

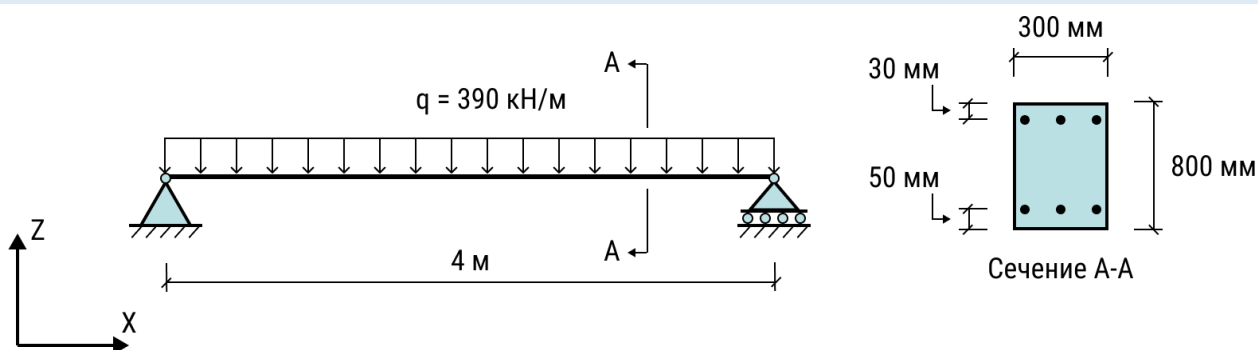
## ПОДБОР РАСТЯНУТОГО И СЖАТОГО ПРОДОЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ИЗГИБАЕМОЙ БАЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

### ОПИСАНИЕ ПРИМЕРА

Рассматривается железобетонная балка с сечением шириной  $b = 300$  мм и высотой  $h = 800$  мм. Используется тяжёлый бетон класса В15 и арматура класса А400. Защитные слои арматуры  $a = 50$  мм и  $a' = 30$  мм.

Изгибающий момент в сечении с учётом кратковременных нагрузок  $M = 780$  кН·м. Определяется требуемая площадь продольного армирования.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



#### Свойства сечения

$h = 800$ мм	– высота сечения
$b = 300$ мм	– ширина сечения
$a = 50$ мм	– защитный слой до центра тяжести растянутой арматуры
$a' = 30$ мм	– защитный слой до центра тяжести сжатой арматуры

#### Свойства материалов

Бетон В15	
$E_b = 24\,000\,000$ кН/м <sup>2</sup>	– модуль упругости
$R_{bn} = 11\,000$ кН/м <sup>2</sup>	– нормативное сопротивление сжатию
Арматура А400 – продольная	
$E_s = 200\,000\,000$ кН/м <sup>2</sup>	– модуль упругости
$R_{sn} = 400\,000$ кН/м <sup>2</sup>	– 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 и сжатие:

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

$$R_{sc} = R_s = 347\,826 \text{ кПа} < 400\,000 \text{ кПа.}$$

Максимальное усилие в элементе  $M = 780 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . 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]:

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

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{780}{8\,462 \cdot 0.3 \cdot 0.75^2} = 0.546,$$

где

$$h_0 = h - a = 0.8 - 0.05 = 0.75 \text{ м} - \text{рабочая высота сечения.}$$

Так как  $\alpha_m > \alpha_R$ , то сжатая арматура в сечении требуется.

Вычисляем требуемую площадь сжатой продольной арматуры согласно формуле 3.24 [2]:

$$A'_s = \frac{M - \alpha_R \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')} = \frac{780 - 0.392 \cdot 8\,462 \cdot 0.3 \cdot 0.75^2}{347\,826 \cdot (0.75 - 0.03)} = 0.000882 \text{ м}^2 = 882 \text{ мм}^2.$$

Вычисляем требуемую площадь растянутой продольной арматуры согласно формуле 3.25 [2]:

$$A_s = \frac{\xi_R \cdot R_b \cdot b \cdot h_0}{R_s} + A'_s = \frac{0.534 \cdot 8\,462 \cdot 0.3 \cdot 0.75}{347\,826} + 0.000882 = 0.003807 \text{ м}^2 = 3\,807 \text{ мм}^2.$$

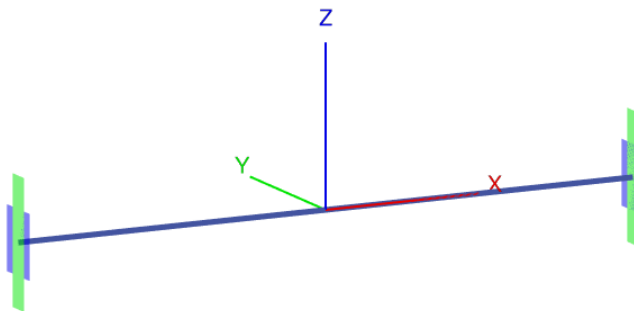
Вычисляем минимальную площадь растянутой продольной арматуры согласно п. 10.3.6 [1]:

$$A_{s,min} = \frac{\mu_{s,min}}{100 \%} \cdot b \cdot h_0 = \frac{0.1}{100} \cdot 0.3 \cdot 0.75 = 0.000225 \text{ м}^2 = 225 \text{ мм}^2 < A'_s < A_s,$$

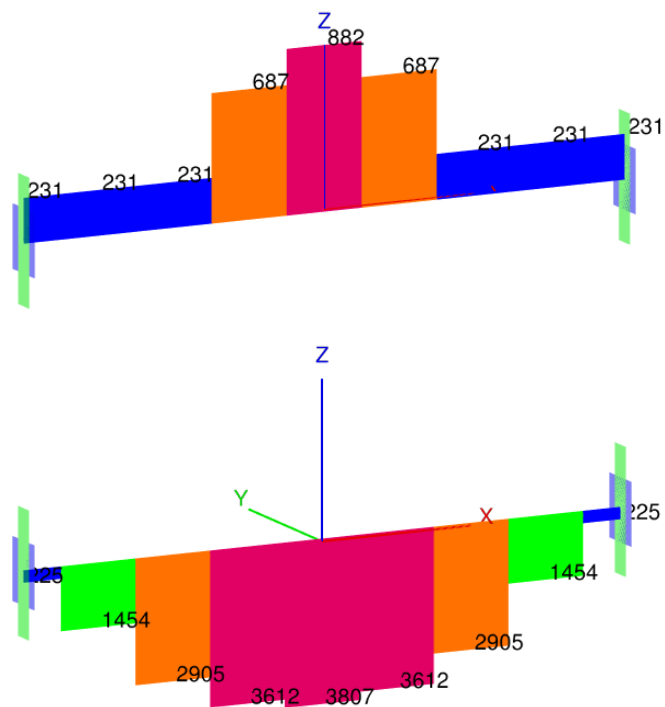
где

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

#### 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)	882	882	0.0
Максимальная площадь растянутого продольного армирования, мм <sup>2</sup> (середина пролёта)	3 807	3 807	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.