

FireDesign R1

Руководство пользователя

Приложение: FireDesign

Версия: R1.5

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

Дата: 2025-02-24

Разработка: <https://constructionlab.ru>

E-mail: support@constructionlab.ru

Содержание

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

1 Сечение

1.1 Бетон

Класс бетона по прочности на сжатие:

- В15, В20, В25, В30, В35, В40, В45, В50, В55.

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:

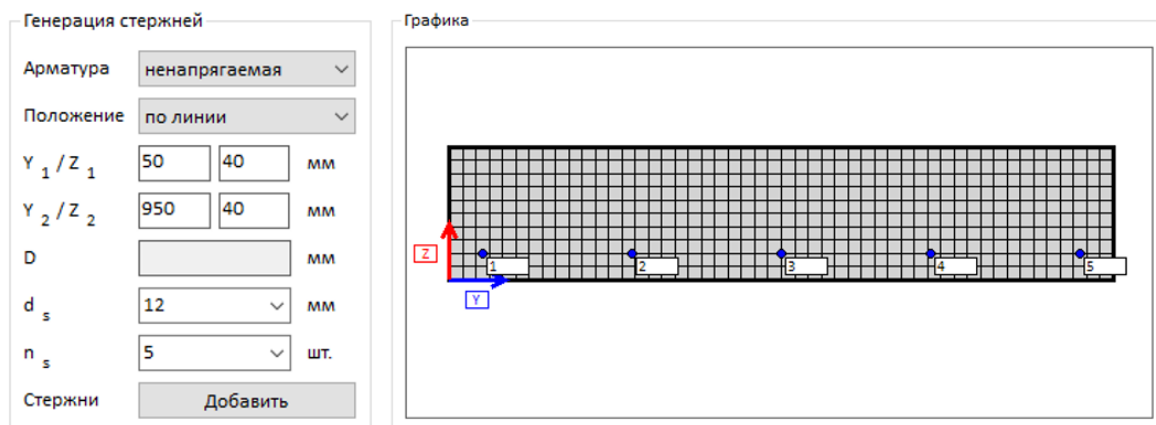
- D – диаметр окружности ряда стержней, мм.

Цепочка стержней:

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

Пример ввода данных:

- Прямоугольное сечение с размерами 1000×200 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.

μ_z, μ_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»:

- ϵ_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·м²;
- D_{zz} – изгибная жесткость нагруженного сечения вокруг оси Z, кН·м²;
- D_{yz} – жесткость нагруженного сечения относительно осей Y и Z, кН·м²;
- $k-D_{xx}$ – 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:

- γ_{bc} – сжатого бетона;
- γ_s – ненапрягаемой арматуры.

Режим – время прогрева.

ϕ_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.

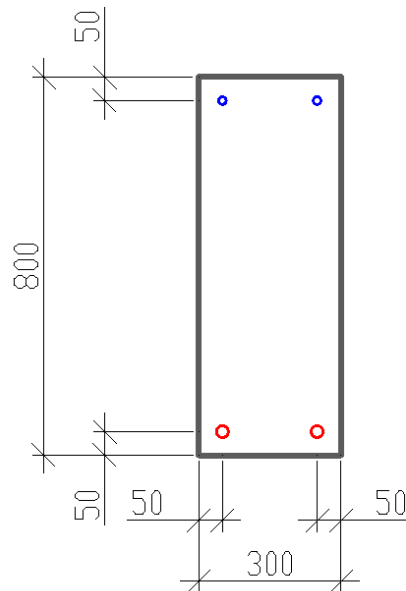


Рисунок 1 – Прямоугольное сечение для импорта

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.

