

## ПОДБОР ПРОДОЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ВНЕЦЕНТРЕННО РАСТЯНУТОЙ КОЛОННЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

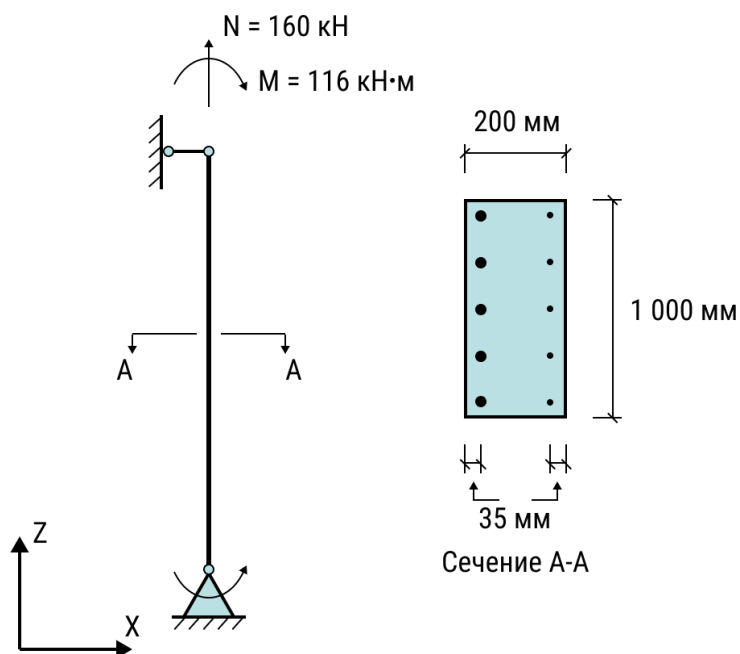
### ОПИСАНИЕ ПРИМЕРА

Рассматривается железобетонная колонна с сечением шириной  $b = 1\,000$  мм и высотой  $h = 200$  мм. Используется тяжёлый бетон класса В15 и продольная арматура класса А400. Площадь сечения сжатой арматуры  $A'_s = 1\,005$  мм<sup>2</sup> ( $5\varnothing 16$ ). Пять стержней растянутой арматуры расположены у противоположной грани сечения ( $5\varnothing d$ ). Защитные слои арматуры  $a = a' = 35$  мм.

Продольная сила и изгибающий момент в сечении  $N = 160$  кН,  $M = 116$  кН·м. Определяется требуемая площадь растянутого продольного армирования.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для получения требуемых усилий в сечении колонны условия опирания и приложение нагрузок моделируются упрощённо.



#### Свойства сечения

$h = 200$ мм	– высота сечения
$b = 1\,000$ мм	– ширина сечения
$a = a' = 35$ мм	– защитный слой до центра тяжести растянутой и сжатой арматуры
$A'_s = 1\,005$ мм <sup>2</sup>	– площадь сечения сжатой продольной 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 и сжатие:

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

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

Максимальные усилия в элементе  $N = 160 \text{ кН}$ ,  $M = 116 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Согласно п. 8.1.19 [1] находим эксцентриситеты:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{116}{160} = 0.725 \text{ м;}$$

$$e = e_0 - \frac{h}{2} + a = 0.725 - \frac{0.2}{2} + 0.035 = 0.66 \text{ м};$$

$$e' = e_0 + \frac{h}{2} - a' = 0.725 + \frac{0.2}{2} - 0.035 = 0.79 \text{ м}.$$

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  $\alpha_m$  и относительную сжатую зону бетона согласно п. 3.2.58 и формуле 3.142 [2]:

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

$$\alpha_m = \frac{N \cdot e + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{160 \cdot 0.66 - 347\,826 \cdot 0.001005 \cdot (0.165 - 0.035)}{8\,462 \cdot 1 \cdot 0.165^2} = 0.261,$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0.261} = 0.309,$$

