0.251})}{347\,826} = 0.001204 \text{ м}^2 = 1\,204 \text{ мм}^2.$$

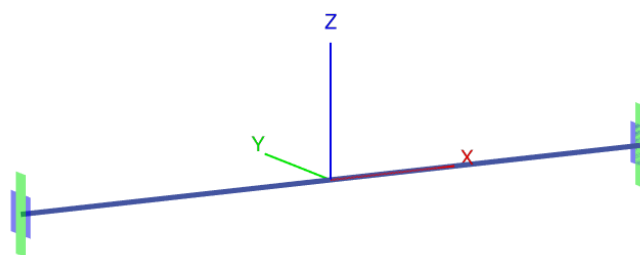
Вычисляем минимальную площадь растянутой продольной арматуры согласно п. 10.3.6 [1]:

$$A_{s,min} = \frac{\mu_{s,min}}{100\%} \cdot b \cdot h_0 = \frac{0.1}{100} \cdot 0.3 \cdot 0.56 = 0.000168 \text{ м}^2 = 168 \text{ мм}^2 < A_s,$$

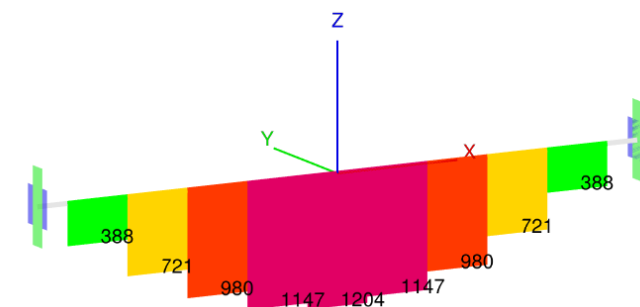
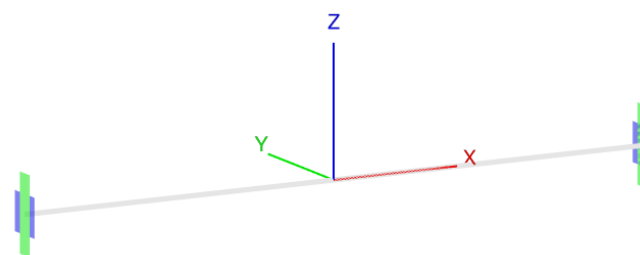
где

$\mu_{s,min} = 0.1\%$  – минимальный процент армирования для изгибаемых элементов.

#### РАСЧЁТ В ПЛАГИНЕ



Общий вид модели



Площадь сжатого и растянутого продольного армирования, мм<sup>2</sup>

#### СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Параметр для сравнения	SV Plugins	Аналитический расчёт	Отн. погрешность, %
Максимальная площадь сжатого продольного армирования, мм <sup>2</sup> (середина пролёта)	0	0	0.0
Максимальная площадь растянутого продольного армирования, мм <sup>2</sup> (середина пролёта)	1 204	1 204	0.0

#### ССЫЛКИ

1. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (с Изменением N 1). Москва, 2019.
2. Методическое пособие к СП 63.13330 «Расчёт железобетонных конструкции без предварительно напряжённой арматуры». Москва, 2015.