

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ВНЕЦЕНТРЕННО РАСТЯНУТОЙ КОЛОННЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С СИММЕТРИЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

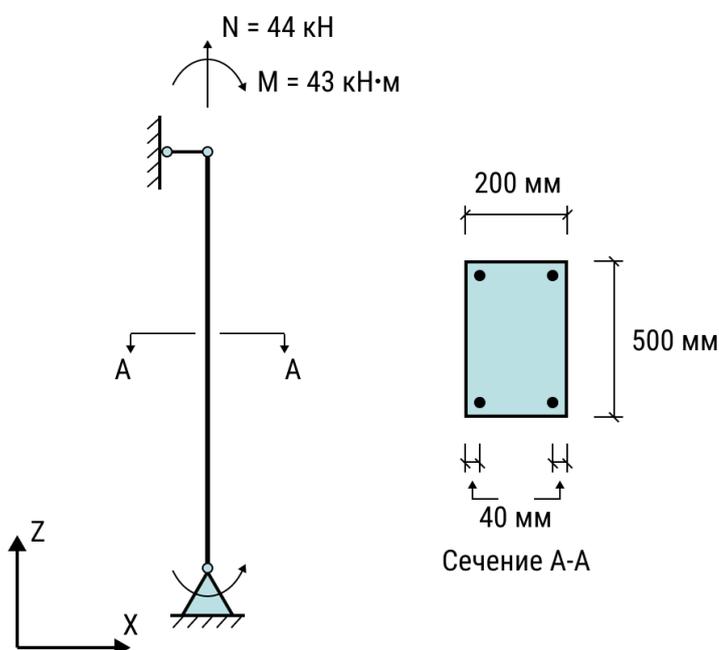
ОПИСАНИЕ ПРИМЕРА

Рассматривается растянутая ветвь двухветвевой колонны с сечением шириной $b = 500$ мм и высотой $h = 200$ мм. Используется тяжёлый бетон класса В25 и арматура класса А400. Площадь сечения растянутой и сжатой арматуры $A_s = A'_s = 982$ мм² (2Ø25). Защитные слои арматуры $a = a' = 40$ мм.

Продольная сила и изгибающий момент в сечении с $N = 44$ кН, $M = 43$ кН·м. Определяется коэффициент использования ветви колонны по прочности при внецентренном растяжении.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

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



Свойства сечения

$h = 200$ мм	– высота сечения
$b = 500$ мм	– ширина сечения
$a = a' = 40$ мм	– защитный слой до центра тяжести растянутой и сжатой арматуры
$A_s = A'_s = 982$ мм ²	– площадь сечения растянутой и сжатой продольной арматуры

Свойства материалов

Бетон В25

$E_b = 30\,000\,000 \text{ кН/м}^2$	– модуль упругости
$R_{bn} = 18\,500 \text{ кН/м}^2$	– 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].

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

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_b} \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b4} \cdot \gamma_{b5} = \frac{18\,500}{1.3} \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 14\,231 \text{ кПа.}$$

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 $N = 44 \text{ кН}$, $M = 43 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Согласно п. 8.1.19 [1] находим эксцентриситеты:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{43}{44} = 0.9773 \text{ м;}$$

$$e = e_0 - \frac{h}{2} + a = 0.9773 - \frac{0.2}{2} + 0.04 = 0.9173 \text{ м};$$

$$e' = e_0 + \frac{h}{2} - a' = 0.9773 + \frac{0.2}{2} - 0.04 = 1.0373 \text{ м}.$$

Находим коэффициент использования колонны по прочности при внецентренном растяжении.