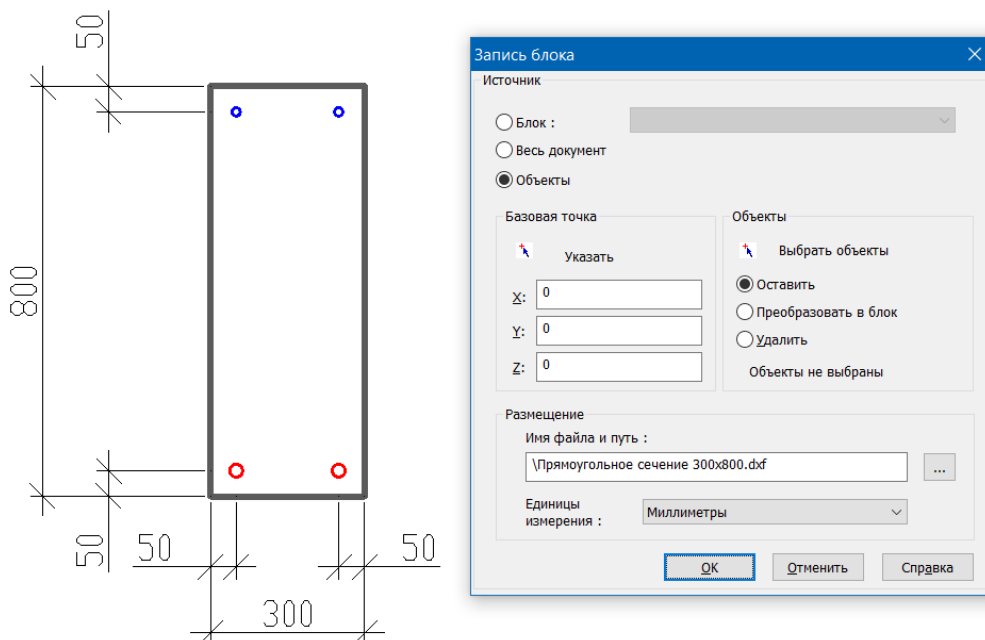


Рисунок 2 – Экспорт сечения в формат DXF

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

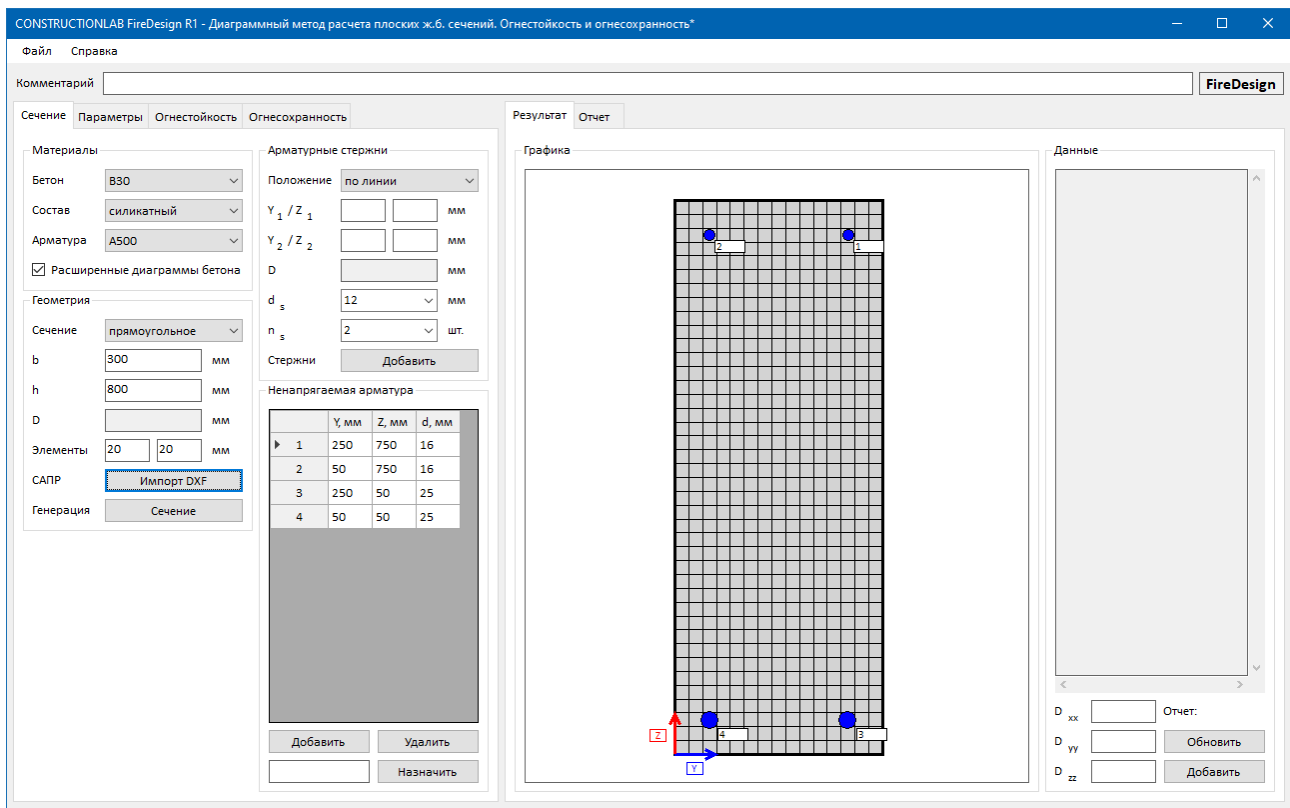


Рисунок 3 – Результат импорта прямоугольного сечения из формата DXF

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 $6\emptyset 14$ 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 ⁽¹⁾	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

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	=	160 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	60 мин.
Минимальная температура в бетоне	T _{b,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T _{b,max}	=	752.5 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,min}	=	509.0 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,max}	=	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 _{bc,n}	=	18.50 МПа
Коэффициент условий работы бетона	γ _{bc}	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E _b	=	30000 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R _{s,n}	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ _s	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E _s	=	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 _y	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	0.00 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M _y	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	0.00 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.000 %
Общее количество итераций	i	=	5

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ε _x	=	0.000000
Кривизна вокруг оси Y	1/r _y	=	0.011070 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r _z	=	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 ²
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D_{zz}	=	152034	кН·м ²
Жесткость относительно осей YZ	D_{yz}	=	0	кН·м ²
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	ΔY_c	=	0.00	мм
Смещение центра жесткости по оси Z	ΔZ_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

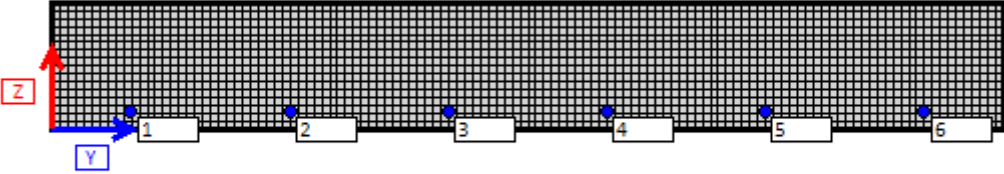
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

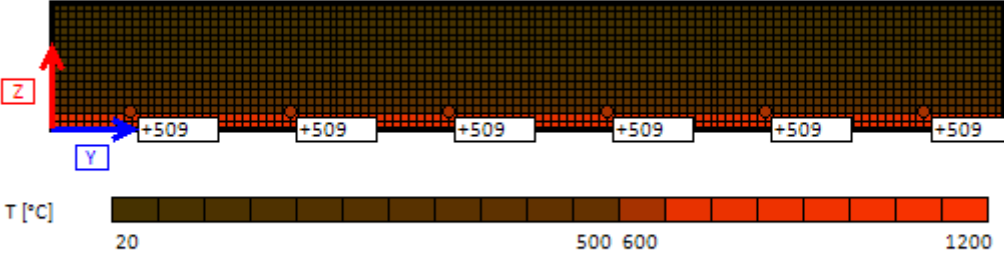
РЕШЕНИЕ

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

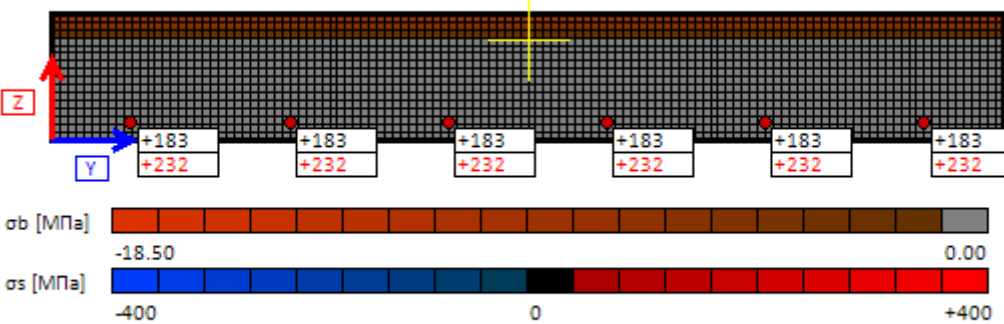
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



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

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	=	160 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	74 мин.
Минимальная температура в бетоне	T _{b,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T _{b,max}	=	793.9 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,min}	=	565.7 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,max}	=	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 _{bc,n}	=	18.50 МПа
Коэффициент условий работы бетона	γ _{bc}	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E _b	=	30000 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R _{s,n}	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ _s	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E _s	=	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 _y	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	0.00 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M _y	=	27.70 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	0.00 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.098 %
Общее количество итераций	i	=	602

