

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ БЕЗБАЛОЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ НА ДЕЙСТВИЕ КРУТЯЩИХ И ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ

ОПИСАНИЕ ПРИМЕРА

Рассматривается каркасная система с безбалочным перекрытием. Число пролётов – 4, шаг колонн 8.4 м. Сечение колонн 600 х 600 мм. Толщина плиты перекрытия 280 мм. Для плит перекрытия используется тяжёлый бетон класса В25 и продольная арматура класса А500. Защитные слои арматуры $a = a' = 40$ мм.

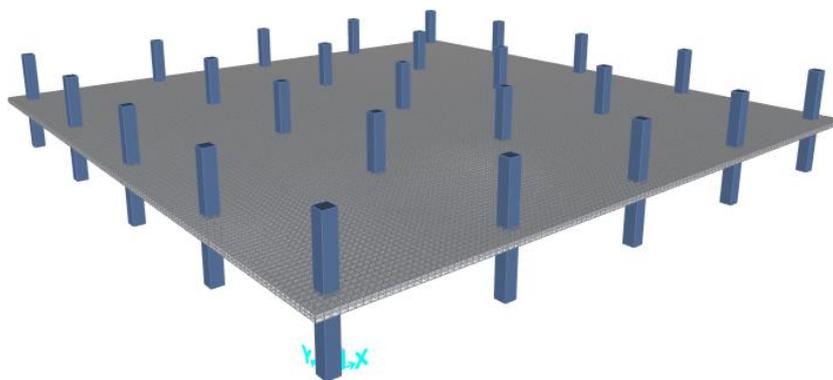
К плите прикладываются равномерно распределённые по площади нагрузки:

- $p_{\text{пол}} = 0.24 \text{ т/м}^2$ – постоянная от веса конструкций пола;
- $p_{\text{офисы}} = 0.2 \text{ т/м}^2$ – временная от офисных помещений;
- $p_{\text{перегородки}} = 0.06 \text{ т/м}^2$ – временная от веса перегородок.

Приводятся нормативные значения нагрузок. Собственный вес конструкций учитывается.

Определяется прочность плиты на совместное действие крутящих и изгибающих моментов при подобранном армировании в пролёте и на опоре. Учитываются понижающие коэффициенты относительно начального модуля упругости бетона: для колонн – 0.6, для плит – 0.2. Сдвиговые деформации не учитываются.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



Геометрия схемы

$$l_x = l_y = 8.4 \text{ м}$$

– длины пролётов в двух направлениях

Свойства сечений

Колонны

$$h = 400 \text{ мм}$$

– высота сечения

$$b = 400 \text{ мм}$$

– ширина сечения

Плита

$$h = 280 \text{ мм}$$

– толщина сечения

$$a = a' = 40 \text{ мм}$$

– защитные слои до центра тяжести арматуры по верху и низу сечения

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
$R_{bтn} = 1\,550 \text{ кН/м}^2$	– нормативное сопротивление растяжению

Арматура А500 – продольная

$E_s = 200\,000\,000 \text{ кН/м}^2$	– модуль упругости
$R_{sn} = 500\,000 \text{ кН/м}^2$	– нормативное сопротивление

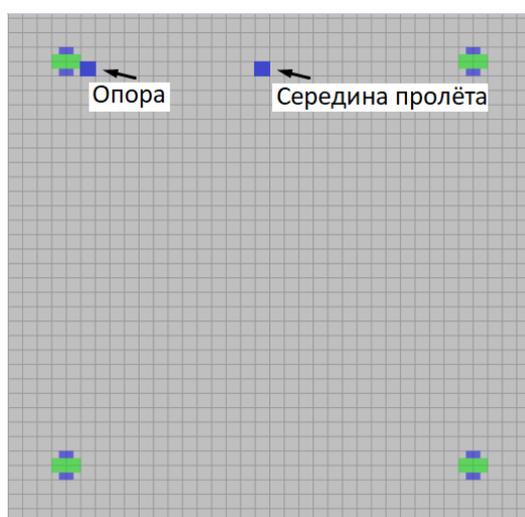
Коэффициенты

$\gamma_b = 1.3$	– коэффициент надёжности по бетону при сжатии
$\gamma_{b1} = 1.0$ $\gamma_{b2} = 1.0$ $\gamma_{b3} = 1.0$ $\gamma_{b4} = 1.0$ $\gamma_{b5} = 1.0$	– коэффициенты условий работы бетона
$\gamma_s = 1.15$	– коэффициент надёжности по арматуре
$\gamma_{f, \text{собВес}} = 1.1$	– коэффициент надёжности по нагрузке от собственного веса конструкций
$\gamma_{f, \text{пол}} = \gamma_{f, \text{офисы}} = \gamma_{f, \text{перегородки}} = 1.2$	– коэффициенты надёжности по нагрузке от веса полов, перегородок и офисных помещений
Коэф. длительности = 0.35	– коэффициент длительности для нагрузки от офисных помещений
Коэф. длительности = 1.0	– коэффициент длительности для нагрузки от веса перегородок

Рассматриваются следующие сочетания нагрузок по первой и второй группе предельных состояний (при составлении сочетаний учитываются коэффициенты сочетания и коэффициенты надёжности по нагрузке):

Имя сочетания	СобВес	Пол	Офисы	Перегородки
1пс-1	1.1	1.2		
1пс-2	1.1	1.2		1.2
1пс-3	1.1	1.2	1.2	
1пс-4	1.1	1.2	1.2	1.2
2пс-1	1	1		
2пс-2	1	1		1
2пс-3	1	1	1	
2пс-4	1	1	1	1

Моменты определяются на участках, показанных на рисунке ниже.



