

# FireDesign R1

Руководство пользователя

Приложение: FireDesign

Версия: R1.4

Описание: Диаграммный метод расчета плоских железобетонных сечений.  
Огнестойкость и огнесохранность

Дата: 2024-02-04

Разработка: <https://constructionlab.ru>

E-mail: [support@constructionlab.ru](mailto:support@constructionlab.ru)

## Содержание

<b>1</b>	<b>Сечение .....</b>	<b>4</b>
1.1	Бетон.....	4
1.2	Геометрия.....	4
1.3	Ненапрягаемая арматура.....	5
1.4	Генерация стержней .....	6
<b>2</b>	<b>Параметры.....</b>	<b>7</b>
2.1	Опции .....	7
2.2	Влияние продольного изгиба .....	7
2.3	Нагрев.....	7
2.4	Графика.....	7
<b>3</b>	<b>Огнестойкость.....</b>	<b>9</b>
3.1	Таблица расчетных сочетаний усилий .....	9
3.2	Параметры.....	10
<b>4</b>	<b>Огнесохранность .....</b>	<b>11</b>
4.1	Таблица расчетных сочетаний усилий .....	11
4.2	Параметры.....	11
<b>5</b>	<b>Импорт DXF.....</b>	<b>12</b>
5.1	Общие положения .....	12
5.2	Импорт стандартного сечения.....	12
<b>6</b>	<b>Общие пояснения к верификационным задачам .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Верификационные задачи – Огнестойкость железобетонных конструкций.....</b>	<b>16</b>
7.1	Задача 1.1 – Несущая способность ж.б. плиты.....	16
7.2	Задача 1.2 – Несущая способность ж.б. балки.....	23
7.3	Задача 1.3 – Несущая способность ж.б. колонны .....	29
<b>8</b>	<b>Верификационные задачи – Огнесохранность железобетонных конструкций .....</b>	<b>40</b>
8.1	Задача 2.1 – Несущая способность ж.б. колонны .....	40
<b>9</b>	<b>Литература.....</b>	<b>46</b>

# 1 Сечение

## 1.1 Бетон

**Класс бетона по прочности на сжатие:**

- B15, B20, B25, B30, B35, B40, B45, B50, B55.

**Состав (тип заполнителя):**

- силикатный;
- карбонатный.

**Расширенные диаграммы бетона** – относительные деформации бетона при нагреве выше 500 °С принимаются в соответствии с EC2.

## 1.2 Геометрия

**Сечение** – прямоугольное, круглое.

Прямоугольное сечение:

- $b$  – ширина сечения, мм;
- $h$  – высота сечения, мм.

Круглое сечение:

- $D$  – диаметр сечения, мм.

**Элементы** – генерация сети элементов:

- по оси  $Y$ ;
- по оси  $Z$ .

**Импорт DXF** – импорт геометрии сечения из DXF (см. отдельное руководство).

**Генерация сечения** – графическое отображение введенных данных.

**Примеры ввода данных:**

- Прямоугольное сечение с размерами 400×800 мм, сеть элементов 10×10 мм:

Геометрия	
Сечение	прямоугольное ▾
$b$	<input type="text" value="400"/> мм
$h$	<input type="text" value="800"/> мм
$D$	<input type="text"/> мм
Элементы	<input type="text" value="10"/> <input type="text" value="10"/> мм
САПР	<input type="button" value="Импорт DXF"/>
Генерация	<input type="button" value="Сечение"/>

- Круглое сечение диаметром 800 мм, средний размер сети элементов 10x10 мм:

Геометрия

Сечение:

b:  мм

h:  мм

D:  мм

Элементы:   мм

САПР:

Генерация:

### 1.3 Ненапрягаемая арматура

**Класс ненапрягаемой арматуры по прочности на растяжение:**

- A240, A400, A500.

**Функционал:**

- добавление или удаление строк;
- назначение одинаковых значений выделенным ячейкам.

За **начало координат** приняты следующие узлы:

- прямоугольное сечение – левый нижний узел;
- круглое сечение – центр окружности.

**Пример ввода данных:**

- Прямоугольное сечение с размерами 400×400 мм, арматура углового типа – 4Ø25 A500,  $a = a' = 50$  мм:

Ненапрягаемая арматура

	Y, мм	Z, мм	d, мм
1	50	50	25
2	350	50	25
3	50	350	25
4	350	350	25

Графика

Ненапрягаемая арматура окрашивается в синий цвет.

## 1.4 Генерация стержней

Доступен ввод цепочки стержней ненапрягаемой или напрягаемой арматуры по линии или по окружности.

При вводе цепочки стержней по линии:

- начальная точка ряда с координатами  $Y_1, Z_1$ , мм;
- конечная точка ряда с координатами  $Y_2, Z_2$ , мм.

При вводе цепочки стержней по окружности:

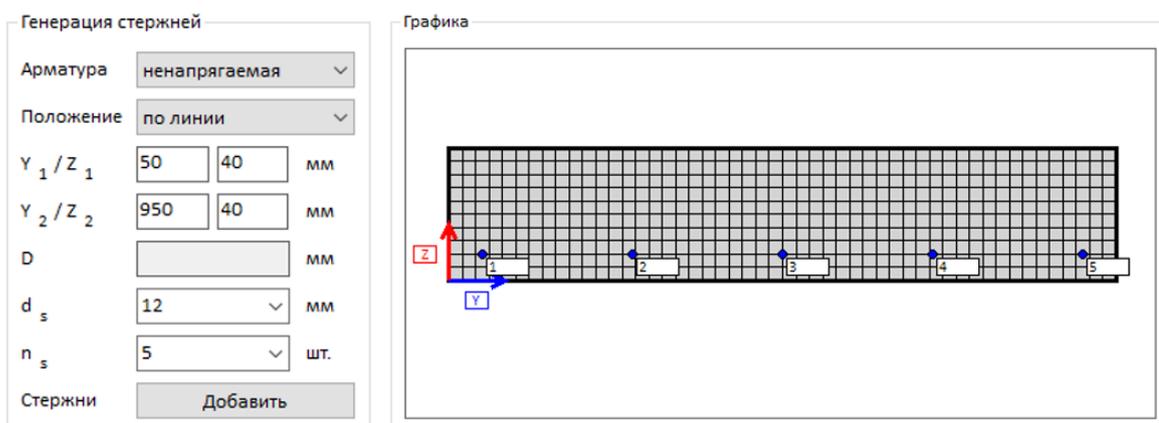
- $D$  – диаметр окружности ряда стержней, мм.

Цепочка стержней:

- $d_s$  – диаметр ряда стержней, мм;
- $n_s$  – количество стержней, шт.

**Пример ввода данных:**

- Прямоугольное сечение с размерами  $1000 \times 200$  мм, нижняя арматура –  $5\phi 12$ ,  $a = 40$  мм:



## 2 Параметры

### 2.1 Опции

**Единицы измерения** – единицы измерения усилий в таблицах расчетных сочетаний.

**g** – ускорение свободного падения,  $m/s^2$ . Внутрипрограммные расчеты выполняются в Н и мм; при выборе единиц измерения расчетных сочетаний усилий в тс – конвертация происходит умножением на коэффициент g.

**Точность** – точность итерационных вычислений, %. Характеризует максимальную погрешность относительных деформаций и внутренних усилий текущей итерации от предыдущей.

**Итерации** – максимальное количество итераций (для одного шага), шт.

**Округление** – количество разрядов для округления усилий в таблицах расчетных сочетаний.

### 2.2 Влияние продольного изгиба

**$L_z, L_y$**  – длина элемента в плоскости, соответственно, XOZ (для корректировки изгибающих моментов  $M_y$ ) и XOY (для корректировки изгибающих моментов  $M_z$ ), мм.

**$\mu_z, \mu_y$**  – коэффициент расчетной длины в плоскости, соответственно, XOZ (для корректировки изгибающих моментов  $M_y$ ) и XOY (для корректировки изгибающих моментов  $M_z$ ).

**$e_{t,z}, e_{t,y}$**  – дополнительный эксцентриситет продольной сжимающей силы в плоскости, соответственно, XOZ (для корректировки изгибающих моментов  $M_y$ ) и XOY (для корректировки изгибающих моментов  $M_z$ ), например, от температурного воздействия, мм.

**Схема** – статически неопределимая или статически определимая (для учета случайного эксцентриситета продольной сжимающей силы).

### 2.3 Нагрев

**Прогрев сечения:**

- всесторонний;
- настраиваемый (выбор – снизу, сверху, слева, справа, возможно комбинирование);
- вдоль оси Z (снизу, сверху);
- вдоль оси Y (слева, справа).

### 2.4 Графика

**Координатные оси** – отображение или выключение координатных осей.

**Сеть элементов** – отображение или выключение сети элементов.

**Номера стержней арматуры** – отображение или выключение номеров стержней арматуры.

**Напряжения в арматуре** – отображение или выключение напряжений в арматуре, МПа.

**Центр жесткости** – отображение или выключение центра жесткости нагруженного сечения.

## 3 Огнестойкость

### 3.1 Таблица расчетных сочетаний усилий

#### Правило знаков усилий:

- отрицательная продольная сила  $N$  создает сжимающие напряжения в сечении;
- положительный изгибающий момент  $M_y$  растягивает нижнюю грань сечения;
- положительный изгибающий момент  $M_z$  растягивает правую грань сечения.

#### Основные принципы работы с таблицами расчетных сочетаний усилий:

- добавление или удаление строк;
- назначение одинаковых значений выделенным ячейкам;
- округление расчетных сочетаний усилий.

При активации расчета таблица блокируется. Для возврата в режим редактирования необходимо активировать кнопку «Редактировать», при этом результаты удаляются.

В столбце «Решение» приводится коэффициент использования сжатого бетона (с индексом «b») или относительный коэффициент использования растянутой арматуры (с индексом «s»). Если коэффициент оказывается больше единицы, тогда относительные деформации в арматуре превысили расчетный предел упругости (для двухлинейной диаграммы сечения). В любом случае рекомендуется анализировать жесткостные характеристики нагруженного сечения.

Для отображения графического результата конкретного сочетания усилий необходимо нажать кнопку определенной строки столбца «Решение».

#### Загрузка результатов в столбец «k»:

- $\epsilon_x$  – осевая деформация в центре жесткости нагруженного сечения, д.ед.;
- $1/r_y$  – кривизна вокруг оси  $Y$  относительно центра жесткости нагруженного сечения,  $1/m$ ;
- $1/r_z$  – кривизна вокруг оси  $Z$  относительно центра жесткости нагруженного сечения,  $1/m$ ;
- $\epsilon_{b,max}$  – максимальная относительная деформация в бетоне, д.ед.;
- $\epsilon_{b,min}$  – минимальная относительная деформация в бетоне, д.ед.;
- $\sigma_{b,max}$  – максимальное напряжение в бетоне, МПа;
- $\sigma_{b,min}$  – минимальное напряжение в бетоне, МПа;
- $\sigma_{b,m}$  – среднее напряжение в бетоне (без учета площади трещины), МПа;
- $\epsilon_{s,max}$  – максимальная относительная деформация в ненапрягаемой арматуре, д.ед.;
- $\epsilon_{s,min}$  – минимальная относительная деформация в ненапрягаемой арматуре, д.ед.;

- $\sigma_{s,max}$  – максимальное напряжение в ненапрягаемой арматуре, МПа;
- $\sigma_{s,min}$  – минимальное напряжение в ненапрягаемой арматуре, МПа;
- $D_{xx}$  – осевая жесткость нагруженного сечения, кН;
- $D_{yy}$  – изгибная жесткость нагруженного сечения вокруг оси Y, кН·м<sup>2</sup>;
- $D_{zz}$  – изгибная жесткость нагруженного сечения вокруг оси Z, кН·м<sup>2</sup>;
- $D_{yz}$  – жесткость нагруженного сечения относительно осей Y и Z, кН·м<sup>2</sup>;
- $k-D_{xx}$  – отношение осевой жесткости нагруженного сечения к осевой жесткости бетонного сечения (без учета арматуры), д.ед.;
- $k-D_{yy}$  – отношение изгибной жесткости нагруженного сечения вокруг оси Y к изгибной жесткости бетонного сечения (без учета арматуры), д.ед.;
- $k-D_{zz}$  – отношение изгибной жесткости нагруженного сечения вокруг оси Y к изгибной жесткости бетонного сечения (без учета арматуры), д.ед.