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ε _x	=	0.000000
Кривизна вокруг оси Y	1/r _y	=	0.018966 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r _z	=	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 ²
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D_{zz}	=	138999 кН·м ²
Жесткость относительно осей YZ	D_{yz}	=	0 кН·м ²
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	ΔY_c	=	0.00 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	ΔZ_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

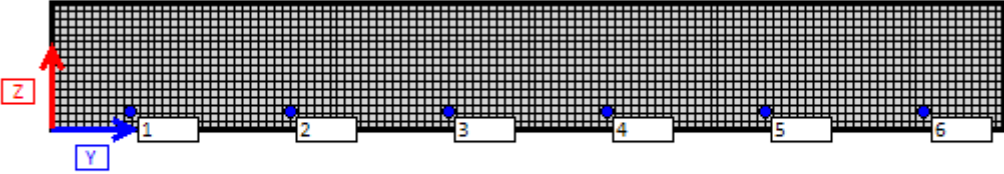
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

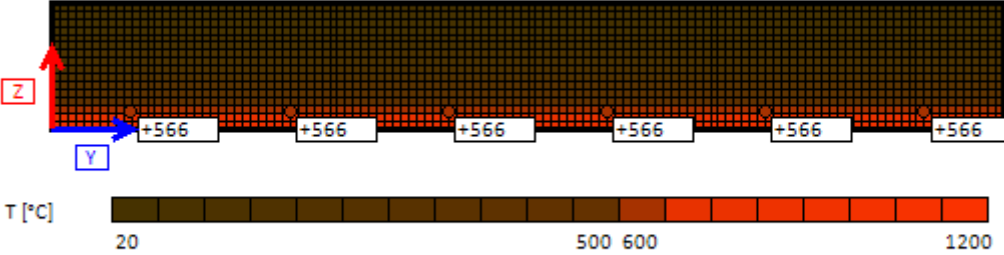
РЕШЕНИЕ

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			

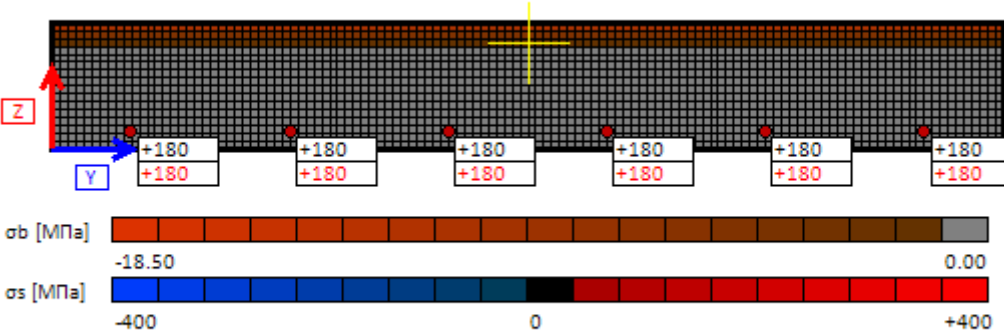
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



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

- 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	=	300 мм
Высота сечения	h	=	600 мм

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Длительность пожара	T	=	90 мин.
Минимальная температура в бетоне	T _{b,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T _{b,max}	=	1093.1 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,min}	=	528.4 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,max}	=	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 _{bc,n}	=	22.00 МПа
Коэффициент условий работы бетона	γ _{bc}	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E _b	=	32500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R _{s,n}	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ _s	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E _s	=	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 _y	=	160.00 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	0.00 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	0.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M _y	=	160.00 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	0.00 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.087 %
Общее количество итераций	i	=	12

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ε _x	=	0.000000
Кривизна вокруг оси Y	1/r _y	=	0.003590 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r _z	=	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 ²
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D_{zz}	=	6459	кН · м ²
Жесткость относительно осей YZ	D_{yz}	=	0	кН · м ²
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	ΔY_c	=	0.00	мм
Смещение центра жесткости по оси Z	ΔZ_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

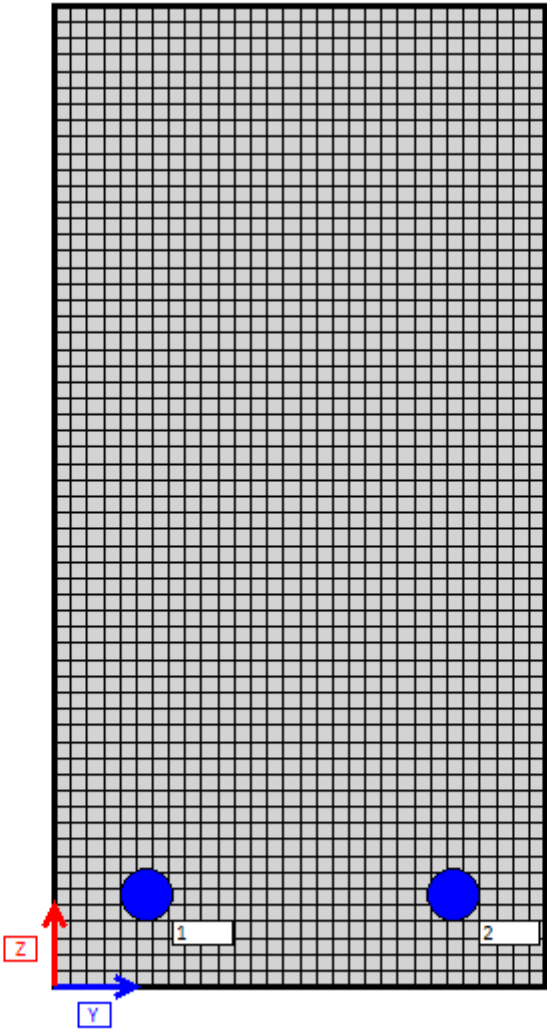
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