Рассматриваемые участки плиты перекрытия

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. Для 1 ПС и 2 ПС:

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

$$R_{b,ser} = \frac{R_{bn}}{\gamma_{b,ser}} = \frac{18\,500}{1.0} = 18\,500 \text{ кПа}.$$

Согласно формуле 6.2 и положениям п. 6.1.12 [1] определяем расчётное сопротивление бетона осевому растяжению. Для 2 ПС:

$$R_{bt,ser} = \frac{R_{btn}}{\gamma_{bt,ser}} = \frac{1\,550}{1.0} = 1\,550 \text{ кПа}.$$

Согласно формуле 6.10 и положениям п. 6.2.8 [1] определяем расчётное сопротивление продольной арматуры класса А500 на растяжение и сжатие. Для 1 ПС и 2 ПС:

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_s} = \frac{500\,000}{1.15} = 434\,783 \text{ кПа};$$

$$R_{sc} = R_s = 434\,783 \text{ кПа} > 400\,000 \text{ кПа}, \text{ поэтому } R_{sc} = 400\,000 \text{ кПа};$$

$$R_{s,ser} = \frac{R_{sn}}{\gamma_{s,ser}} = \frac{500\,000}{1.0} = 500\,000 \text{ кПа}.$$

Максимальные моменты на рассматриваемых участках плиты, полученные в программе при расчёте по 1 ПС.

В пролёте (сочетание 1пс-4):

- Полные: $M_x = 50.8 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_y = -17.1 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_{xy} = 0.0747 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

На опоре (сочетание 1пс-4):

- Полные: $M_x = -181.2 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_y = -78.3 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_{xy} = 28.9 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Максимальные моменты на рассматриваемых участках плиты, полученные в программе при расчёте по 2 ПС.

В пролёте (сочетание 2пс-4):

- Полные: $M_x = 44.5 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_y = -15.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$;
- Длительные: $M_{x,l} = 39.7 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_{y,l} = -13.4 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

На опоре (сочетание 2пс-4):

- Полные: $M_x = -158.7 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_y = -68.6 \text{ кН} \cdot \text{м}$;
- Длительные: $M_{x,l} = -141.5 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $M_{y,l} = -61.1 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Площадь армирования, подобранная в SV Plugins при расчёте по 1 ПС (минимальный процент армирования принят равным 0).

В пролёте:

$$A_{s \text{ верх } X} = A'_s = 0.0 \text{ м}^2, A_{s \text{ низ } X} = A_s = 0.000503 \text{ м}^2;$$

$$A_{s \text{ верх } Y} = A_s = 0.000166 \text{ м}^2, A_{s \text{ низ } Y} = A_{sc} = 0.0 \text{ м}^2.$$

На опоре:

$$A_{s \text{ верх } X} = A_s = 0.002262 \text{ м}^2, A_{s \text{ низ } X} = A_{sc} = 0.0 \text{ м}^2;$$

$$A_{s \text{ верх } Y} = A_s = 0.001249 \text{ м}^2, A_{s \text{ низ } Y} = A_{sc} = 0.0 \text{ м}^2.$$

Площадь армирования, подобранная в SV Plugins при расчёте по 1 ПС и 2 ПС (диаметр арматуры для расчёта ширины раскрытия трещин принят равным $d_s = 12 \text{ мм}$):

В пролёте:

$$A_{s \text{ верх } X} = A'_s = 0.0 \text{ м}^2, A_{s \text{ низ } X} = A_s = 0.000503 \text{ м}^2;$$

$$A_{s \text{ верх } Y} = A_s = 0.000166 \text{ м}^2, A_{s \text{ низ } Y} = A'_s = 0.0 \text{ м}^2.$$

На опоре:

$$A_{S \text{ верх } X} = A_S = 0.002432 \text{ м}^2, A_{S \text{ низ } X} = A'_S = 0.0 \text{ м}^2;$$

$$A_{S \text{ верх } Y} = A_S = 0.001249 \text{ м}^2, A_{S \text{ низ } Y} = A'_S = 0.0 \text{ м}^2.$$

Находим коэффициенты использования плиты по прочности при совместном действии крутящих и изгибающих моментов в пролёте.

Момент M_x

Расчёт ведётся как для изгибаемой балки с шириной $b = 1$ м и высотой $h = 0.28$ м.

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

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = \frac{0.8}{1 + \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{3.5 \cdot 10^{-3}}} = 0.493,$$

где

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{434\,783}{200\,000\,000} = 2.17 \cdot 10^{-3} \text{ – относительная деформация растянутой арматуры при напряжениях, равных } R_s, \text{ определяемая по формуле 8.2 [1];}$$

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

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

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b} = \frac{434\,783 \cdot 0.000503 - 0}{14\,231 \cdot 1} = 0.015 \text{ м,}$$

тогда

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.015}{0.24} = 0.064,$$

где

$$h_0 = h - a = 0.28 - 0.04 = 0.24 \text{ м – рабочая высота сечения.}$$

Так как $\xi < \xi_R$, то предположение верно, и сжатая зона бетона $x = 0.015$ м.

Коэффициент использования плиты по прочности на изгиб находим по формуле 8.101 с использованием формулы 8.4 [1]:

$$\begin{aligned} K_{\text{исп}} &= \frac{M_x}{M_{x,ult}} = \frac{M_x}{R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')} = \\ &= \frac{50.8}{14\,231 \cdot 1 \cdot 0.015 \cdot (0.24 - 0.5 \cdot 0.015) + 0} = \frac{50.8}{50.8} = 1.000. \end{aligned}$$

Момент M_y

Расчёт ведётся как для изгибаемой балки с шириной $b = 1$ м и высотой $h = 0.28$ м.

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

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b} = \frac{434\,783 \cdot 0.000166 - 0}{14\,231 \cdot 1} = 0.005 \text{ м,}$$

тогда

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.005}{0.24} = 0.021,$$

где

$$h_0 = h - a = 0.28 - 0.04 = 0.24 \text{ м} - \text{рабочая высота сечения.}$$

Так как $\xi < \xi_R$, то предположение верно, и сжатая зона бетона $x = 0.005$ м.