## 3.2 Параметры

### Коэффициенты условий работы:

- $\gamma_{bc}$  – сжатого бетона;
- $\gamma_s$  – ненапрягаемой арматуры.

**Режим** – время прогрева.

$\varphi_l$  – коэффициент влияния длительности действия нагрузки для учета влияния продольного изгиба (от 1,0 до 2,0).

### Учет влияния продольного изгиба:

- в плоскости XOZ (для корректировки изгибающих моментов  $M_y$ );
- в плоскости XOY (для корректировки изгибающих моментов  $M_z$ ).

Учет влияния продольного изгиба производится по методике критических сил в соответствии с СП 468.1325800.2019.

## 4 Огнесохранность

### 4.1 Таблица расчетных сочетаний усилий

**Основная функциональность таблицы** расчетных сочетаний усилий аналогична таблице из расчета на огнестойкость.

### 4.2 Параметры

**Основные параметры** аналогичны параметрам из расчета на огнестойкость.

## 5 Импорт DXF

### 5.1 Общие положения

Описание импорта сечений из формата DXF выполнено на базе nanoCAD.

Наименования слоев и типы элементов:

- **RC\_Sec** – контур сечения, замкнутая полилиния;
- **RC\_R** – ненапрягаемая арматура, круги;

Основные требования:

- контур сечения должен быть выполнен замкнутой полилинией или кругом;
- количество вершин сечения должно соответствовать выбранному типу: например, у прямоугольного сечения должно быть 4 вершины (при замыкании полилинии возможно образование точек с одинаковыми координатами);
- геометрическая точность построений.

### 5.2 Импорт стандартного сечения

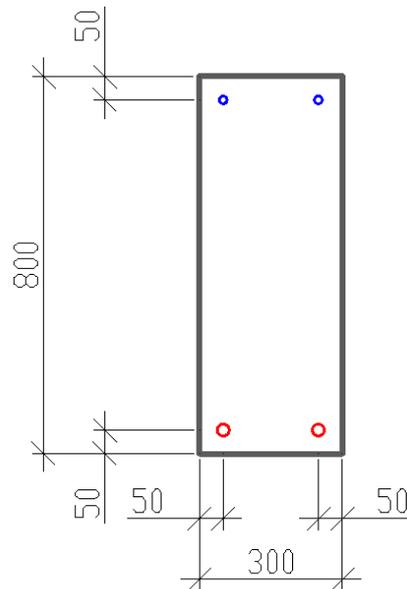
Выполним импорт прямоугольного сечения ж.б. балки сечением 300×800 мм:

- ненапрягаемая арматура в нижней зоне 2Ø25, расстояние от нижней грани сечения до центра тяжести арматуры 50 мм;
- ненапрягаемая арматура в верхней зоне 2Ø16, расстояние от верхней грани сечения до центра тяжести арматуры 50 мм.

Сечение представлено на рисунке 1 – контур сечения, напрягаемая и ненапрягаемая арматура заданы, соответственно, в слоях – RC\_Sec, RC\_R.

При разработке сечения необходимо соблюдать основные требования, указанные выше, в том числе контролировать:

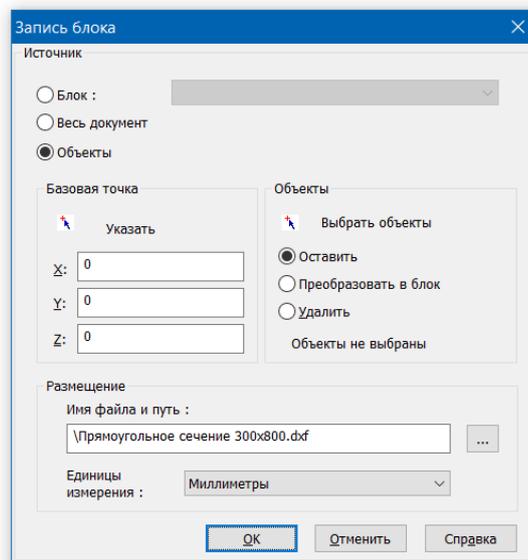
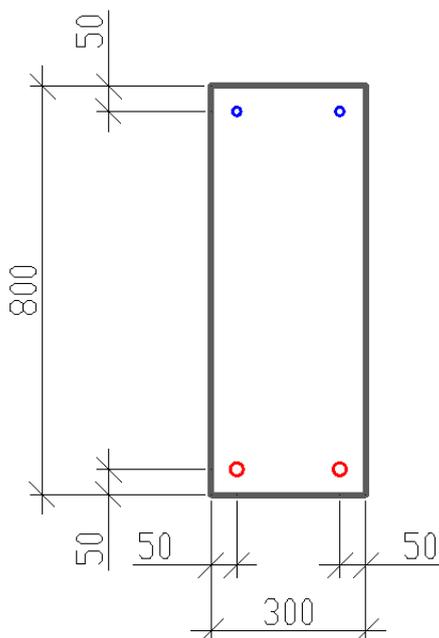
- наименования слоев;
- количество вершин полилинии контура сечения;
- замыкание полилинии контура сечения;
- параллельность граней сечения.



**Рисунок 1** – Прямоугольное сечение для импорта

Для экспорта сечения в формат DXF необходимо выделить элементы сечения и набрать в командной строке команду «**ПБЛОК**» или «**\_wblock**» (см. рисунок 2).

Положение сечения в пространстве значения не имеет. Рекомендуется, чтобы координаты узлов элементов были кратны целому числу миллиметров.



**Рисунок 2** – Экспорт сечения в формат DXF

Далее в приложении FireDesign необходимо выбрать прямоугольный тип сечения и активировать «Импорт DXF».

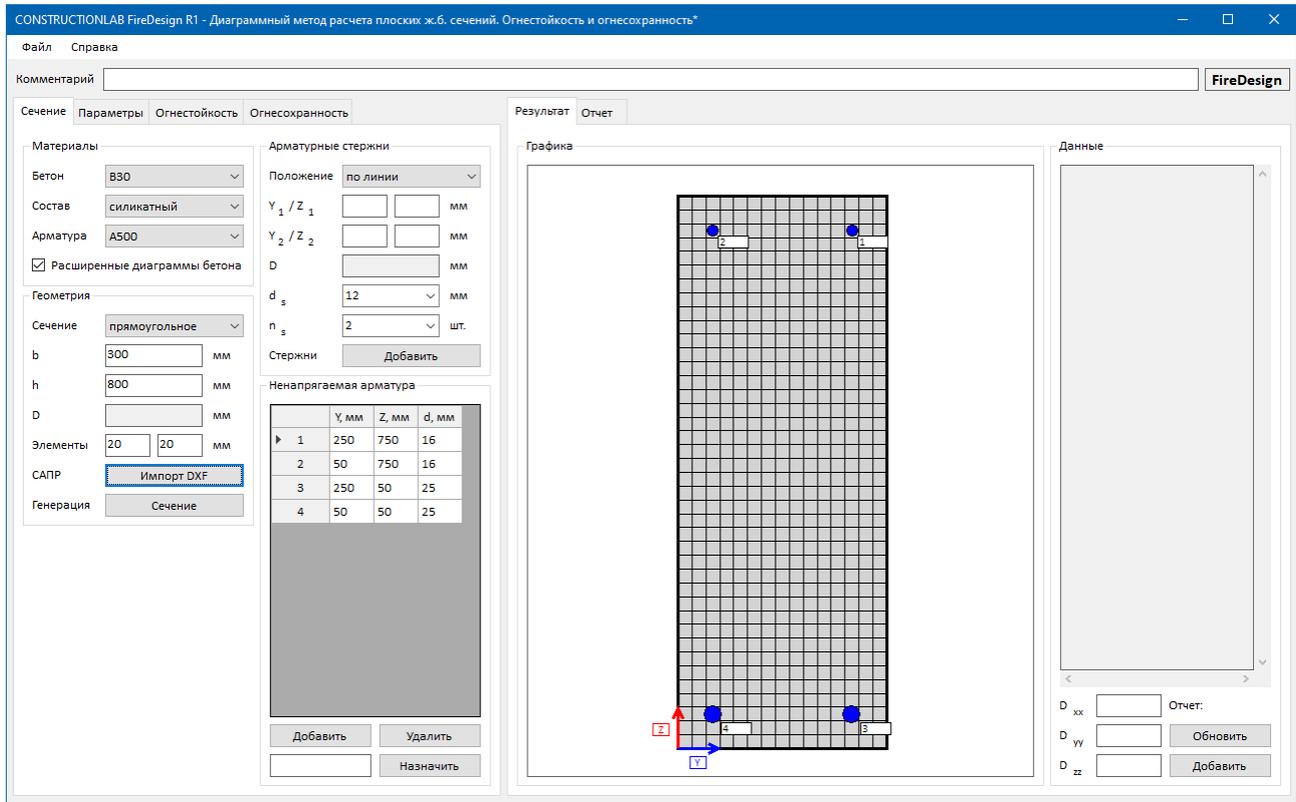


Рисунок 3 – Результат импорта прямоугольного сечения из формата DXF

## 6 Общие пояснения к верификационным задачам

Расчеты в приложении FireDesign выполнены с использованием кусочно-линейных диаграмм деформирования – трехлинейных для тяжелого бетона и двухлинейных для ненапрягаемой арматуры. Примеры выполнены в соответствии с Пособием по расчету огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций из тяжелого бетона, разработанным А.Ф. Миловановым [2].

Теплотехнический расчет выполняется в соответствии с [3]. Учитывается изменение прочностных и деформационных характеристик материалов по всему сечению.

Для всех верификационных задач размер сети элементарных элементов принят 10×10 или 20×20 мм. При использовании других размеров результаты могут отличаться.

Алгоритм итерационного поиска решения на базе нелинейной деформационной модели основан на постепенном увеличении обобщенных деформаций сечения и внутренних обобщенных усилий; параметр «Точность итерационных вычислений» фактически показывает, насколько внутренние усилия могут быть меньше внешних. Для всех верификационных задач точность итерационных вычислений принята 0,1 % (для практических задач в большинстве случаев достаточно точности 0,1-0,5 %).

Верификационные задачи снабжены файлами примеров.

## 7 Верификационные задачи – Огнестойкость железобетонных конструкций

### 7.1 Задача 1.1 – Несущая способность ж.б. плиты

**Источник:** Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006-2006). М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008 [2].

Пример расчета – № 1.

**Исходные данные:** балочная плита перекрытия с размерами  $b = 1200$  мм,  $h = 160$  мм,  $a = 23$  мм:

- бетон тяжелый класса по прочности на сжатие В25;
- ненапрягаемая арматура в растянутой зоне  $6\phi 14$  А400.

Изгибающий момент  $M = 27,7$  кН·м.

Предел огнестойкости R60.

**Результат:** огнестойкость обеспечена.

#### Сравнение результатов расчета

Параметр	Ед. изм.	Источник	FireDesign
Критическая температура прогрева арматуры	°С	560,0	565,7 / +1,0 %
Предел огнестойкости	мин.	90 <sup>(1)</sup>	74 / -17,8 %
Огнестойкость	–	обеспечена	обеспечена

1. Предел огнестойкости определен по графикам прогрева арматуры в зависимости от величины защитного слоя и толщины плиты. Ориентировочное значение предела огнестойкости – 80-90 мин.

**Задача 1.1: Расчетная длительность пожара (60 мин.)**

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСТОЙКОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Осн. положения
- СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции.  
Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности

СЕЧЕНИЕ

Тип сечения		=	прямоугольное
Ширина сечения	b	=	1200 мм
Высота сечения	h	=	160 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	60 мин.
Минимальная температура в бетоне	T <sub>b,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T <sub>b,max</sub>	=	752.5 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,min</sub>	=	509.0 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,max</sub>	=	509.0 °C

БЕТОН

Класс бетона по прочности на сжатие		=	B25
Диаграмма состояния бетона		=	трехлинейная
Относительные деформации бетона		=	расширенные
Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию	R <sub>bc,n</sub>	=	18.50 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ <sub>bc</sub>	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E <sub>b</sub>	=	30000 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R <sub>s,n</sub>	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ <sub>s</sub>	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E <sub>s</sub>	=	200000 МПа

СТЕРЖНИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ (6 шт.)

Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]
100.0	23.0	16.0	300.0	23.0	16.0	500.0	23.0	16.0
700.0	23.0	16.0	900.0	23.0	16.0	1100.0	23.0	16.0

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	0.00 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	0.00 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.000 %
Общее количество итераций	i	=	5

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ε <sub>x</sub>	=	0.000000
Кривизна вокруг оси Y	1/r <sub>y</sub>	=	0.011070 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r <sub>z</sub>	=	0.000000 1/м

## ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	$D_{xx}$	=	1272366	кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	$D_{yy}$	=	2502	кН · м <sup>2</sup>
Изгибная жесткость вокруг оси Z	$D_{zz}$	=	152034	кН · м <sup>2</sup>
Жесткость относительно осей YZ	$D_{yz}$	=	0	кН · м <sup>2</sup>
Координата центра жесткости по оси Y	$Y_c$	=	600.00	мм
Координата центра жесткости по оси Z	$Z_c$	=	126.56	мм
Смещение центра жесткости по оси Y	$\Delta Y_c$	=	0.00	мм
Смещение центра жесткости по оси Z	$\Delta Z_c$	=	31.80	мм

## ПАРАМЕТРЫ БЕТОНА НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,max}$	=	0.001346	
Минимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,min}$	=	-0.000315	
Максимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,max}$	=	0.00	МПа
Минимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,min}$	=	-9.45	МПа
Среднее напряж. в бетоне в рабочей части сечения	$\sigma_{b,m}$	=	-6.13	МПа

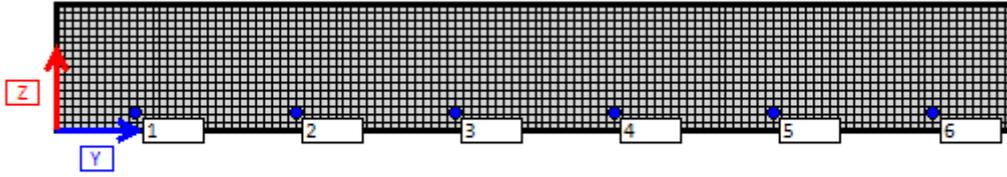
## ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,max}$	=	0.001146	
Минимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,min}$	=	0.001146	
Максимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,max}$	=	182.79	МПа
Минимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,min}$	=	182.79	МПа

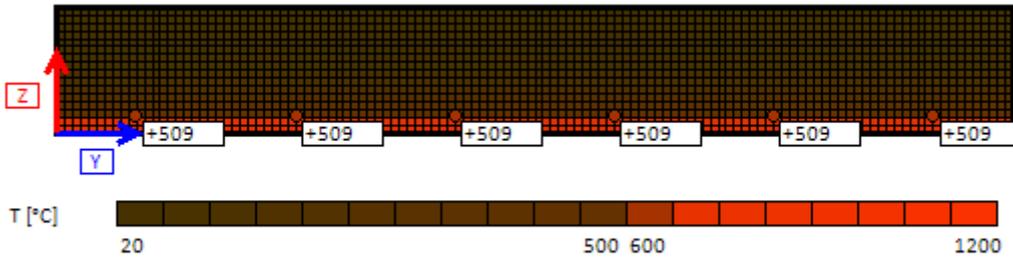
## РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	$k_b$	=	0.090
Коэффициент использования растянутой арматуры	$k_s$	=	0.023
Коэффициент упругой работы растянутой арматуры	$k_{s,el}$	=	0.789

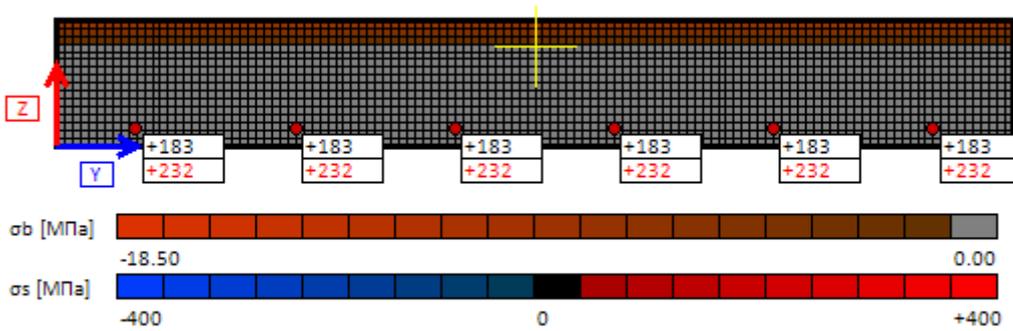
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

**Задача 1.1: Максимальная длительность пожара (74 мин.)**

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСТОЙКОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Осн. положения
- СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции.  
Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности

СЕЧЕНИЕ

Тип сечения		=	прямоугольное
Ширина сечения	b	=	1200 мм
Высота сечения	h	=	160 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	74 мин.
Минимальная температура в бетоне	T <sub>b,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T <sub>b,max</sub>	=	793.9 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,min</sub>	=	565.7 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,max</sub>	=	565.7 °C

БЕТОН

Класс бетона по прочности на сжатие		=	B25
Диаграмма состояния бетона		=	трехлинейная
Относительные деформации бетона		=	расширенные
Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию	R <sub>bc,n</sub>	=	18.50 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ <sub>bc</sub>	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E <sub>b</sub>	=	30000 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R <sub>s,n</sub>	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ <sub>s</sub>	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E <sub>s</sub>	=	200000 МПа

СТЕРЖНИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ (6 шт.)

Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]
100.0	23.0	16.0	300.0	23.0	16.0	500.0	23.0	16.0
700.0	23.0	16.0	900.0	23.0	16.0	1100.0	23.0	16.0

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	0.00 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	0.00 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.098 %
Общее количество итераций	i	=	602

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ε <sub>x</sub>	=	0.000000
Кривизна вокруг оси Y	1/r <sub>y</sub>	=	0.018966 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r <sub>z</sub>	=	0.000000 1/м

## ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	$D_{xx}$	=	1161256 кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	$D_{yy}$	=	1460 кН·м <sup>2</sup>
Изгибная жесткость вокруг оси Z	$D_{zz}$	=	138999 кН·м <sup>2</sup>
Жесткость относительно осей YZ	$D_{yz}$	=	0 кН·м <sup>2</sup>
Координата центра жесткости по оси Y	$Y_c$	=	600.00 мм
Координата центра жесткости по оси Z	$Z_c$	=	134.01 мм
Смещение центра жесткости по оси Y	$\Delta Y_c$	=	0.00 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	$\Delta Z_c$	=	36.87 мм

## ПАРАМЕТРЫ БЕТОНА НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,max}$	=	0.002447
Минимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,min}$	=	-0.000398
Максимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,min}$	=	-11.23 МПа
Среднее напряж. в бетоне в рабочей части сечения	$\sigma_{b,m}$	=	-6.02 МПа

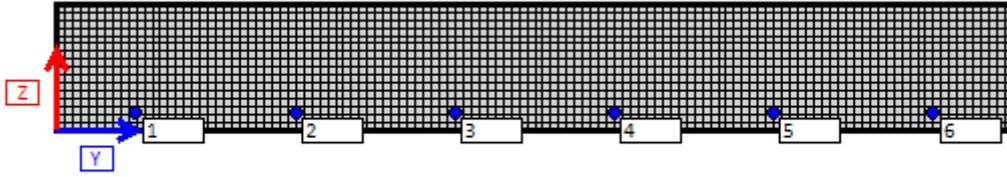
## ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,max}$	=	0.002105
Минимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,min}$	=	0.002105
Максимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,max}$	=	179.51 МПа
Минимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,min}$	=	179.51 МПа

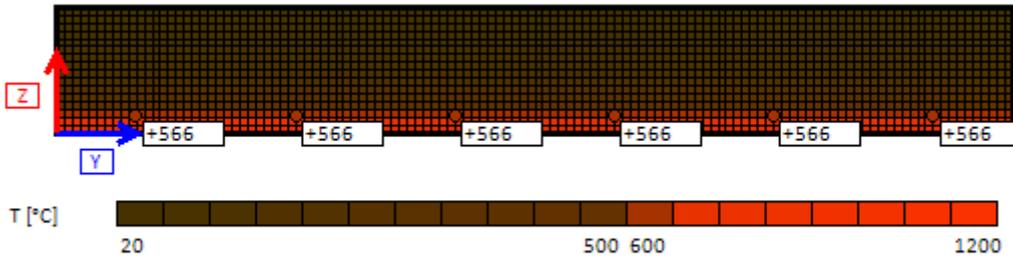
## РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	$k_b$	=	0.114
Коэффициент использования растянутой арматуры	$k_s$	=	0.042
Коэффициент упругой работы растянутой арматуры	$k_{s,el}$	=	1.830
Остаточные деформации в растянутой арматуре			

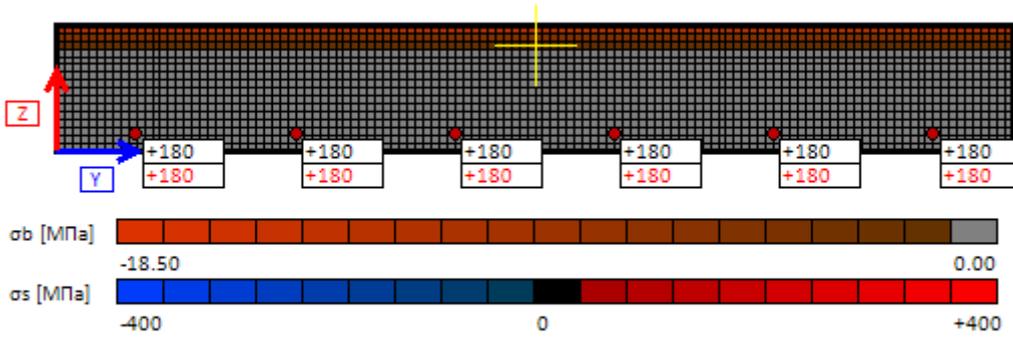
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

## 7.2 Задача 1.2 – Несущая способность ж.б. балки

**Источник:** Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006-2006). М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008 [2].

Пример расчета – № 6.

**Исходные данные:** свободно опертая балка с размерами  $b = 300$  мм,  $h = 600$  мм,  $a = 56$  мм:

- бетон тяжелый класса по прочности на сжатие В30;
- ненапрягаемая арматура в растянутой зоне  $2\phi 32$  А400.

Изгибающий момент  $M = 160,0$  кН·м.

Предел огнестойкости R90.

**Результат:** огнестойкость обеспечена.

### Сравнение результатов расчета

Параметр	Ед. изм.	Источник	FireDesign
Критическая температура прогрева арматуры	°С	517,0	543,3 / +5,1 %
Предел огнестойкости	мин.	90	93 / +3,3 %
Огнестойкость	–	обеспечена	обеспечена

**Задача 1.2: Расчетная длительность пожара (90 мин.)**

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСТОЙКОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Осн. положения
2. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции.  
Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности

СЕЧЕНИЕ

Тип сечения		=	прямоугольное
Ширина сечения	b	=	300 мм
Высота сечения	h	=	600 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	90 мин.
Минимальная температура в бетоне	T <sub>b,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T <sub>b,max</sub>	=	1093.1 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,min</sub>	=	528.4 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,max</sub>	=	528.4 °C

БЕТОН

Класс бетона по прочности на сжатие		=	B30
Диаграмма состояния бетона		=	трехлинейная
Относительные деформации бетона		=	расширенные
Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию	R <sub>bc,n</sub>	=	22.00 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ <sub>bc</sub>	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E <sub>b</sub>	=	32500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R <sub>s,n</sub>	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ <sub>s</sub>	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E <sub>s</sub>	=	200000 МПа

СТЕРЖНИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ (2 шт.)

Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]
56.0	56.0	32.0	244.0	56.0	32.0			

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	160.00 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	0.00 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	160.00 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	0.00 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.087 %
Общее количество итераций	i	=	12

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ε <sub>x</sub>	=	0.000000
Кривизна вокруг оси Y	1/r <sub>y</sub>	=	0.003590 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r <sub>z</sub>	=	0.000000 1/м

## ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	$D_{xx}$	=	1316877 кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	$D_{yy}$	=	44574 кН·м <sup>2</sup>
Изгибная жесткость вокруг оси Z	$D_{zz}$	=	6459 кН·м <sup>2</sup>
Жесткость относительно осей YZ	$D_{yz}$	=	0 кН·м <sup>2</sup>
Координата центра жесткости по оси Y	$Y_c$	=	150.00 мм
Координата центра жесткости по оси Z	$Z_c$	=	419.97 мм
Смещение центра жесткости по оси Y	$\Delta Y_c$	=	0.00 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	$\Delta Z_c$	=	110.46 мм

## ПАРАМЕТРЫ БЕТОНА НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,max}$	=	0.001490
Минимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,min}$	=	-0.000628
Максимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,min}$	=	-14.43 МПа
Среднее напряж. в бетоне в рабочей части сечения	$\sigma_{b,m}$	=	-6.60 МПа

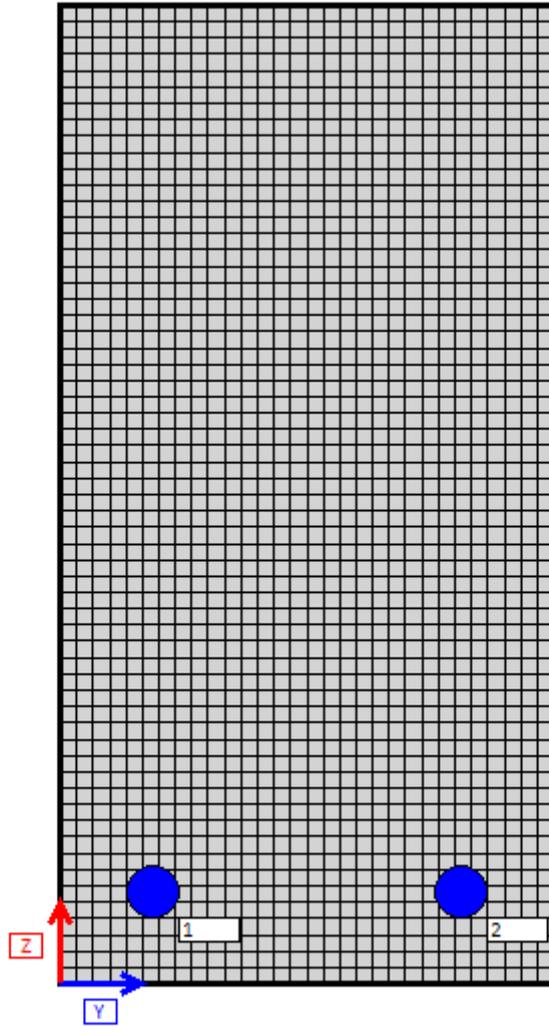
## ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,max}$	=	0.001306
Минимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,min}$	=	0.001306
Максимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,max}$	=	206.81 МПа
Минимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,min}$	=	206.81 МПа

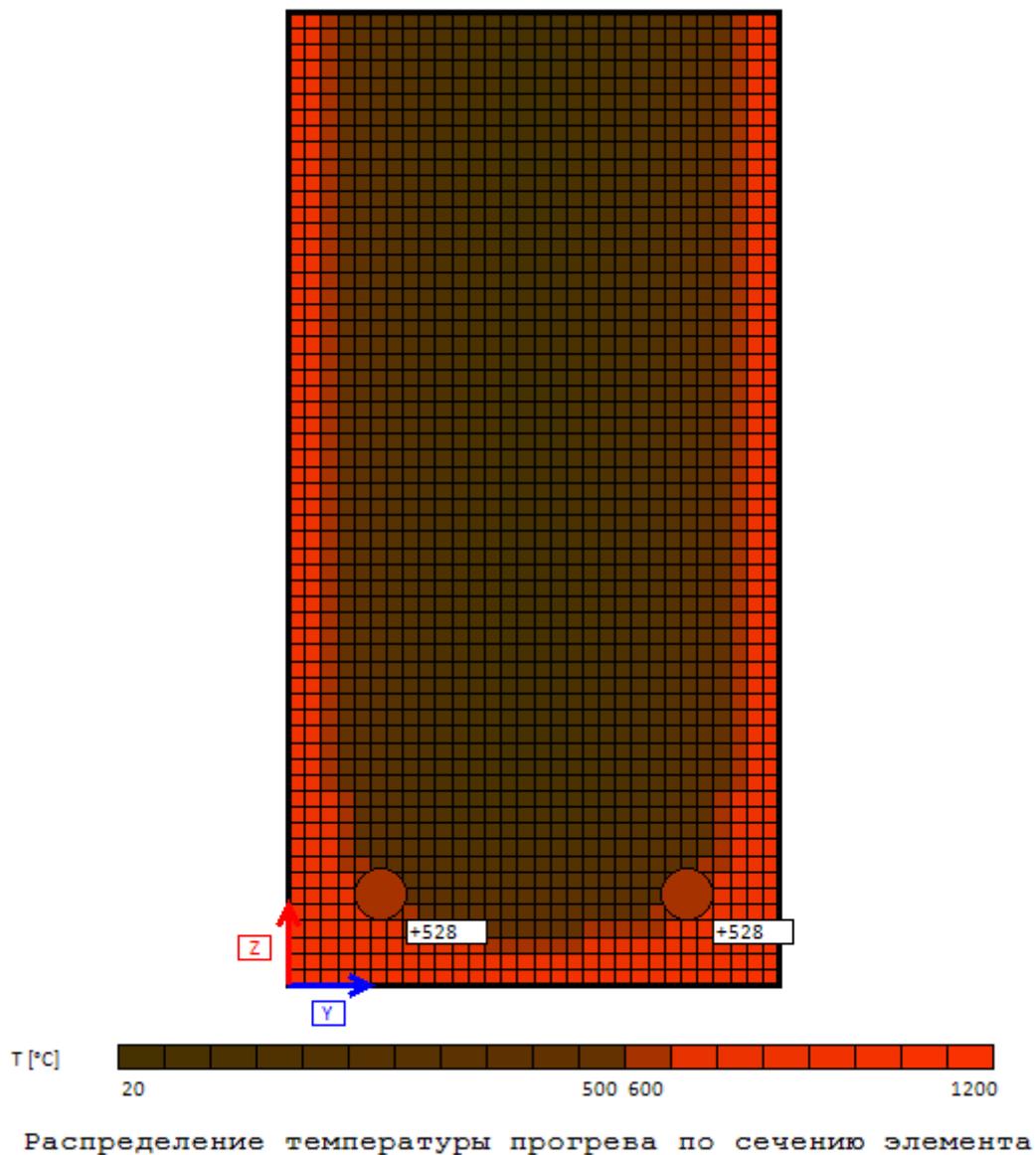
## РЕШЕНИЕ

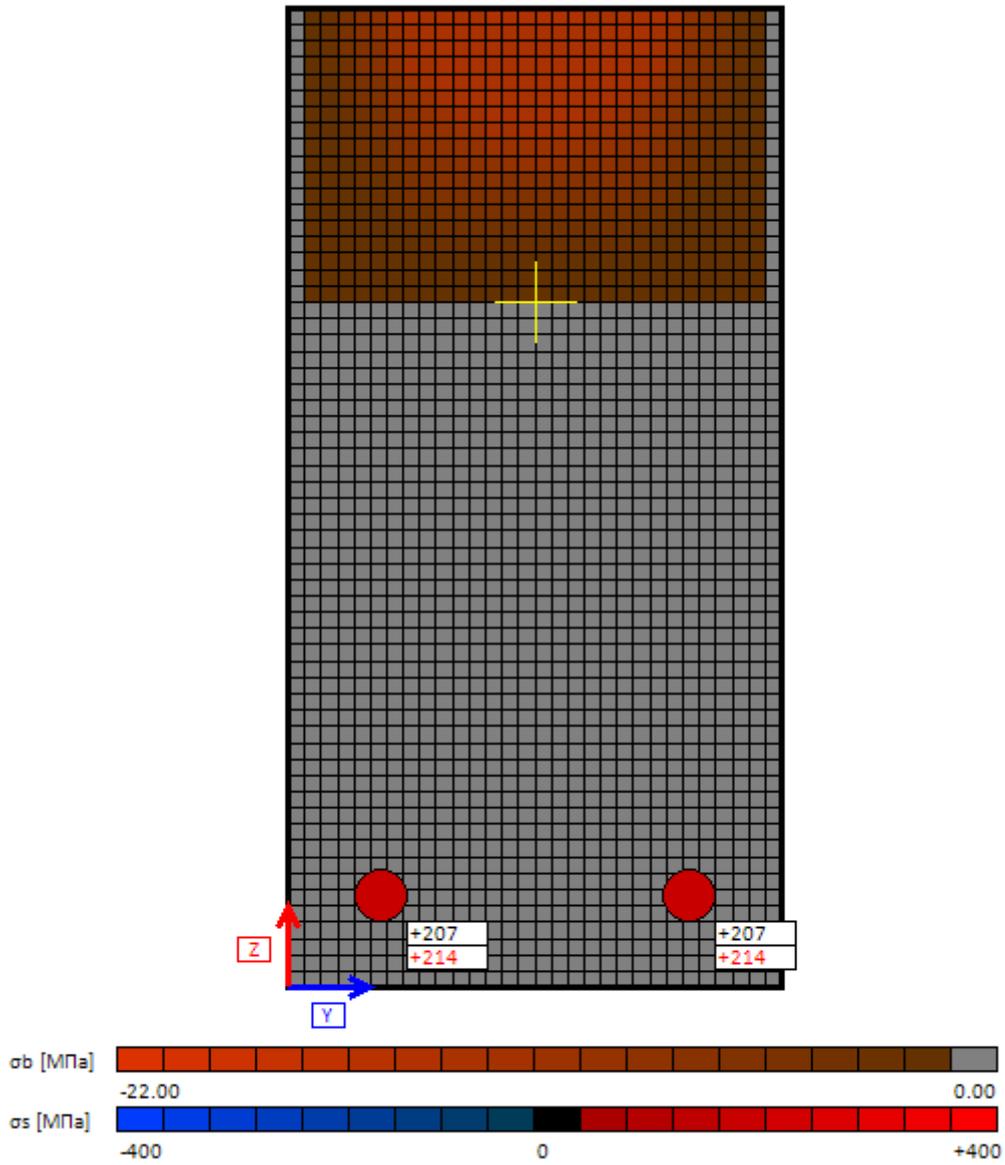
Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	$k_b$	=	0.180
Коэффициент использования растянутой арматуры	$k_s$	=	0.026
Коэффициент упругой работы растянутой арматуры	$k_{s,el}$	=	0.967

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента





Распределение напряжений по сечению элемента

### 7.3 Задача 1.3 – Несущая способность ж.б. колонны

**Источник:** Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006-2006). М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008 [2].

Пример расчета – № 9.

**Исходные данные:** колонна с размерами  $b = 1200$  мм,  $h = 1200$  мм,  $a = 50$  мм:

- бетон тяжелый класса по прочности на сжатие В30;
- ненапрягаемая арматура в растянутой зоне 40Ø40 А400.

Продольная сжимающая сила  $N = 30\,000$  кН.

Предел огнестойкости R240.