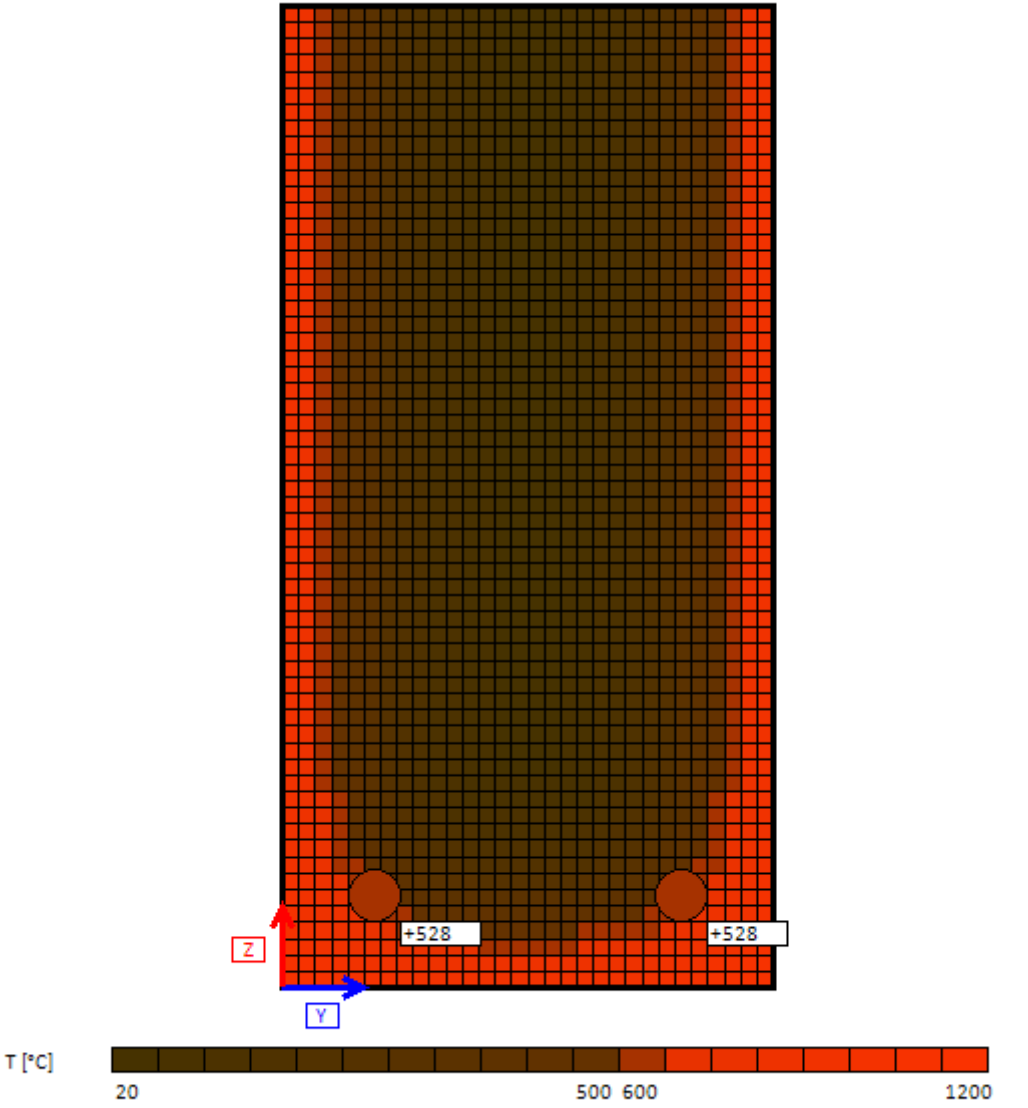
РЕШЕНИЕ

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

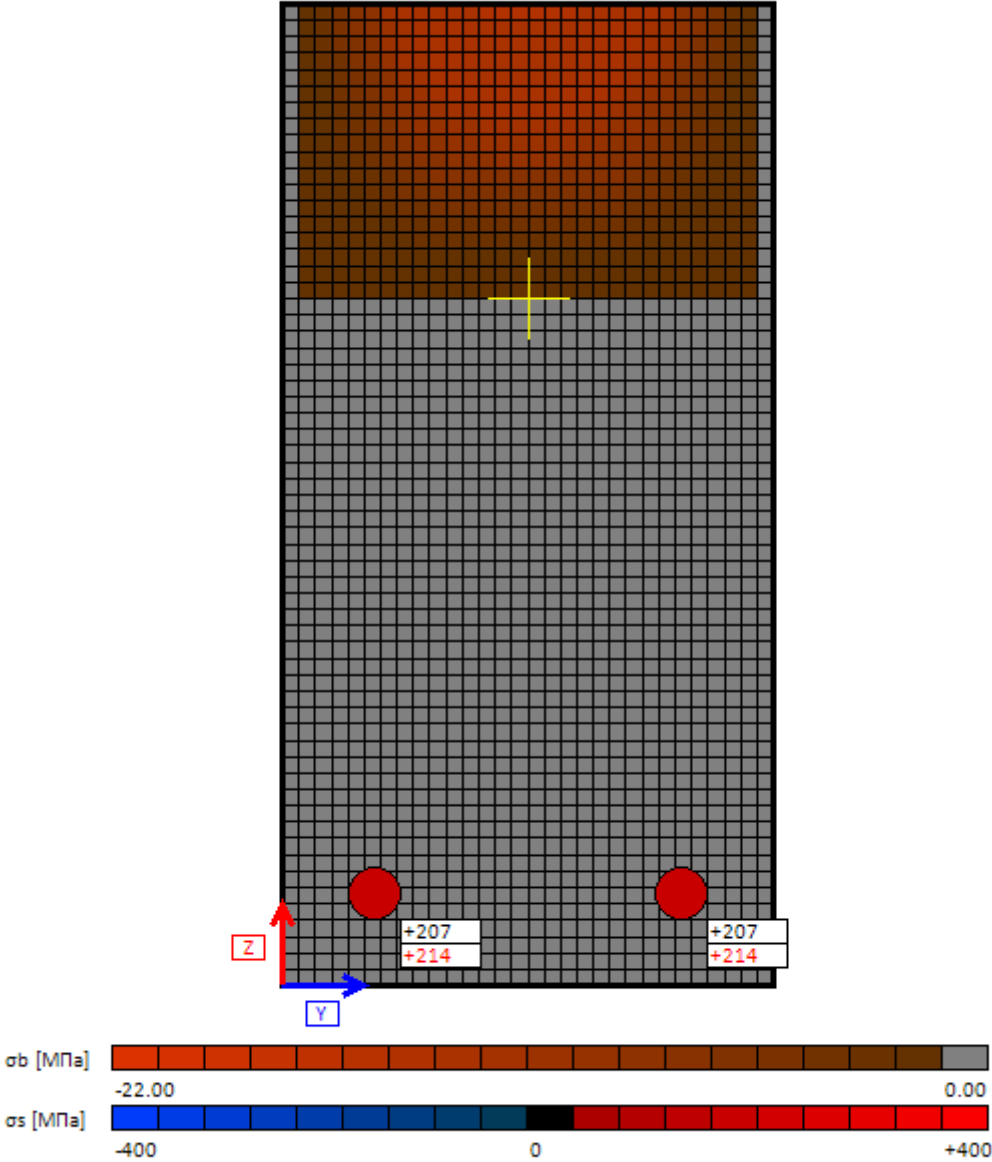
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению 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 ⁽¹⁾	не обеспечена ⁽¹⁾