Коэффициент использования плиты по прочности на изгиб находим по формуле 8.102 с использованием формулы 8.4 [1]:

$$\begin{aligned} K_{\text{исп}} &= \frac{M_y}{M_{y,ult}} = \frac{M_y}{R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')} = \\ &= \frac{17.1}{14\,231 \cdot 1 \cdot 0.005 \cdot (0.24 - 0.5 \cdot 0.005) + 0} = \frac{17.1}{17.1} = 1.000. \end{aligned}$$

Момент M_{xy} и совместное действие M_x , M_y и M_{xy}

Момент $M_{xy} = 0.0747$ кН · м ≈ 0 кН · м, поэтому коэффициенты использования плиты по прочности на действие крутящего момента, а также на совместное действие крутящих и изгибающих моментов $K_{\text{исп}} \approx 0.000$.

Тогда максимальный коэффициент использования плиты по прочности в пролёте:

$$K_{\text{исп}} = 1.000 \text{ (проверка на прочность при изгибе } M_x \text{ и при изгибе } M_y).$$

Аналогично находим коэффициенты использования плиты по прочности при совместном действии крутящих и изгибающих моментов на опоре.

Момент M_x

Расчёт ведётся как для изгибаемой балки с шириной $b = 1$ м и высотой $h = 0.28$ м.

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

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b} = \frac{434\,783 \cdot 0.002262 - 0}{14\,231 \cdot 1} = 0.069 \text{ м,}$$

тогда

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.069}{0.24} = 0.288.$$

Так как $\xi < \xi_R$, то предположение верно, и сжатая зона бетона $x = 0.069$ м.

Коэффициент использования плиты по прочности на изгиб находим по формуле 8.101 с использованием формулы 8.4 [1]:

$$\begin{aligned} K_{\text{исп}} &= \frac{M_x}{M_{x,ult}} = \frac{M_x}{R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')} = \\ &= \frac{181.2}{14\,231 \cdot 1 \cdot 0.069 \cdot (0.24 - 0.5 \cdot 0.069) + 0} = \frac{181.2}{202.1} = 0.897. \end{aligned}$$

Момент M_y

Расчёт ведётся как для изгибаемой балки с шириной $b = 1$ м и высотой $h = 0.28$ м.

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

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b} = \frac{434\,783 \cdot 0.001249 - 0}{14\,231 \cdot 1} = 0.038 \text{ м,}$$

тогда

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.038}{0.24} = 0.159.$$

Так как $\xi < \xi_R$, то предположение верно, и сжатая зона бетона $x = 0.038$ м.

Коэффициент использования плиты по прочности на изгиб находим по формуле 8.102 с использованием формулы 8.4 [1]:

$$\begin{aligned} K_{\text{исп}} &= \frac{M_y}{M_{y,ult}} = \frac{M_y}{R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')} = \\ &= \frac{78.3}{14\,231 \cdot 1 \cdot 0.038 \cdot (0.24 - 0.5 \cdot 0.038) + 0} = \frac{78.3}{120.0} = 0.653. \end{aligned}$$

Момент M_{xy}

Коэффициент использования плиты по прочности на действие крутящего момента находим по формуле 8.103 с использованием формул 8.104 (по бетону) и 8.105 (по арматуре) [1]:

$$K_{\text{исп}} = \frac{M_{xy}}{M_{bxy,ult}} = \frac{M_{xy}}{0.1 \cdot R_b \cdot b^2 \cdot h} = \frac{28.9}{0.1 \cdot 14\,231 \cdot 1^2 \cdot 0.28} = 0.073;$$

$$\begin{aligned} K_{\text{исп}} &= \frac{M_{xy}}{M_{sxy,ult}} = \frac{M_{xy}}{0.5 \cdot R_s \cdot (A_{s \text{ верх } X} \cdot h_{0X} + A_{s \text{ верх } Y} \cdot h_{0Y})} = \\ &= \frac{28.9}{0.5 \cdot 434\,783 \cdot 0.24 \cdot (0.002262 + 0.001249)} = 0.158. \end{aligned}$$

Совместное действие M_x , M_y и M_{xy}

Коэффициент использования плиты по прочности на совместное действие крутящих и изгибающих моментов находим по формуле 8.100 [1]:

$$K_{\text{исп}} = \frac{M_{xy}^2}{(M_{x,ult} - M_x) \cdot (M_{y,ult} - M_y)} = \frac{28.9^2}{(202.1 - 181.2) \cdot (120.0 - 78.3)} = 0.960.$$

Тогда максимальный коэффициент использования плиты по прочности на опоре:

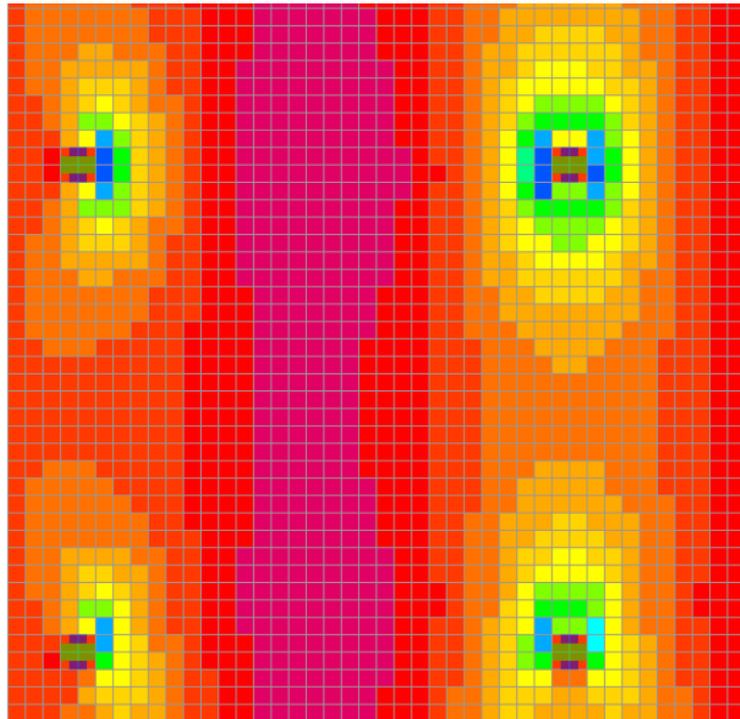
$$K_{\text{исп}} = 0.960 \text{ (проверка на прочность при совместном действии крутящих и изгибающих моментов).}$$

Определяем отношение ширины раскрытия трещин к предельно допустимому значению. Подробный порядок расчёта представлен в примерах 5 и 6 верификации. В таблице ниже сведены промежуточные результаты расчёта для участка в пролёте и для участка на опоре.