Высота сжатой зоны бетона находится по формуле 8.25 [1]:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s - N}{R_b \cdot b} = \frac{-N}{R_b \cdot b} < 0,$$

поэтому коэффициент использования ветви колонны находим по формулам 8.21 и 8.23 [1]:

$$K_{\text{исп}} = \frac{N \cdot e'}{R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')} = \frac{44 \cdot 1.0373}{347 \, 826 \cdot 0.000982 \cdot (0.16 - 0.04)} = 1.114,$$

где

$$h_0 = h - a = 0.2 - 0.04 = 0.16 \text{ м} - \text{рабочая высота сечения}.$$

Так как $e' = 1.0373 \text{ м} > h_0 - a' = 0.12 \text{ м}$, а высота сжатой зоны, определенная без учёта сжатой арматуры $x = \frac{R_s \cdot A_s - N}{R_b \cdot b} = \frac{347 \, 826 \cdot 0.000982 - 44}{14 \, 231 \cdot 0.5} = 0.042 \text{ м} < 2 \cdot a' = 0.08 \text{ м}$, то коэффициент использования можно найти по формулам 8.20, 8.24 и 8.25 [1] без учёта сжатой арматуры:

$$K_{\text{исп}} = \frac{N \cdot e}{R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x)}.$$

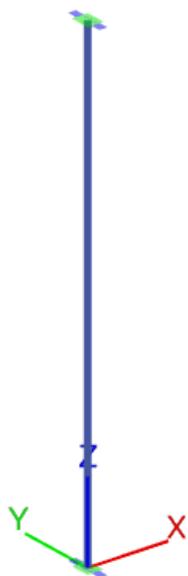
Выражение $N \cdot e$ можно записать как:

$$N \cdot e = N \cdot \left(e_0 - \frac{h}{2} + a \right) = N \cdot e_0 + N \cdot \left(-\frac{h}{2} + a \right)$$

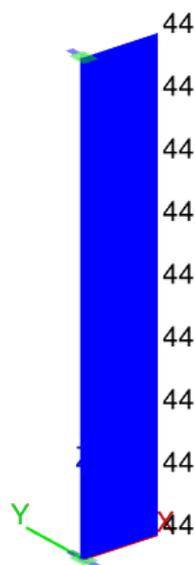
Коэффициент использования колонны по прочности находим по формуле, приведенной выше, перенеся слагаемое $N \cdot \left(-\frac{h}{2} + a \right)$ в знаменатель:

$$\begin{aligned} K_{\text{исп}} &= \frac{M}{R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) - N \cdot \left(-\frac{h}{2} + a \right)} = \\ &= \frac{43}{14 \, 231 \cdot 0.5 \cdot 0.042 \cdot (0.16 - 0.5 \cdot 0.042) - 44 \cdot \left(-\frac{0.2}{2} + 0.04 \right)} = 0.977. \end{aligned}$$

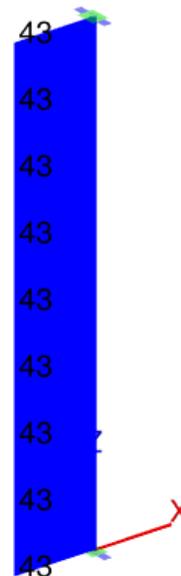
РАСЧЁТ В ПЛАГИНЕ



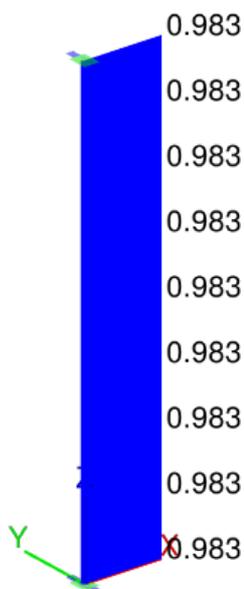
Общий вид модели



Продольные усилия, кН



Изгибающие моменты, кН·м



Коэффициенты использования колонны по прочности при внецентренном растяжении

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Параметр для сравнения	SV Plugins	Аналитический расчёт	Отн. погрешность, %
Максимальный коэффициент использования колонны по прочности при внецентренном растяжении	0.983	0.977	0.7

ССЫЛКИ

1. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (с Изменением N 1). Москва, 2019.