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

Задача 1.3: Проектный вариант

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 _{b,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T _{b,max}	=	1149.9 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,min}	=	628.3 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,max}	=	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 _{bc,n}	=	22.00 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ _{bc}	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E _b	=	32500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R _{s,n}	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ _s	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E _s	=	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	μ_z	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	ϕ_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	η_z	=	1.0079

Расчетная плоскость		=	XOY
Длина элемента	L _y	=	4000 мм
Коэффициент расчетной длины	μ_y	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	ϕ_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	η_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	δ	=	0.091 %
Общее количество итераций	i	=	36

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ϵ_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 ²
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D _{zz}	=	1721808 кН·м ²
Жесткость относительно осей YZ	D _{yz}	=	-35213 кН·м ²
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	ΔY_c	=	96.96 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	ΔZ_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

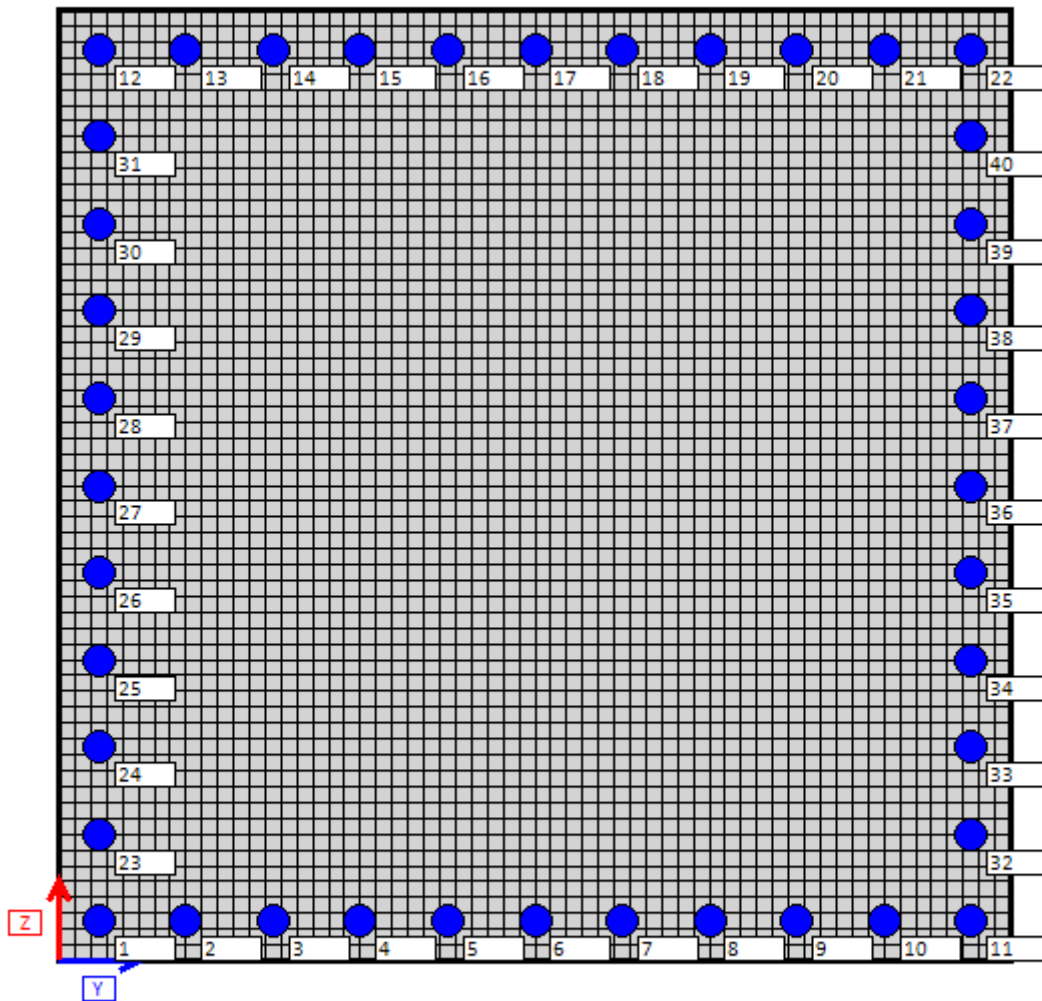
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