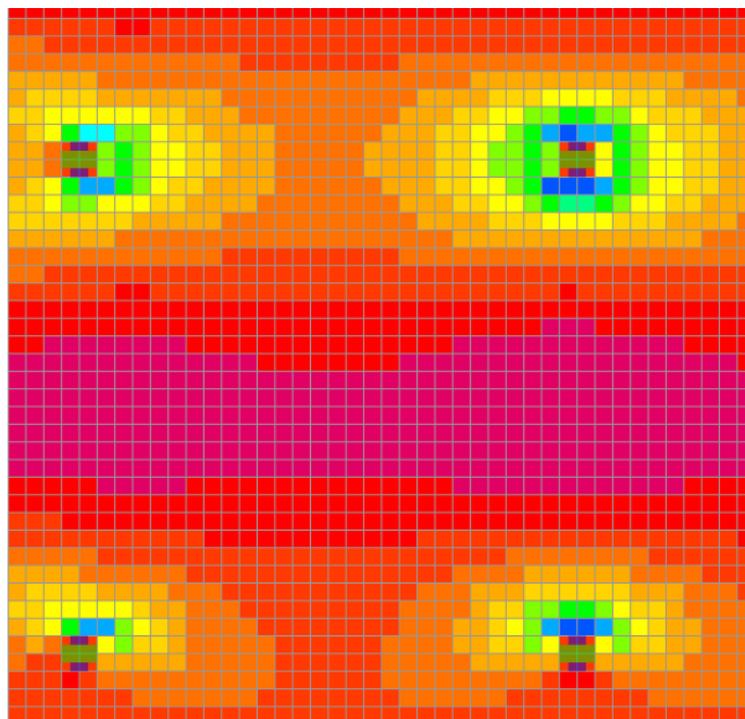
Параметр	Участок	Пролёт		Опора	
		Напр. 1 (X)	Напр. 2 (Y)	Напр. 1 (X)	Напр. 2 (Y)
Характеристики приведённого сечения без трещины	α	6.667			
	$A_b, \text{м}^2$	0.28000			
	$A_s, \text{м}^2$	0.000503	0.000166	0.002432	0.001249
	$A_{red,full}, \text{м}^2$	0.28335	0.28111	0.29621	0.28833
	$S_{red,full}, \text{м}^2$	0.03933	0.03924	0.03985	0.03953
	$y_{red,full}, \text{м}$	0.139	0.140	0.135	0.137
	$I_{b,red,full}, \text{м}^4$	0.00183	0.00183	0.00184	0.00183
	$I_{s,red,full}, \text{м}^4$	0.000005	0.000002	0.000022	0.000012
	$I_{red,full}, \text{м}^4$	0.00186	0.00184	0.00198	0.00191
	$W_{red,full}, \text{м}^3$	0.01342	0.01318	0.01474	0.01393
	$W_{pl,full}, \text{м}^3$	0.01744	0.01714	0.01916	0.01811
Момент трещинообр.	$M_{crc}, \text{кН} \cdot \text{м}$	27.03	26.56	29.70	28.07
	Обр. трещины?	да	нет	да	да
Характеристики приведённого сечения с трещиной	$E_{b,red}, \text{кПа}$	12 333 333			
	$\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$	16.216			
	μ_s	0.002	-	0.010	0.005
	$x_m, \text{м}$	0.055	-	0.104	0.080
	$A_{bc}, \text{м}^2$	0.05494	-	0.10369	0.08040
	$A_{red}, \text{м}^2$	0.06310	-	0.14313	0.10066
	$S_{red}, \text{м}^3$	0.00347	-	0.01484	0.00809
	$y_{red}, \text{м}$	0.055	-	0.104	0.080
	$I_{bc,red}, \text{м}^4$	0.00006	-	0.00037	0.00017
	$I_{s,red}, \text{м}^4$	0.00002	-	0.00005	0.00003
$I_{red}, \text{м}^4$	0.00033	-	0.00110	0.00069	

Участок		Пролёт		Опора	
		Напр. 1 (X)	Напр. 2 (Y)	Напр. 1 (X)	Напр. 2 (Y)
Параметры для расчёта ширины раскрытия трещин	$\sigma_{s,crc}$, кПа	242 448	-	59 437	105 422
	σ_s , кПа	399 076	-	317 640	257 619
	$\sigma_{s,l}$, кПа	356 029	-	283 214	229 454
	ψ_s	0.514	-	0.850	0.673
	$\psi_{s,l}$	0.455	-	0.832	0.632
	A_{bt} , м ⁴	0.13882	-	0.13453	0.13711
	l_s , м	0.400	-	0.332	0.400
	φ_1	1.4 / 1.0 / 1.0			
	φ_2	0.5			
	φ_3	1.0			
	Ширина раскрытия трещин	$a_{crc,1}$, мм	0.227	-	0.274
$a_{crc,2}$, мм		0.205	-	0.224	0.173
$a_{crc,3}$, мм		0.162	-	0.196	0.145
$a_{crc,l}$, мм		0.227	-	0.274	0.203
$a_{crc,l ult}$, мм		0.300			
a_{crc} , мм		0.270	-	0.302	0.231
$a_{crc ult}$, мм		0.400			
$a_{crc,l}/a_{crc,l ult}$		0.756	0.000	0.913	0.677
$a_{crc}/a_{crc ult}$		0.675	0.000	0.756	0.578

