

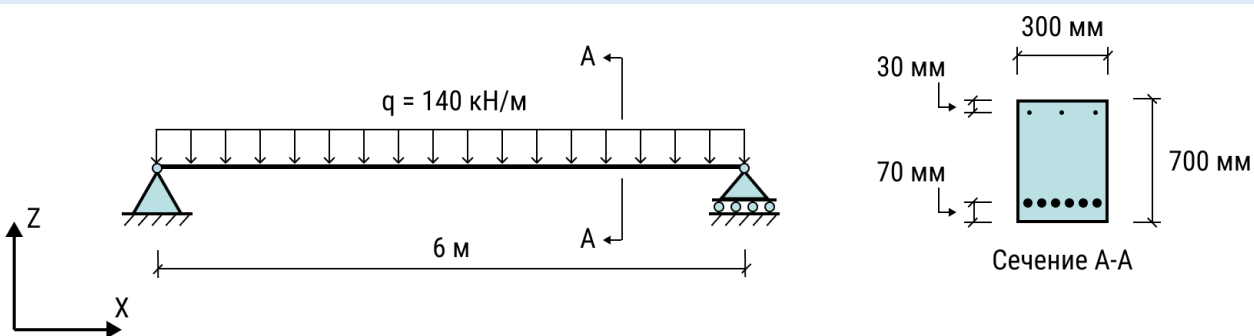
ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ИЗГИБАЕМОЙ БАЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С РАСТЯНУТОЙ И СЖАТОЙ АРМАТУРОЙ

ОПИСАНИЕ ПРИМЕРА

Рассматривается железобетонная балка с сечением шириной $b = 300$ мм и высотой $h = 700$ мм. Используется тяжёлый бетон класса В20 и арматура класса А400. Площадь сечения растянутой арматуры $A_s = 4\,826$ мм² (6Ø32), сжатой – $A'_s = 339$ мм² (3Ø12). Защитные слои арматуры $a = 70$ мм, $a' = 30$ мм.

Изгибающий момент в сечении балки с учётом кратковременных нагрузок $M = 630$ кН·м. Определяется коэффициент использования балки по прочности на изгиб.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



Свойства сечения

$h = 700$ мм	– высота сечения
$b = 300$ мм	– ширина сечения
$a = 70$ мм	– защитный слой до центра тяжести растянутой арматуры
$a' = 30$ мм	– защитный слой до центра тяжести сжатой арматуры
$A_s = 4\,826$ мм ²	– площадь сечения растянутой продольной арматуры
$A'_s = 339$ мм ²	– площадь сечения сжатой продольной арматуры

Свойства материалов

Бетон В20	
$E_b = 27\,500\,000$ кН/м ²	– модуль упругости
$R_{bn} = 15\,000$ кН/м ²	– нормативное сопротивление сжатию
Арматура А400 – продольная	
$E_s = 200\,000\,000$ кН/м ²	– модуль упругости
$R_{sn} = 400\,000$ 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:

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_b} \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b4} \cdot \gamma_{b5} = \frac{15\,000}{1.3} \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 11\,538 \text{ кПа.}$$

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 $M = 630 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Находим коэффициент использования балки по прочности на изгиб.

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

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

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

Предположим, что $\xi < \xi_R$, тогда по формуле 8.5 [1] высота сжатой зоны бетона находится как:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b} = \frac{347\,826 \cdot 0.004826 - 347\,826 \cdot 0.000339}{11\,538 \cdot 0.3} = 0.451 \text{ м,}$$

тогда

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.451}{0.63} = 0.716,$$

где

$$h_0 = h - a = 0.7 - 0.07 = 0.63 \text{ м – рабочая высота сечения.}$$

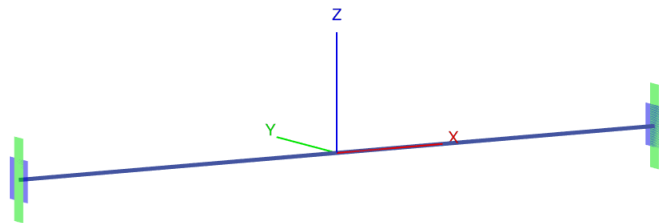
Предположение неверно, $\xi > \xi_R$. Находим коэффициент α_R согласно п. 3.2.5 [2]:

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

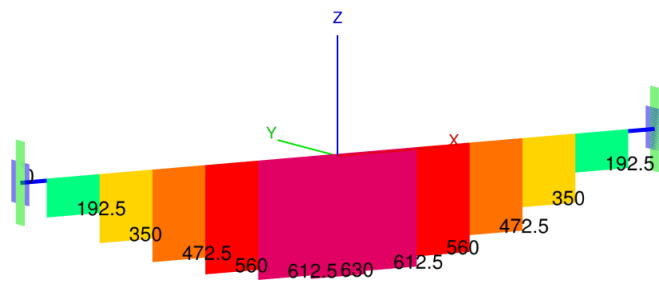
Коэффициент использования балки по прочности находим по формуле 3.18 [2]:

$$K_{\text{исп}} = \frac{M}{\alpha_R \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2 + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')} =$$
$$= \frac{630}{0.392 \cdot 11\,538 \cdot 0.3 \cdot 0.63^2 + 347\,826 \cdot 0.000339 \cdot (0.63 - 0.03)} = 1.035.$$

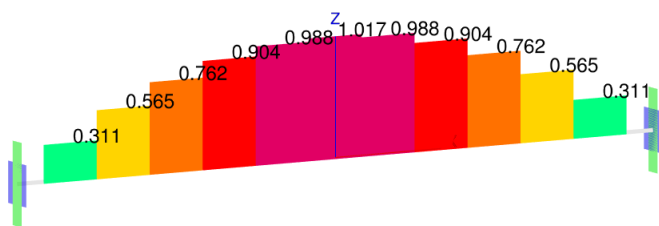
РАСЧЁТ В ПЛАГИНЕ



Общий вид модели



Изгибающие моменты, кН·м



Коэффициенты использования балки по прочности на изгиб

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Параметр для сравнения	SV Plugins	Аналитический расчёт	Отн. погрешность, %
Максимальный коэффициент использования балки по прочности на изгиб	1.017	1.035	1.7

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 конструкций без предварительно напряжённой арматуры». Москва, 2015.