**Результат:** огнестойкость обеспечена при равномерном расположении стержней арматуры по поперечному сечению колонны.

#### Сравнение результатов расчета

Параметр	Ед. изм.	Источник	FireDesign
Предельная продольная сжимающая сила при расположении стержней арматуры по контуру поперечного сечения колонны	кН	26 190	26 000 / -0,7 %
Предельная продольная сжимающая сила при равномерном расположении стержней арматуры по поперечному сечению колонны	кН	31 730	29 600 / -6,7 %
Огнестойкость	–	обеспечена <sup>(1)</sup>	не обеспечена <sup>(1)</sup>

1. Результаты при равномерном расположении стержней арматуры по поперечному сечению колонны.

**Задача 1.3: Проектный вариант**

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСТОЙКОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Осн. положения
2. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции.  
Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности

СЕЧЕНИЕ

Тип сечения		=	прямоугольное
Ширина сечения	b	=	1200 мм
Высота сечения	h	=	1200 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	240 мин.
Минимальная температура в бетоне	T <sub>b,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T <sub>b,max</sub>	=	1149.9 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,min</sub>	=	628.3 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,max</sub>	=	928.2 °C

БЕТОН

Класс бетона по прочности на сжатие		=	B30
Диаграмма состояния бетона		=	трехлинейная
Относительные деформации бетона		=	расширенные
Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию	R <sub>bc,n</sub>	=	22.00 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ <sub>bc</sub>	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E <sub>b</sub>	=	32500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R <sub>s,n</sub>	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ <sub>s</sub>	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E <sub>s</sub>	=	200000 МПа

СТЕРЖНИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ (40 шт.)

Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]
50.0	50.0	40.0	160.0	50.0	40.0	270.0	50.0	40.0
380.0	50.0	40.0	490.0	50.0	40.0	600.0	50.0	40.0
710.0	50.0	40.0	820.0	50.0	40.0	930.0	50.0	40.0
1040.0	50.0	40.0	1150.0	50.0	40.0	50.0	1150.0	40.0
160.0	1150.0	40.0	270.0	1150.0	40.0	380.0	1150.0	40.0
490.0	1150.0	40.0	600.0	1150.0	40.0	710.0	1150.0	40.0
820.0	1150.0	40.0	930.0	1150.0	40.0	1040.0	1150.0	40.0
1150.0	1150.0	40.0	50.0	160.0	40.0	50.0	270.0	40.0
50.0	380.0	40.0	50.0	490.0	40.0	50.0	600.0	40.0
50.0	710.0	40.0	50.0	820.0	40.0	50.0	930.0	40.0
50.0	1040.0	40.0	1150.0	160.0	40.0	1150.0	270.0	40.0
1150.0	380.0	40.0	1150.0	490.0	40.0	1150.0	600.0	40.0
1150.0	710.0	40.0	1150.0	820.0	40.0	1150.0	930.0	40.0
1150.0	1040.0	40.0						

## ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ

Расчетная плоскость		=	XOZ
Длина элемента	Lz	=	4000 мм
Коэффициент расчетной длины	$\mu_z$	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	$\phi_l$	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	$e_{t,z}$	=	0.0 мм
Расчетный эксцентриситет (с учетом $e_{t,z}$ )	$e_{0,z}$	=	40.0 мм
Условная критическая сила	$N_{cr,z}$	=	3326469 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	$\eta_z$	=	1.0079

Расчетная плоскость		=	XOY
Длина элемента	Ly	=	4000 мм
Коэффициент расчетной длины	$\mu_y$	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	$\phi_l$	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	$e_{t,y}$	=	0.0 мм
Расчетный эксцентриситет (с учетом $e_{t,y}$ )	$e_{0,y}$	=	40.0 мм
Условная критическая сила	$N_{cr,y}$	=	3326469 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	$\eta_y$	=	1.0079

## ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	-26000.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	$M_y$	=	0.00 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	$M_z$	=	0.00 кН·м

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА  
ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	-26000.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	$M_y$	=	1048.19 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	$M_z$	=	1048.19 кН·м

## ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	-25991.3 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	$M_y$	=	1047.15 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	$M_z$	=	1047.15 кН·м
Итерационная точность	$\delta$	=	0.091 %
Общее количество итераций	i	=	36

## ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	$\epsilon_x$	=	-0.001588
Кривизна вокруг оси Y	$1/r_y$	=	0.002031 1/м
Кривизна вокруг оси Z	$1/r_z$	=	0.002031 1/м

## ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	$D_{xx}$	=	16368320 кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	$D_{yy}$	=	1721808 кН·м <sup>2</sup>
Изгибная жесткость вокруг оси Z	$D_{zz}$	=	1721808 кН·м <sup>2</sup>
Жесткость относительно осей YZ	$D_{yz}$	=	-35213 кН·м <sup>2</sup>
Координата центра жесткости по оси Y	$Y_c$	=	696.96 мм
Координата центра жесткости по оси Z	$Z_c$	=	503.04 мм
Смещение центра жесткости по оси Y	$\Delta Y_c$	=	96.96 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	$\Delta Z_c$	=	-96.96 мм

## ПАРАМЕТРЫ БЕТОНА НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,max}$	=	0.000415
Минимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,min}$	=	-0.004379
Максимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,min}$	=	-22.00 МПа
Среднее напряж. в бетоне в рабочей части сечения	$\sigma_{b,m}$	=	-16.72 МПа

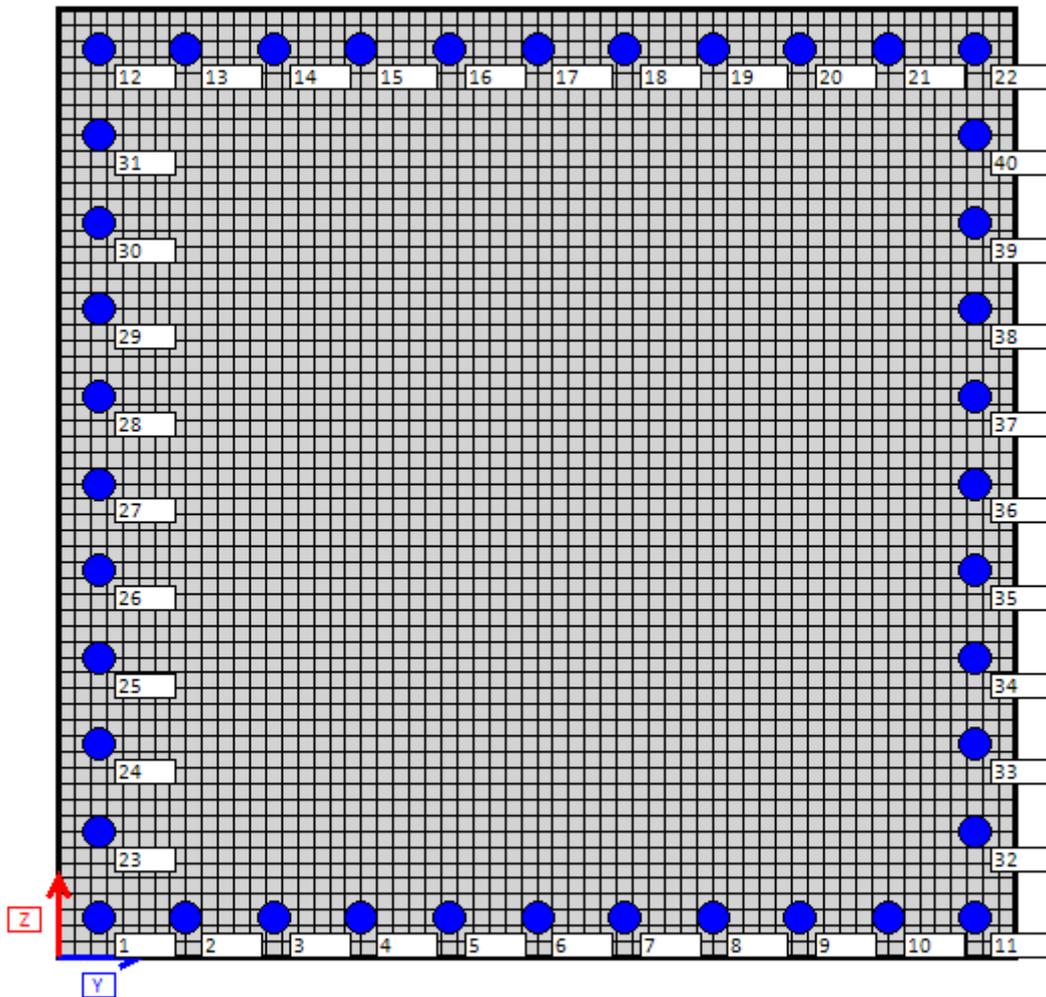
## ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в арматуре	$\varepsilon_{s,max}$	=	0.000252
Минимальная относительная деформация в арматуре	$\varepsilon_{s,min}$	=	-0.004217
Максимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,max}$	=	4.21 МПа
Минимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,min}$	=	-131.01 МПа

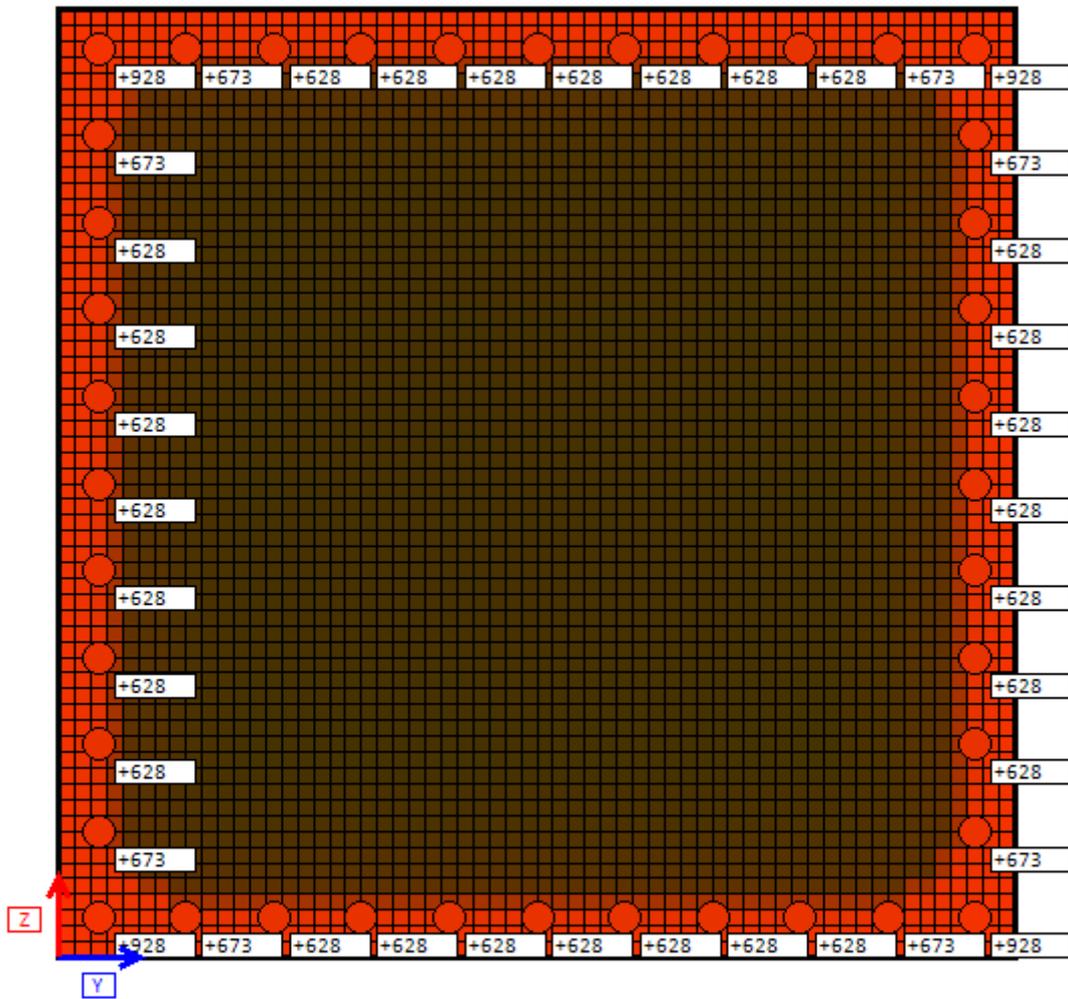
## РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	$k_b$	=	0.996
Коэффициент использования растянутой арматуры	$k_s$	=	0.001
Коэффициент упругой работы растянутой арматуры	$k_{s,e1}$	=	0.040