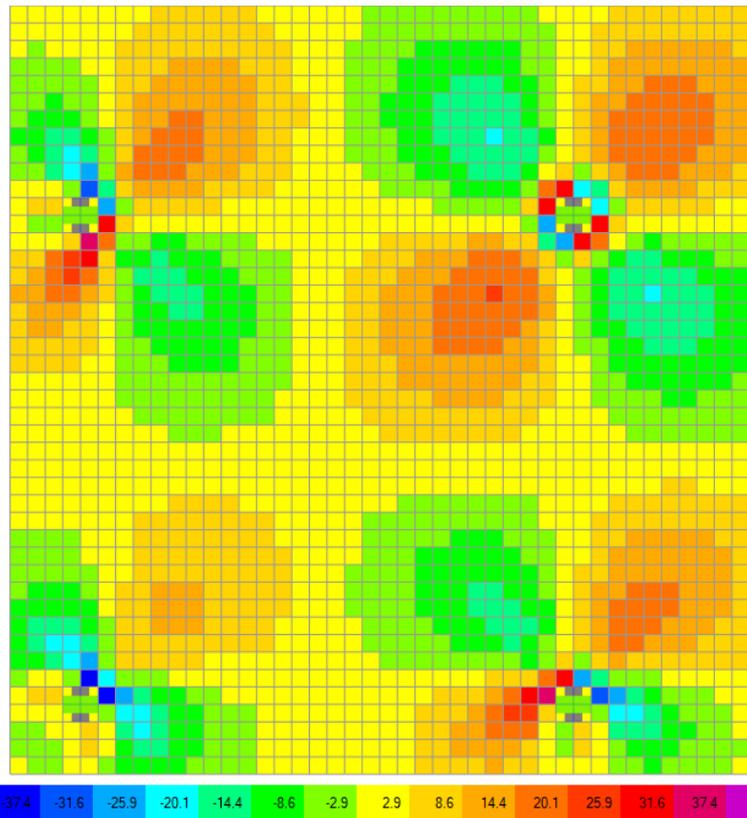
РАСЧЁТ В ПЛАГИНЕ



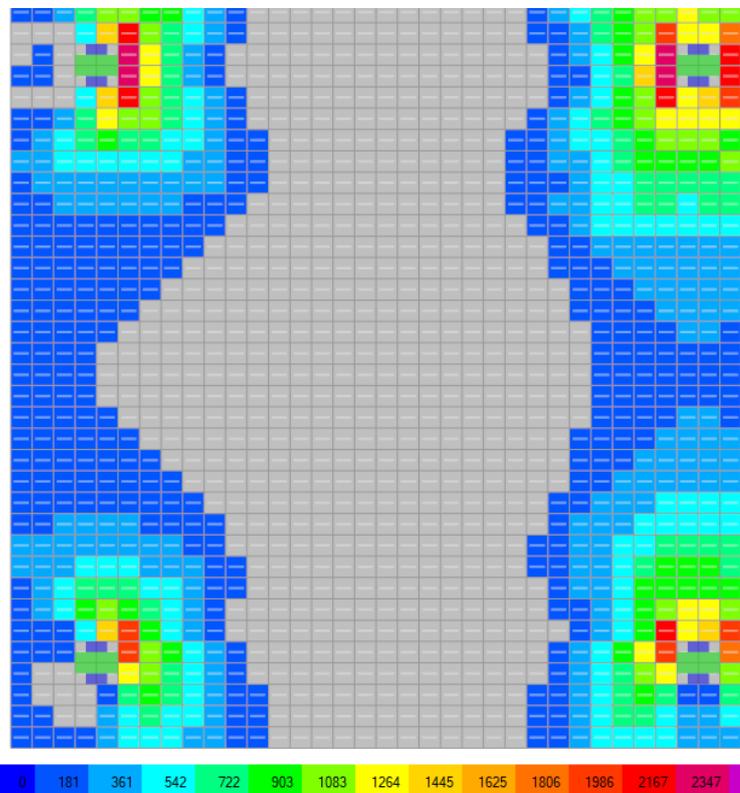
Изополя изгибающих моментов M_{11} (M_x), кН · м/м, для 1пс-4 в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



Изополя изгибающих моментов M_{22} (M_y), кН · м/м, для 1пс-4 в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия

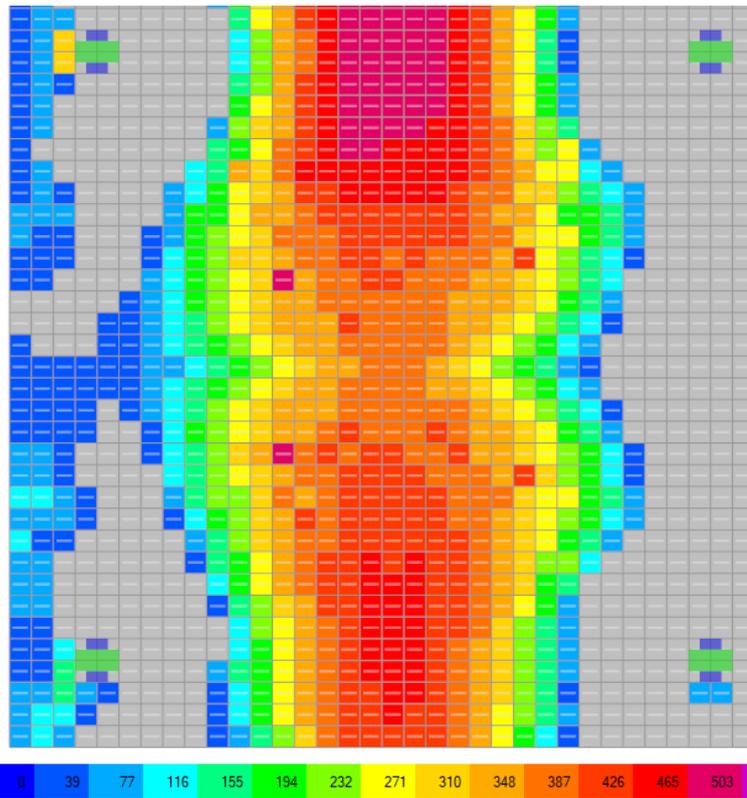


Изополя крутящих моментов M_{12} (M_{xy}), $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$, для 1с-4 в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