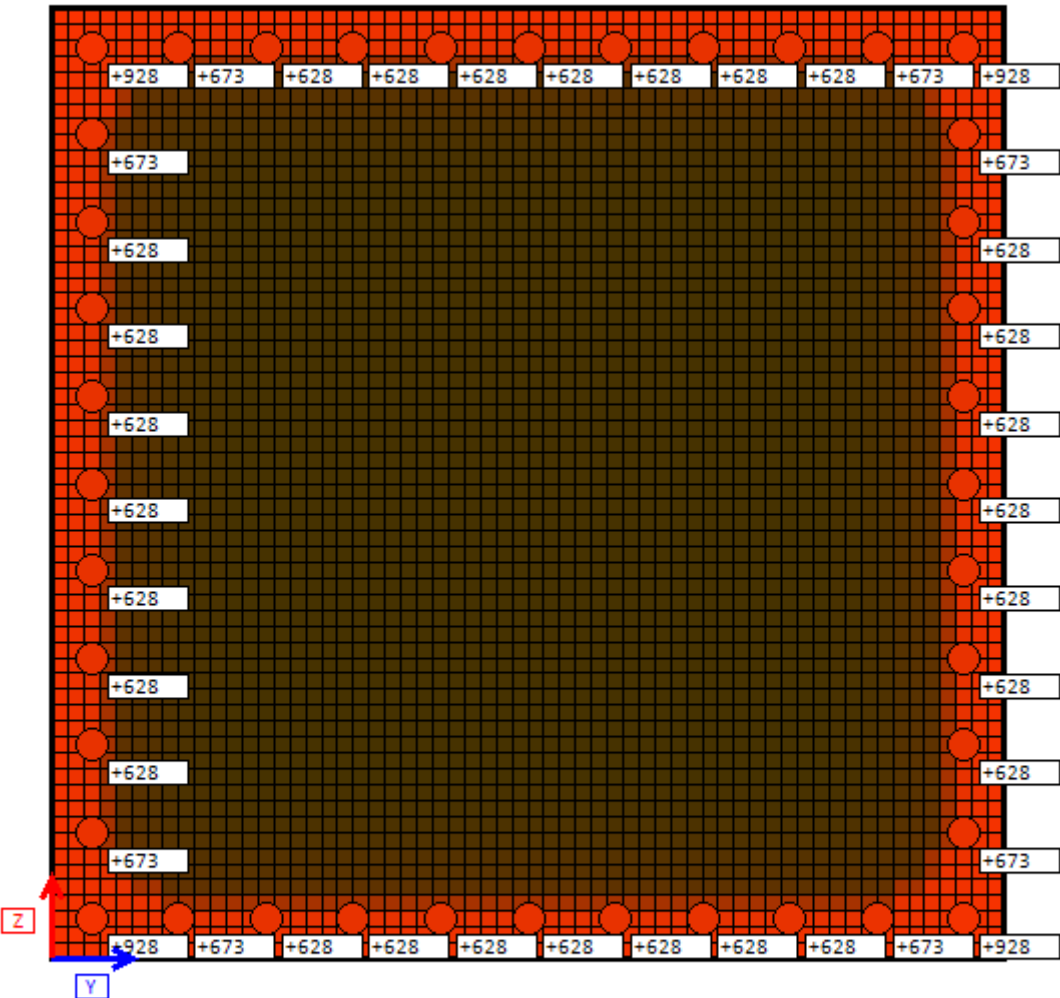
РЕШЕНИЕ

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

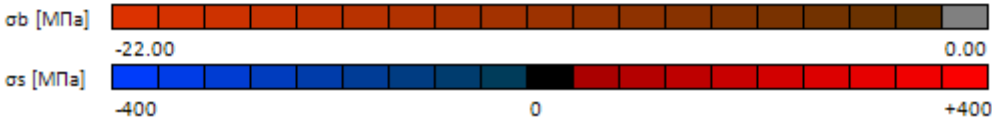
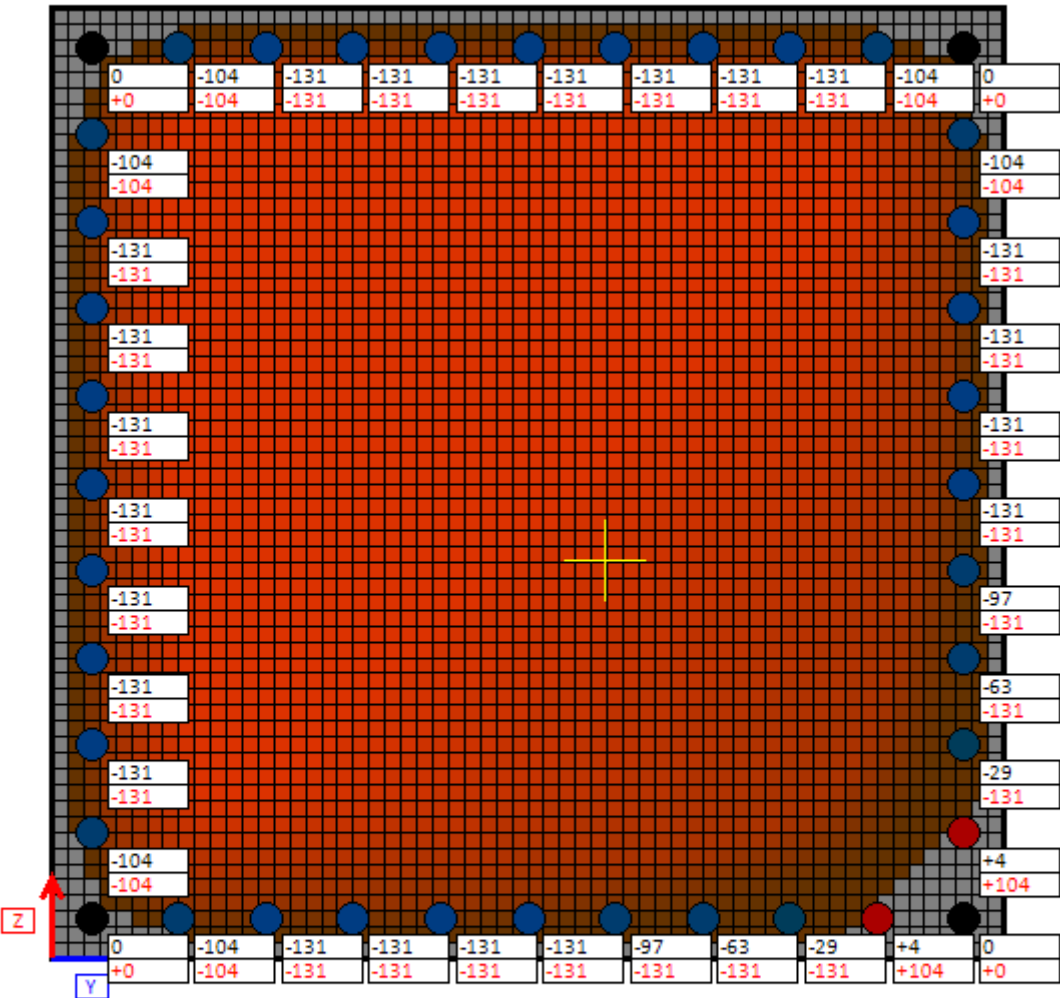
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



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

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 _{b,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T _{b,max}	=	1149.9 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,max}	=	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 _{bc,n}	=	22.00 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ _{bc}	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E _b	=	32500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A400
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Нормативное сопротивление арматуры растяжению	R _{s,n}	=	390 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ _s	=	1.026
Модуль упругости арматуры	E _s	=	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	Lz	=	4000 мм
Коэффициент расчетной длины	μ_z	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	ϕ_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	η_z	=	1.0122

Расчетная плоскость		=	XOY
Длина элемента	L _y	=	4000 мм
Коэффициент расчетной длины	μ_y	=	0.50
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	ϕ_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	η_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	δ	=	0.086 %
Общее количество итераций	i	=	28

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ϵ_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 ²
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D _{zz}	=	1612552 кН·м ²
Жесткость относительно осей YZ	D _{yz}	=	-11532 кН·м ²
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	ΔY_c	=	73.44 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	ΔZ_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