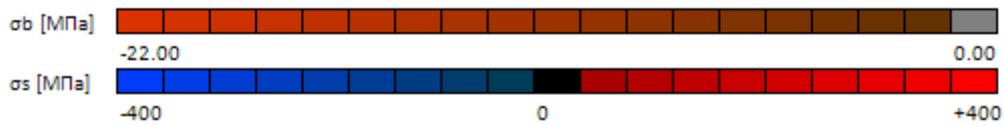
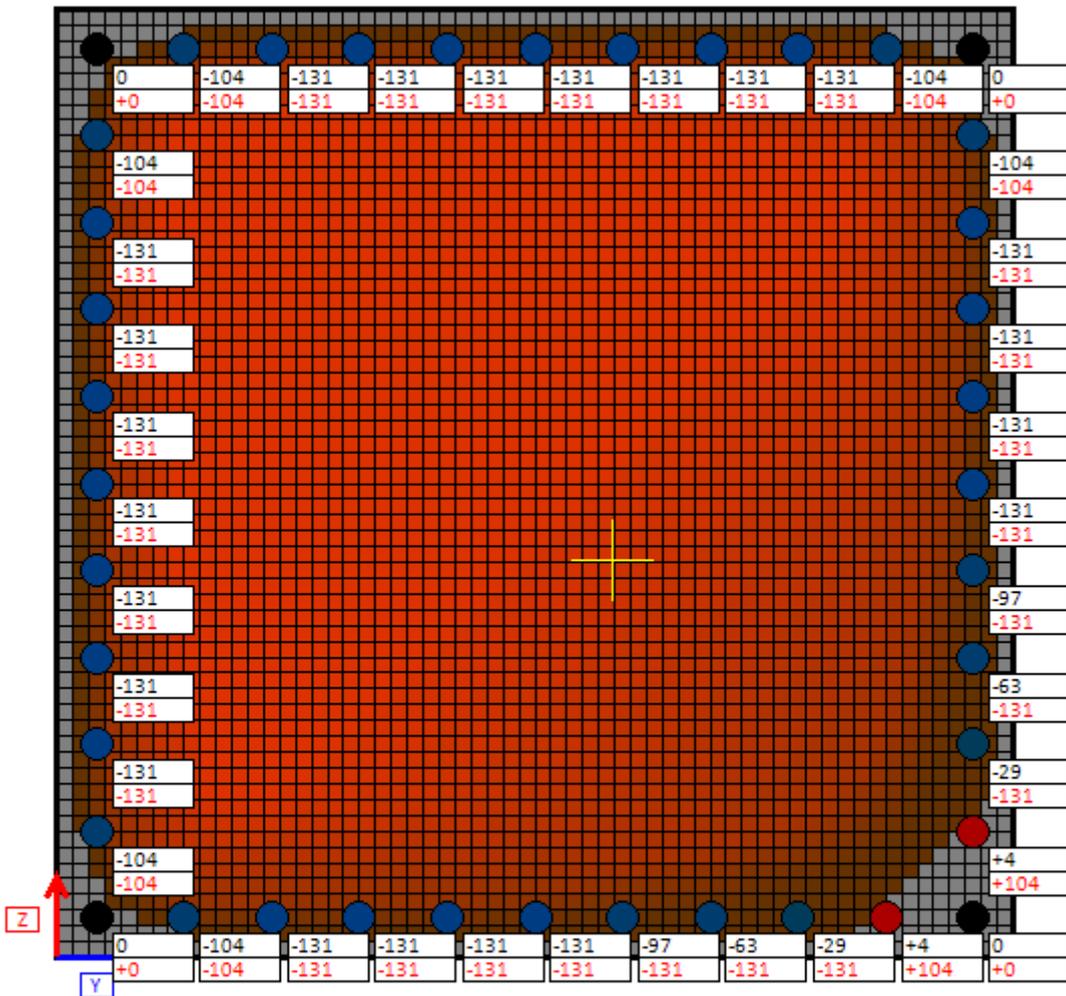
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

**Задача 1.3: Вариант с учетом расчета на огнестойкость**

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСТОЙКОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Осн. положения
- СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции.  
Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности

СЕЧЕНИЕ

Тип сечения		=	прямоугольное
Ширина сечения	b	=	1200 мм
Высота сечения	h	=	1200 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	240 мин.
Минимальная температура в бетоне	T <sub>b,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T <sub>b,max</sub>	=	1149.9 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,max</sub>	=	928.2 °C

БЕТОН

Класс бетона по прочности на сжатие		=	B30
Диаграмма состояния бетона		=	трехлинейная
Относительные деформации бетона		=	расширенные
Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию	R <sub>bc,n</sub>	=	22.00 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ <sub>bc</sub>	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E <sub>b</sub>	=	32500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R <sub>s,n</sub>	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ <sub>s</sub>	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E <sub>s</sub>	=	200000 МПа

СТЕРЖНИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ (36 шт.)

Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]
50.0	50.0	40.0	270.0	50.0	40.0	490.0	50.0	40.0
710.0	50.0	40.0	930.0	50.0	40.0	1150.0	50.0	40.0
50.0	270.0	40.0	270.0	270.0	40.0	490.0	270.0	40.0
710.0	270.0	40.0	930.0	270.0	40.0	1150.0	270.0	40.0
50.0	490.0	40.0	270.0	490.0	40.0	490.0	490.0	40.0
710.0	490.0	40.0	930.0	490.0	40.0	1150.0	490.0	40.0
50.0	710.0	40.0	270.0	710.0	40.0	490.0	710.0	40.0
710.0	710.0	40.0	930.0	710.0	40.0	1150.0	710.0	40.0
50.0	930.0	40.0	270.0	930.0	40.0	490.0	930.0	40.0
710.0	930.0	40.0	930.0	930.0	40.0	1150.0	930.0	40.0
50.0	1150.0	40.0	270.0	1150.0	40.0	490.0	1150.0	40.0
710.0	1150.0	40.0	930.0	1150.0	40.0	1150.0	1150.0	40.0

## ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ

Расчетная плоскость		=	XOZ
Длина элемента	$L_z$	=	4000 мм
Коэффициент расчетной длины	$\mu_z$	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	$\phi_l$	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	$e_{t,z}$	=	0.0 мм
Расчетный эксцентриситет (с учетом $e_{t,z}$ )	$e_{0,z}$	=	40.0 мм
Условная критическая сила	$N_{cr,z}$	=	2449615 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	$\eta_z$	=	1.0122

Расчетная плоскость		=	XOY
Длина элемента	$L_y$	=	4000 мм
Коэффициент расчетной длины	$\mu_y$	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	$\phi_l$	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	$e_{t,y}$	=	0.0 мм
Расчетный эксцентриситет (с учетом $e_{t,y}$ )	$e_{0,y}$	=	40.0 мм
Условная критическая сила	$N_{cr,y}$	=	2449615 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	$\eta_y$	=	1.0122

## ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	$N$	=	-29600.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	$M_y$	=	0.00 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	$M_z$	=	0.00 кН·м

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА  
ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	$N$	=	-29600.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	$M_y$	=	1198.48 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	$M_z$	=	1198.48 кН·м

## ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	$N$	=	-29592.8 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	$M_y$	=	1197.39 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	$M_z$	=	1197.39 кН·м
Итерационная точность	$\delta$	=	0.086 %
Общее количество итераций	$i$	=	28

## ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	$\epsilon_x$	=	-0.001640
Кривизна вокруг оси Y	$1/r_y$	=	0.002076 1/м
Кривизна вокруг оси Z	$1/r_z$	=	0.002076 1/м

## ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	$D_{xx}$	=	18050132 кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	$D_{yy}$	=	1612552 кН·м <sup>2</sup>
Изгибная жесткость вокруг оси Z	$D_{zz}$	=	1612552 кН·м <sup>2</sup>
Жесткость относительно осей YZ	$D_{yz}$	=	-11532 кН·м <sup>2</sup>
Координата центра жесткости по оси Y	$Y_c$	=	673.44 мм
Координата центра жесткости по оси Z	$Z_c$	=	526.56 мм
Смещение центра жесткости по оси Y	$\Delta Y_c$	=	73.44 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	$\Delta Z_c$	=	-73.44 мм

## ПАРАМЕТРЫ БЕТОНА НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,max}$	=	0.000505
Минимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,min}$	=	-0.004395
Максимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,min}$	=	-22.00 МПа
Среднее напряж. в бетоне в рабочей части сечения	$\sigma_{b,m}$	=	-16.38 МПа

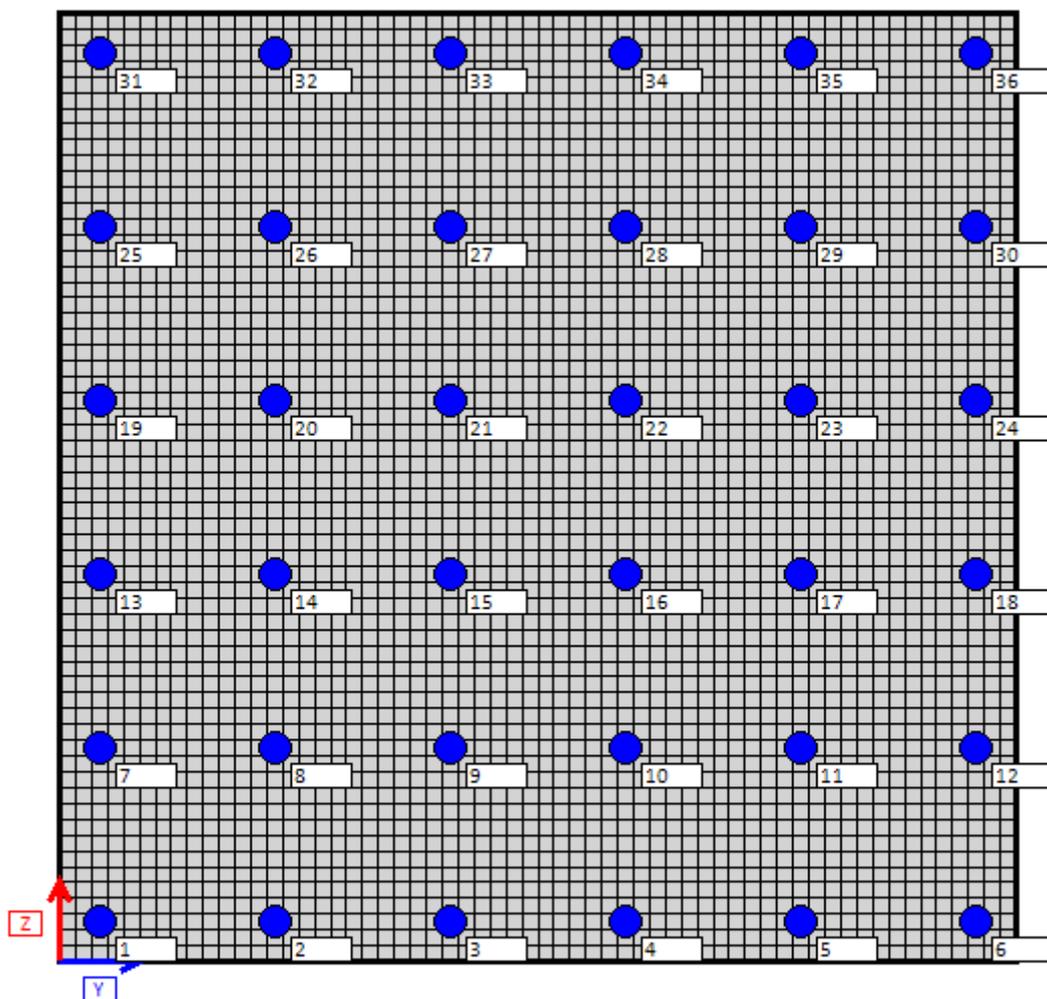
## ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в арматуре	$\varepsilon_{s,max}$	=	0.000339
Минимальная относительная деформация в арматуре	$\varepsilon_{s,min}$	=	-0.004229
Максимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,min}$	=	-399.98 МПа