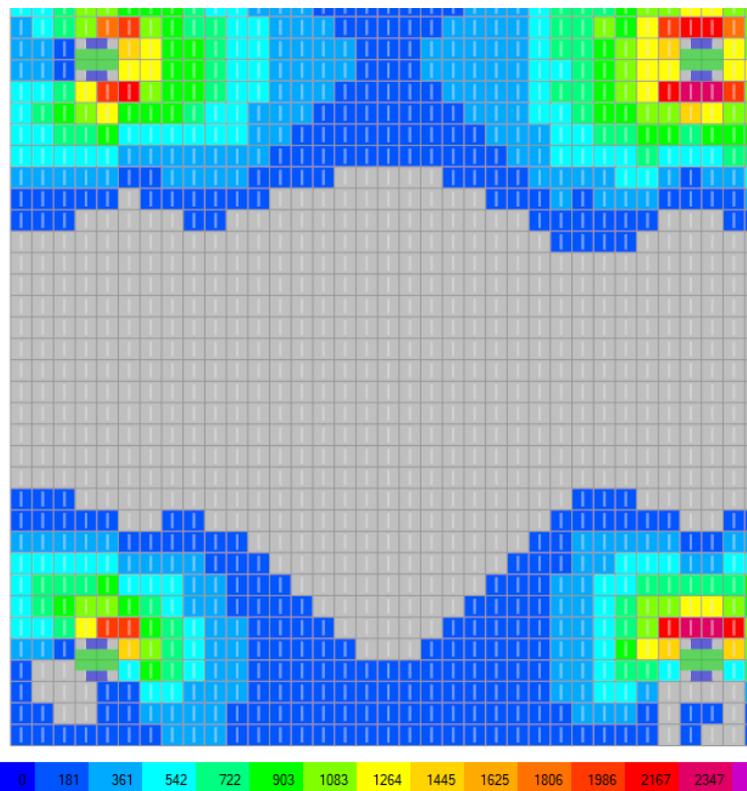
Расчёт 1 ПС

Изополя требуемого продольного армирования по верху сечения в направлении оси 1 (X), mm^2 , в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



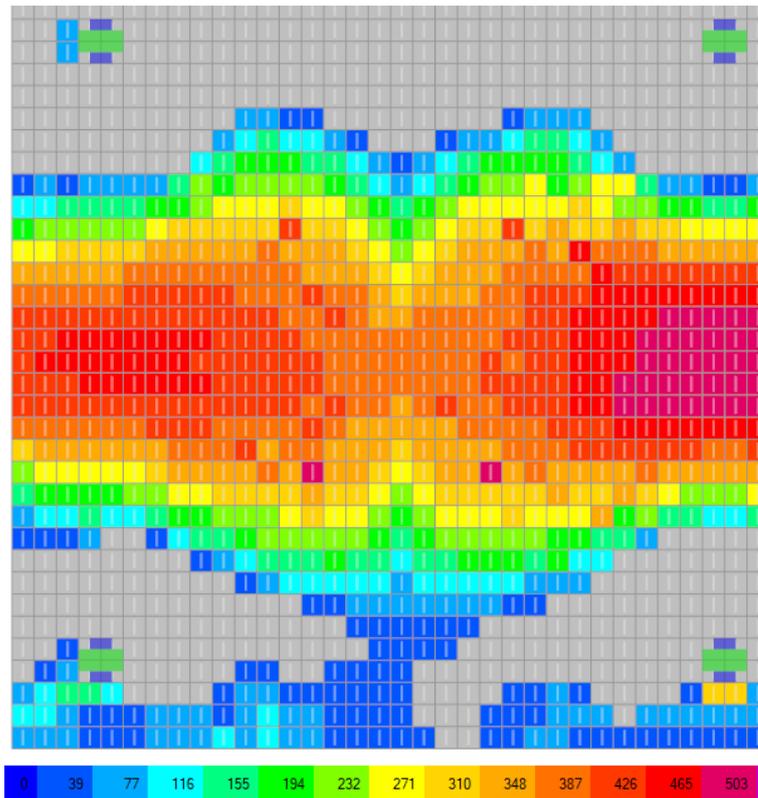
Расчёт 1 ПС

Изополю требуемого продольного армирования по низу сечения в направлении оси 1 (X), мм², в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



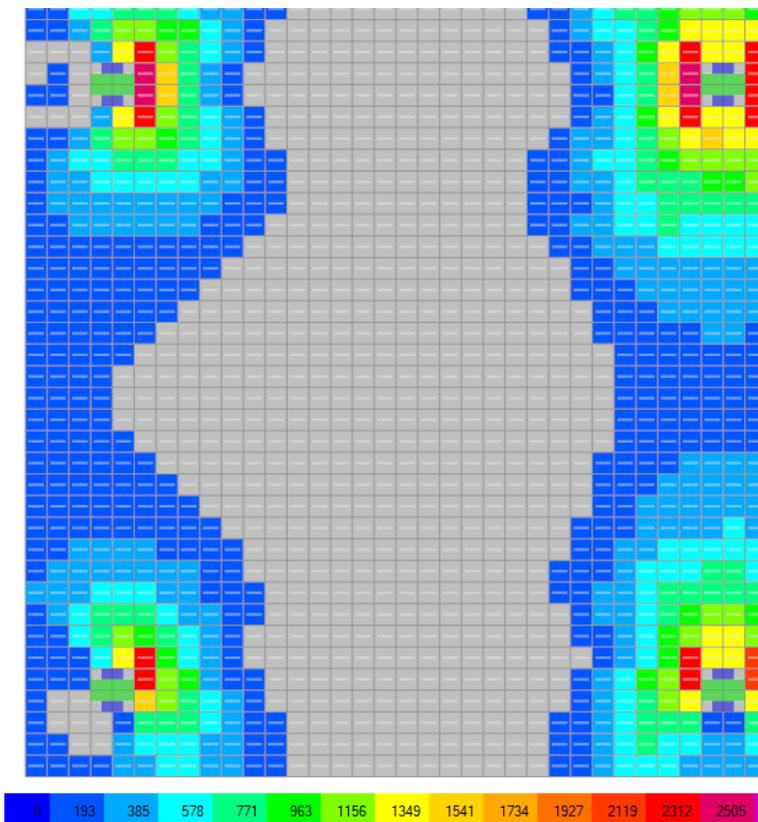
Расчёт 1 ПС

Изополю требуемого продольного армирования по верху сечения в направлении оси 2 (Y), мм², в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