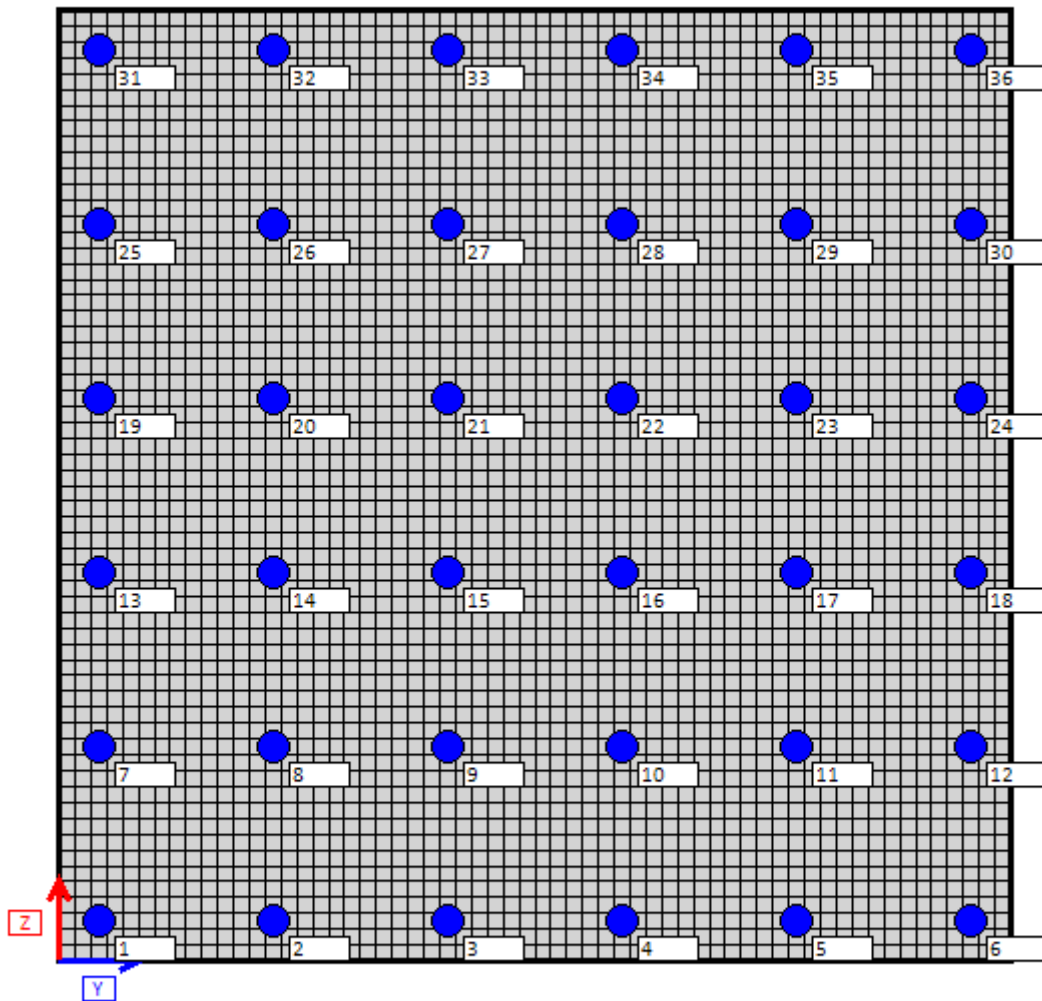
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