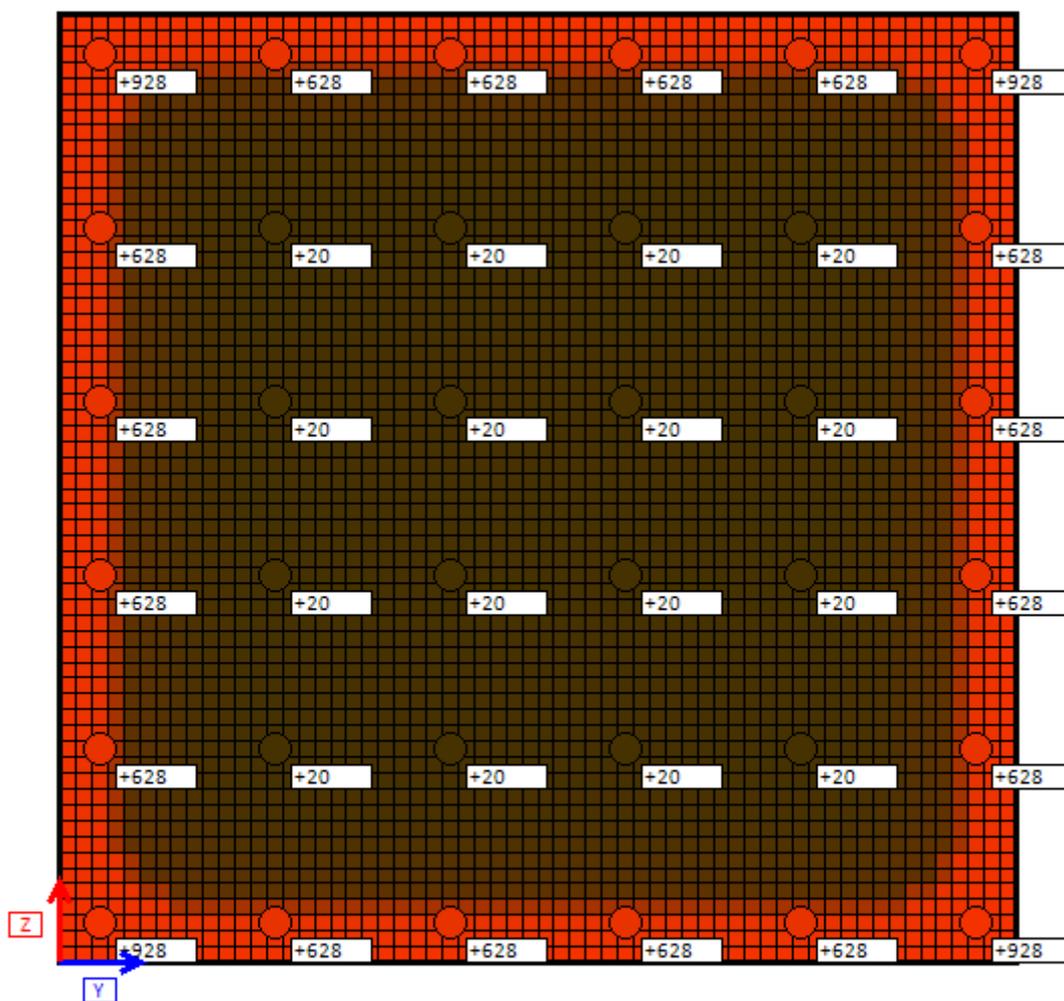
## РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	$k_b$	=	0.995
Коэффициент использования растянутой арматуры	$k_s$	=	0.000
Коэффициент упругой работы растянутой арматуры	$k_{s,e1}$	=	0.000

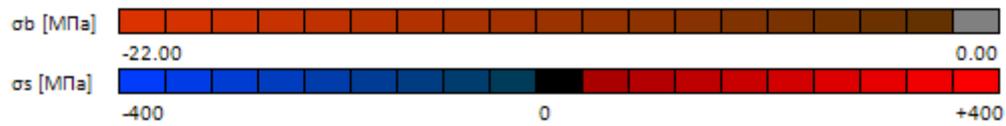
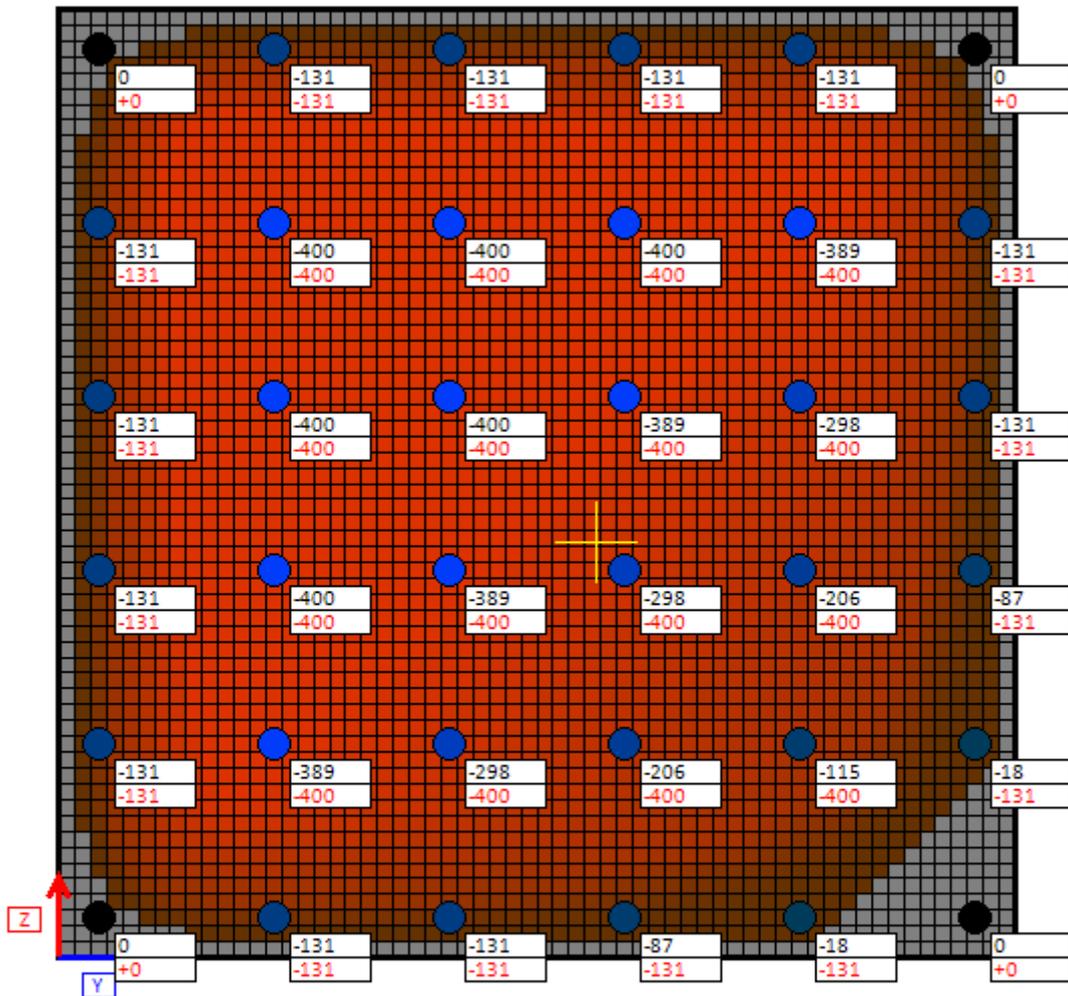
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

## 8 Верификационные задачи – Огнестойкость железобетонных конструкций

### 8.1 Задача 2.1 – Несущая способность ж.б. колонны

**Источник:** Пособие по расчету огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006-2006). М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008 [2].

Пример расчета – № 19.

**Исходные данные:** колонна с размерами  $b = 600$  мм,  $h = 600$  мм,  $a = 60$  мм:

- бетон тяжелый класса по прочности на сжатие В35;
- ненапрягаемая арматура в растянутой зоне  $25\phi 36$  А500.

Продольная сжимающая сила  $N = 11\,750$  кН, изгибающий момент  $M = 27,8$  кН·м.

Предел огнестойкости R180.

**Результат:** огнестойкость обеспечена при равномерном расположении стержней арматуры по поперечному сечению колонны.

#### Сравнение результатов расчета

Параметр	Ед. изм.	Источник	FireDesign
Предельная продольная сжимающая сила	кН	13 113	11 200 / -14,6 %
Огнестойкость	–	обеспечена	не обеспечена

**Задача 2.1**

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСОХРАННОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Осн. положения
2. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции.  
Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности

СЕЧЕНИЕ

Тип сечения		=	прямоугольное
Ширина сечения	b	=	600 мм
Высота сечения	h	=	600 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	180 мин.
Минимальная температура в бетоне	T <sub>b,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T <sub>b,max</sub>	=	1152.8 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,min</sub>	=	20.0 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T <sub>s,max</sub>	=	768.1 °C

БЕТОН

Класс бетона по прочности на сжатие		=	B35
Диаграмма состояния бетона		=	трехлинейная
Относительные деформации бетона		=	расширенные
Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию	R <sub>bc</sub>	=	19.50 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ <sub>bc</sub>	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E <sub>b</sub>	=	34500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A500
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Расчетное сопротивление арматуры растяжению	R <sub>s</sub>	=	435 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ <sub>s</sub>	=	1.000
Модуль упругости арматуры	E <sub>s</sub>	=	200000 МПа

СТЕРЖНИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ (25 шт.)

Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]	Y [мм]	Z [мм]	d [мм]
60.0	60.0	36.0	180.0	60.0	36.0	300.0	60.0	36.0
420.0	60.0	36.0	540.0	60.0	36.0	60.0	180.0	36.0
180.0	180.0	36.0	300.0	180.0	36.0	420.0	180.0	36.0
540.0	180.0	36.0	60.0	300.0	36.0	180.0	300.0	36.0
300.0	300.0	36.0	420.0	300.0	36.0	540.0	300.0	36.0
60.0	420.0	36.0	180.0	420.0	36.0	300.0	420.0	36.0
420.0	420.0	36.0	540.0	420.0	36.0	60.0	540.0	36.0
180.0	540.0	36.0	300.0	540.0	36.0	420.0	540.0	36.0
540.0	540.0	36.0						

## ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ

Расчетная плоскость		=	XOZ
Длина элемента	Lz	=	3900 мм
Коэффициент расчетной длины	$\mu_z$	=	0.70
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	$\phi_l$	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	e <sub>t,z</sub>	=	0.0 мм
Начальный эксцентриситет (с учетом e <sub>t,z</sub> )	e <sub>0,z</sub>	=	20.0 мм
Условная критическая сила	N <sub>cr,z</sub>	=	142108 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	$\eta_z$	=	1.0847

Расчетная плоскость		=	XOY
Длина элемента	L <sub>y</sub>	=	3900 мм
Коэффициент расчетной длины	$\mu_y$	=	0.70
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	$\phi_l$	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	e <sub>t,y</sub>	=	0.0 мм
Начальный эксцентриситет (с учетом e <sub>t,y</sub> )	e <sub>0,y</sub>	=	20.0 мм
Условная критическая сила	N <sub>cr,y</sub>	=	142108 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	$\eta_y$	=	1.0847

## ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	-11100.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	0.00 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	0.00 кН·м

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА  
ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	-11100.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	240.81 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	240.81 кН·м

## ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	-11097.2 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M <sub>y</sub>	=	240.58 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M <sub>z</sub>	=	240.58 кН·м
Итерационная точность	$\delta$	=	0.091 %
Общее количество итераций	i	=	38

## ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	$\epsilon_x$	=	-0.002584
Кривизна вокруг оси Y	1/r <sub>y</sub>	=	0.006822 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r <sub>z</sub>	=	0.006822 1/м

## ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	D <sub>xx</sub>	=	4296316 кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	D <sub>yy</sub>	=	88458 кН·м <sup>2</sup>
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D <sub>zz</sub>	=	88458 кН·м <sup>2</sup>
Жесткость относительно осей YZ	D <sub>yz</sub>	=	5279 кН·м <sup>2</sup>
Координата центра жесткости по оси Y	Y <sub>c</sub>	=	329.42 мм
Координата центра жесткости по оси Z	Z <sub>c</sub>	=	270.58 мм
Смещение центра жесткости по оси Y	$\Delta Y_c$	=	29.42 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	$\Delta Z_c$	=	-29.42 мм

## ПАРАМЕТРЫ БЕТОНА НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,max}$	=	0.001040
Минимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,min}$	=	-0.007010
Максимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в бетоне	$\sigma_{b,min}$	=	-19.50 МПа
Среднее напряж. в бетоне в рабочей части сечения	$\sigma_{b,m}$	=	-12.97 МПа

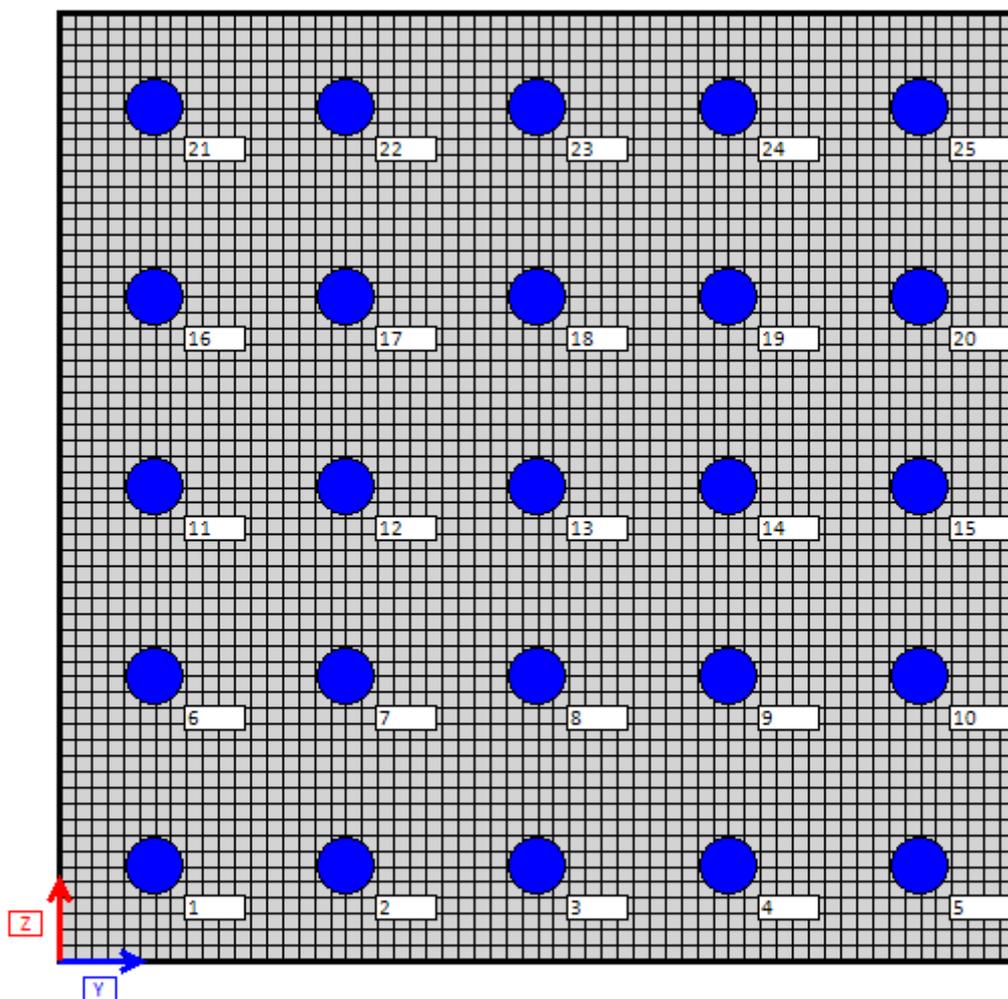
## ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в арматуре	$\varepsilon_{s,max}$	=	0.000289
Минимальная относительная деформация в арматуре	$\varepsilon_{s,min}$	=	-0.006259
Максимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,min}$	=	-435.00 МПа

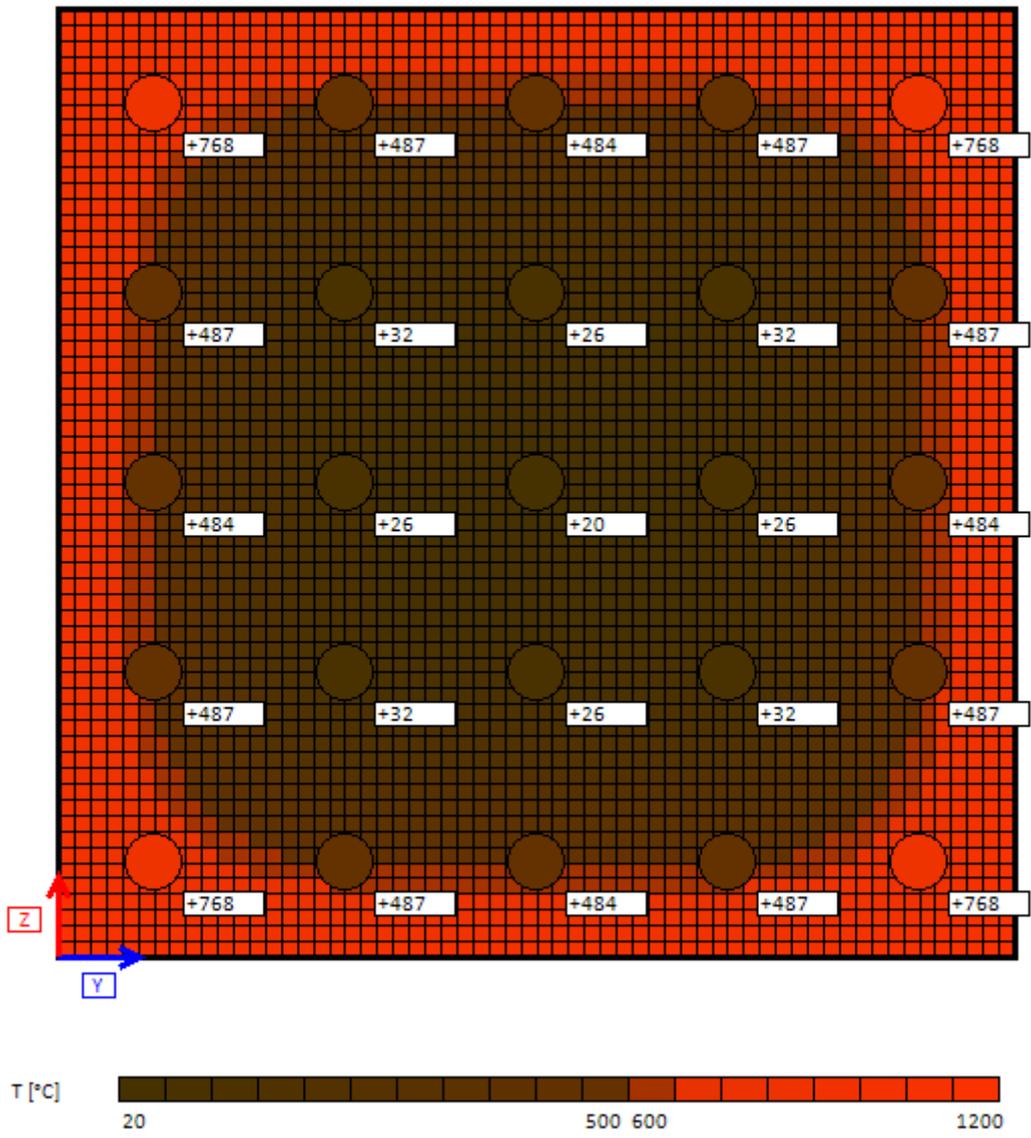
## РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	$k_b$	=	0.932
Коэффициент использования растянутой арматуры	$k_s$	=	0.012
Коэффициент упругой работы растянутой арматуры	$k_{s,e1}$	=	0.153

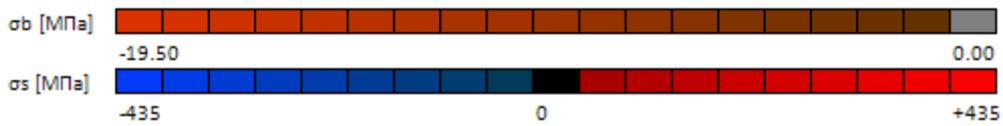
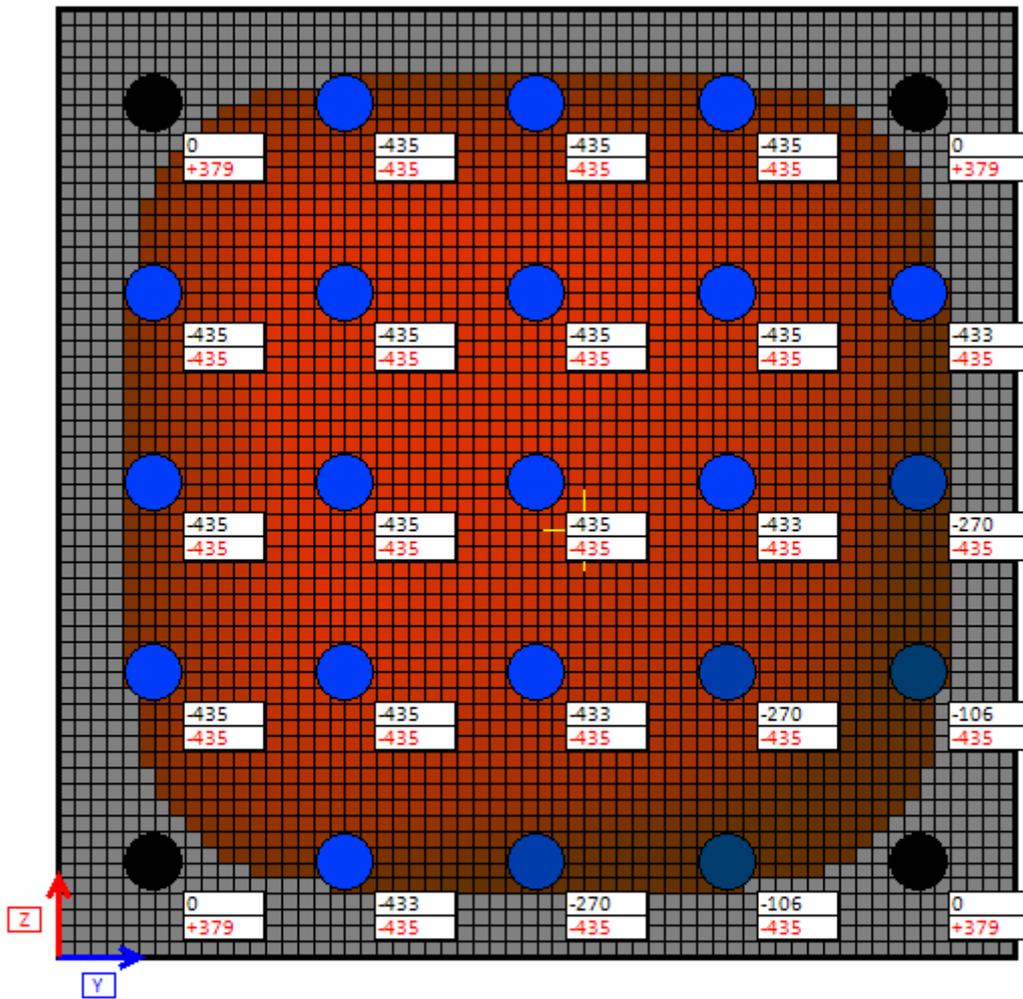
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

## 9 Литература

1. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности / НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». М.: Минстрой России, 2019.
2. Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006-2006). М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008.
3. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1986.