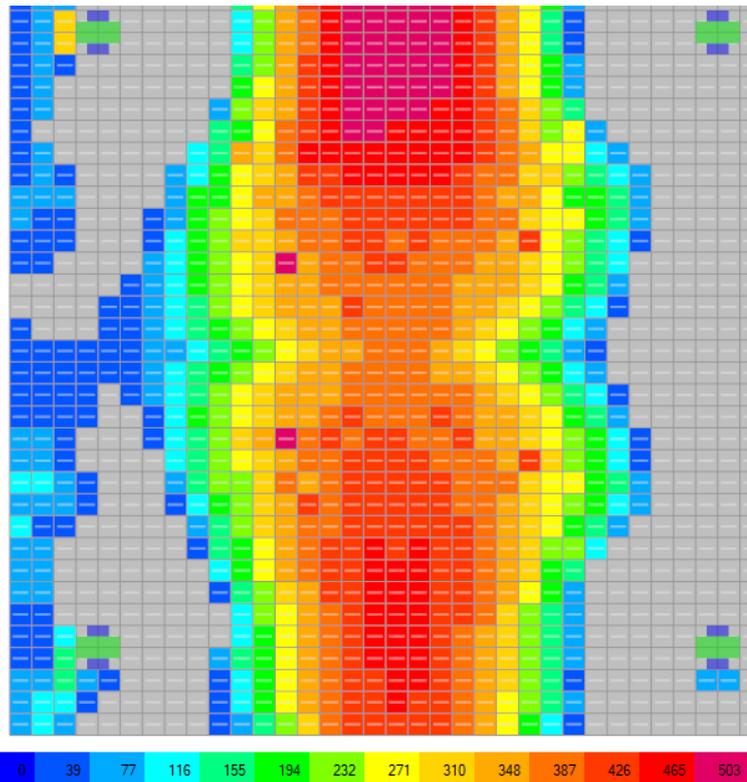
Расчёт 1 ПС

Изополю требуемого продольного армирования по низу сечения в направлении оси 2 (Y), мм², в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



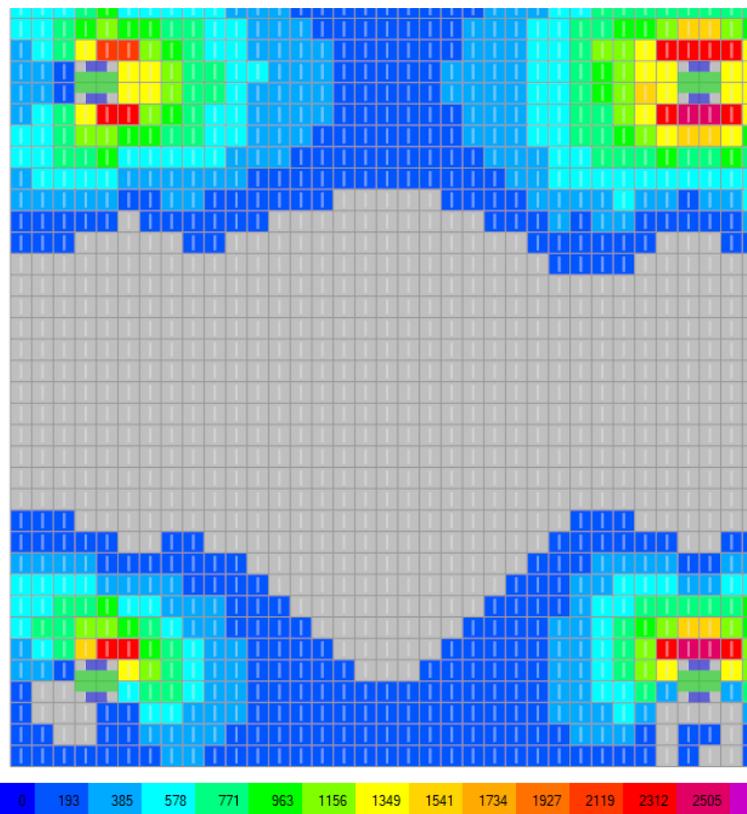
Расчёт 1 ПС + 2 ПС

Изополю требуемого продольного армирования по верху сечения в направлении оси 1 (X), мм², в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