где

$$h_0 = h - a = 0.2 - 0.035 = 0.165 \text{ м – рабочая высота сечения.}$$

Так как  $\alpha_m = 0.261 < \alpha_R = 0.392$  и  $e' = 0.79 \text{ м} > h_0 - a' = 0.13 \text{ м}$ , вычисляем требуемую площадь растянутой продольной арматуры по формуле 3.140 [2]:

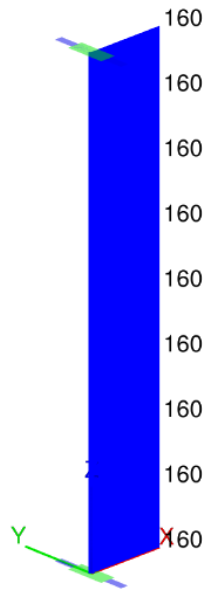
$$A_s = \frac{\xi \cdot b \cdot h_0 \cdot R_b + N}{R_s} + A'_s \cdot \frac{R_{sc}}{R_s} = \frac{0.309 \cdot 1 \cdot 0.165 \cdot 8\,462 + 160}{347\,826} + 0.001005 \cdot \frac{347\,826}{347\,826} = 0.002705 \text{ м}^2 = 2\,705 \text{ мм}^2.$$

Принимаем  $A_s = 3\,079 \text{ мм}^2$  (5 $\emptyset$ 28).

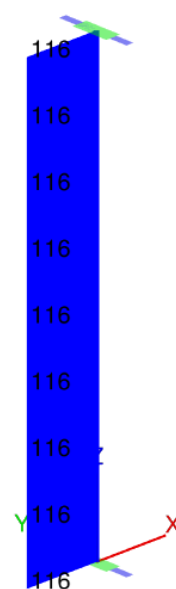
РАСЧЁТ В ПЛАГИНЕ



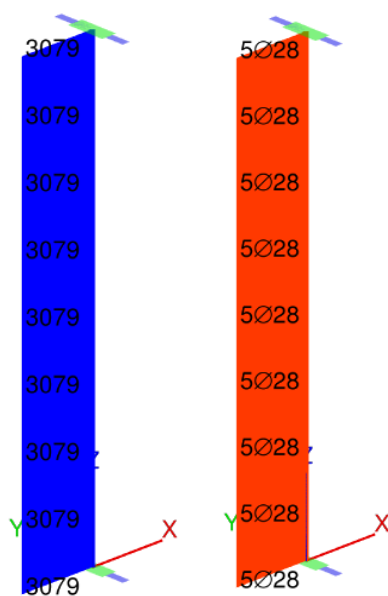
Общий вид модели



Продольные усилия, кН

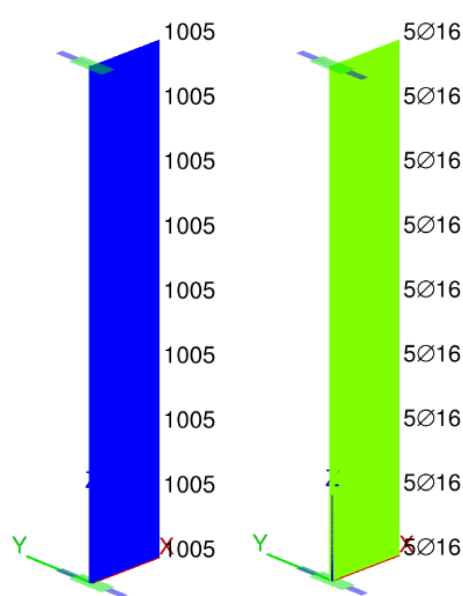


Изгибающие моменты, кН·м



Площадь растянутого продольного армирования в сечении, мм<sup>2</sup>

Количество и диаметр растянутых стержней



Площадь сжатого продольного армирования в сечении, мм<sup>2</sup>

Количество и диаметр сжатых стержней

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Параметр для сравнения	SV Plugins	Аналитический расчёт	Отн. погрешность, %
Площадь растянутого продольного армирования, мм <sup>2</sup>	3 079 (5Ø28)	3 079 (5Ø28)	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.