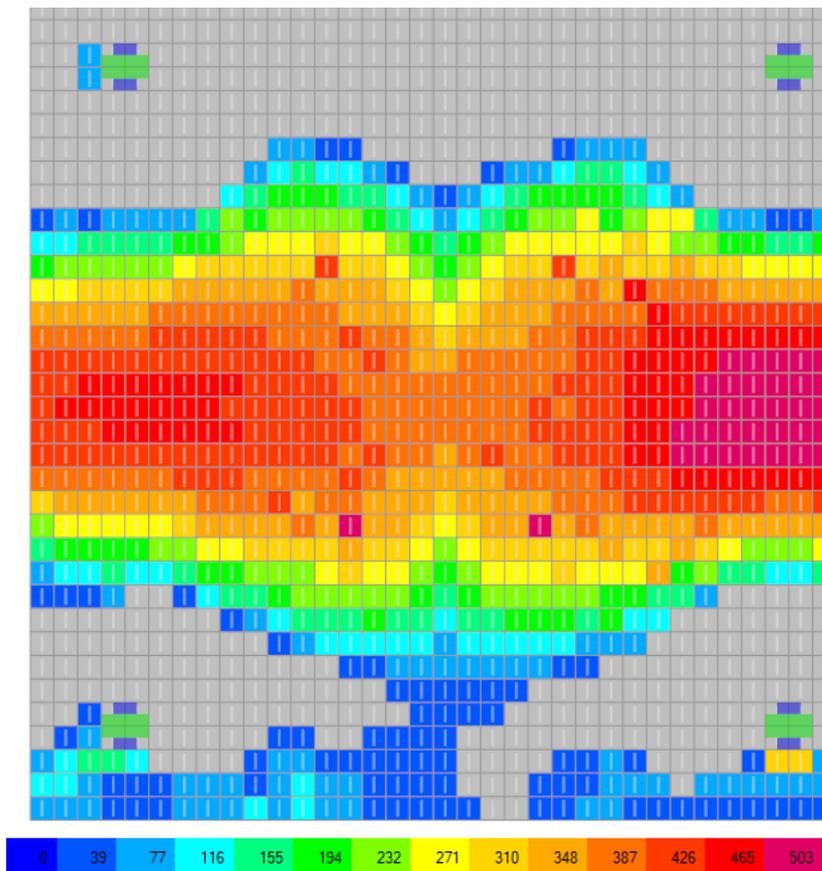
Расчёт 1 ПС + 2 ПС

Изополю требуемого продольного армирования по низу сечения в направлении оси 1 (X), мм², в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



Расчёт 1 ПС + 2 ПС

Изополю требуемого продольного армирования по верху сечения в направлении оси 2 (Y), мм², в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия



Расчёт 1 ПС + 2 ПС

Изополя требуемого продольного армирования по низу сечения в направлении оси 2 (Y), мм², в элементах оболочки на рассматриваемом участке перекрытия

978	0.969	1	0.983	0.918	0.87	0.965	0.969	0.982	0.976	0.99	0.985	0.997	1	1	1	1
1	0.999	0.97	0.93	1	0.994	0.966	0.99	0.97	0.999	0.993	0.995	1	1	1	1	1
956	()	()	0.931	0.98	0.984	0.993	0.97	1	1	1	1	1	1	1	1	1
951	()	()	0.988	0.973	0.983	0.991	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.998	0.97	0.928	Опора	0.926	0.998	0.978	0.995	0.993	1	1	Пролёт	1	1	1	1
978	0.969	1	0.982	0.912	0.968	0.965	0.978	0.95	0.976	0.99	0.985	0.997	1	1	1	1

Расчёт 1 ПС

Максимальные коэффициенты использования плиты по прочности при действии крутящих и изгибающих моментов на опоре и в пролёте

0.676	0.686	0.661	0.809	0.731	0.578	0.524	0.441	0.332	0	0.182	0.418	0.541	0.609	0.649	0.664	0.655
0.783	0.805	0.797	0.824	0.808	0.834	0.704	0.633	0.502	0.381	0.219	0.46	0.569	0.632	0.668	0.678	0.669
0	()		0.741	0.803	0.81	0.839	0.719	0.628	0.481	0.247	0.486	0.588	0.645	0.675	0.685	0.677
0			0.797	0.803	0.81	0.853	0.758	0.639	0.489	0.248	0.488	0.59	0.647	0.677	0.686	0.678
0.831	0.803	0.755	0.799	Опора		0.693	0.659	0.524	0.395	0.228	0.47	0.577	Пролёт		0.681	0.673
0.711	0.714	0.67	0.808	0.734	0.626	0.556	0.473	0.338	0	0.195	0.434	0.552	0.619	0.658	0.67	0.662

Расчёт 1 ПС + 2 ПС

Максимальные отношения ширины раскрытия трещин к допустимому значению на опоре и в пролёте при полной нагрузке

0.776	0.801	0.775	0.957	0.856	0.661	0.584	0.472	0.322	0	0	0.423	0.582	0.671	0.723	0.741	0.73
0.9	0.956	0.958	0.994	0.956	0.978	0.814	0.714	0.542	0.372	0	0.474	0.617	0.7	0.746	0.76	0.748
0	()		0.896	0.956	0.956	0.98	0.824	0.697	0.499	0	0.504	0.64	0.717	0.757	0.77	0.759
0			0.964	0.957	0.957	0.997	0.869	0.71	0.509	0	0.507	0.642	0.718	0.758	0.771	0.76
0.964	0.956	0.909	0.964	Опора		0.803	0.745	0.568	0.389	0	0.486	0.627	Пролёт		0.764	0.753
0.823	0.838	0.788	0.957	0.86	0.719	0.625	0.51	0.333	0	0	0.443	0.596	0.683	0.733	0.75	0.738

Расчёт 1 ПС + 2 ПС

Максимальные отношения ширины раскрытия трещин к допустимому значению на опоре и в пролёте при длительной составляющей нагрузки

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Параметр для сравнения	SV Plugins	Аналитический расчёт	Отн. погрешность, %
Максимальный коэффициент использования плиты по прочности при действии крутящих и изгибающих моментов в пролёте (арматура подобрана по 1 ПС)	1.000	1.000	0.0
Максимальный коэффициент использования плиты по прочности при действии крутящих и изгибающих моментов на опоре (арматура подобрана по 1 ПС)	0.988	0.960	2.9
Максимальное отношение ширины раскрытия трещин к допустимому значению в пролёте при полной нагрузке (арматура подобрана по 1 ПС + 2 ПС)	0.686	0.675	1.6

Параметр для сравнения	SV Plugins	Аналитический расчёт	Отн. погрешность, %
Максимальное отношение ширины раскрытия трещин к допустимому значению на опоре при полной нагрузке (арматура подобрана по 1 ПС + 2 ПС)	0.797	0.756	5.4
Максимальное отношение ширины раскрытия трещин к допустимому значению в пролёте при длительной составляющей нагрузки (арматура подобрана по 1 ПС + 2 ПС)	0.771	0.756	2.0
Максимальное отношение ширины раскрытия трещин к допустимому значению на опоре при длительной составляющей нагрузки (арматура подобрана по 1 ПС + 2 ПС)	0.964	0.913	5.6

ССЫЛКИ

1. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (с Изменением N 1). Москва, 2019.
2. Давидюк А. А., Артемьев Е. А., Шокот С. В. «Подбор армирования в плитах перекрытия в программных комплексах ЛИРА-САПР, SCAD, ЛИРА-10». Промышленное и гражданское строительство, N 10, 2018, с. 69-73.