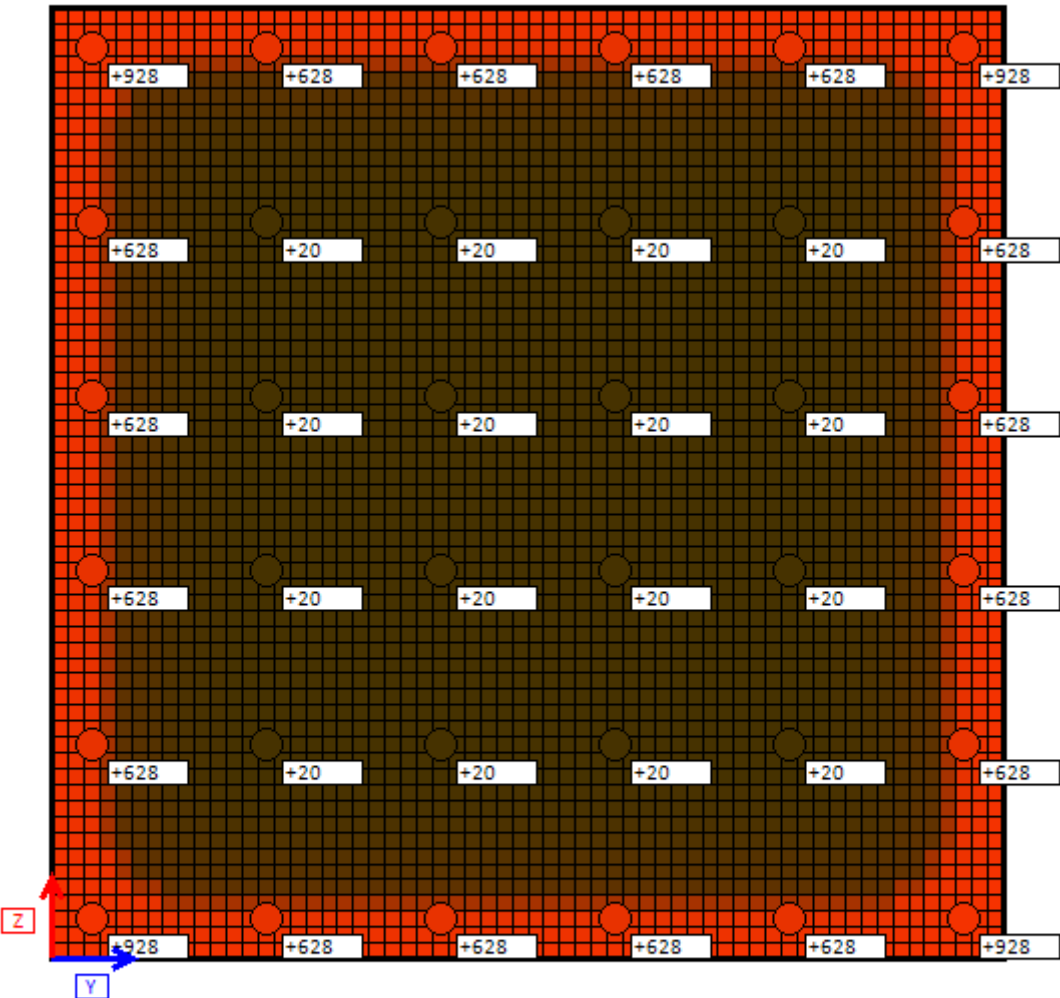
РЕШЕНИЕ

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

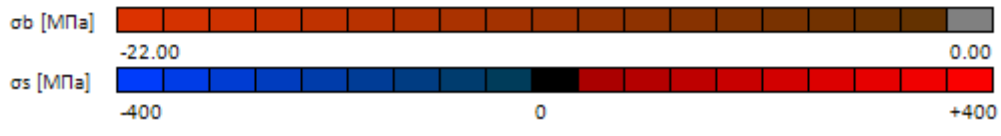
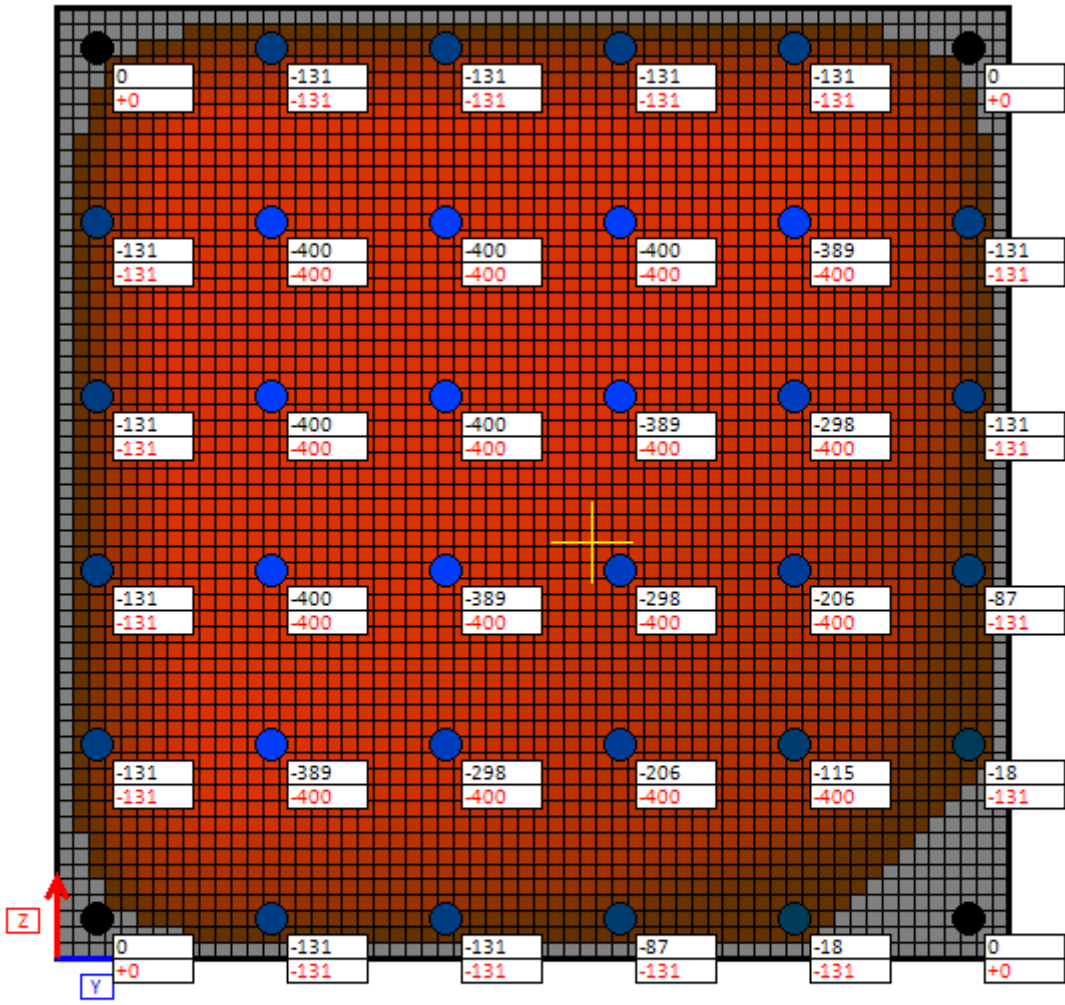
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



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 \varnothing 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 _{b,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в бетоне	T _{b,max}	=	1152.8 °C
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,min}	=	20.0 °C
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,max}	=	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 _{bc}	=	19.50 МПа
Коэффициент условий работы сжатого бетона	γ _{bc}	=	1.000
Начальный модуль упругости бетона	E _b	=	34500 МПа

НЕНАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

Класс арматуры по прочности на растяжение		=	A500
Диаграмма состояния арматуры		=	двухлинейная
Расчетное сопротивление арматуры растяжению	R _s	=	435 МПа
Коэффициент условий работы арматуры	γ _s	=	1.000
Модуль упругости арматуры	E _s	=	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	μ_z	=	0.70
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	ϕ_l	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	e _{t,z}	=	0.0 мм
Начальный эксцентриситет (с учетом e _{t,z})	e _{0,z}	=	20.0 мм
Условная критическая сила	N _{cr,z}	=	142108 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	η_z	=	1.0847

Расчетная плоскость		=	XOY
Длина элемента	Ly	=	3900 мм
Коэффициент расчетной длины	μ_y	=	0.70
Коэффициент влияния длительности действия нагр.	ϕ_l	=	2.00
Дополнительный эксцентриситет	e _{t,y}	=	0.0 мм
Начальный эксцентриситет (с учетом e _{t,y})	e _{0,y}	=	20.0 мм
Условная критическая сила	N _{cr,y}	=	142108 кН
Коэффициент влияния продольного изгиба	η_y	=	1.0847

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	-11100.0 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	=	-11100.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M _y	=	240.81 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	240.81 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	-11097.2 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M _y	=	240.58 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M _z	=	240.58 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.091 %
Общее количество итераций	i	=	38

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ϵ_x	=	-0.002584
Кривизна вокруг оси Y	1/r _y	=	0.006822 1/м
Кривизна вокруг оси Z	1/r _z	=	0.006822 1/м

ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	D _{xx}	=	4296316 кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	D _{yy}	=	88458 кН·м ²
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D _{zz}	=	88458 кН·м ²
Жесткость относительно осей YZ	D _{yz}	=	5279 кН·м ²
Координата центра жесткости по оси Y	Y _c	=	329.42 мм
Координата центра жесткости по оси Z	Z _c	=	270.58 мм
Смещение центра жесткости по оси Y	ΔY_c	=	29.42 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	ΔZ_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

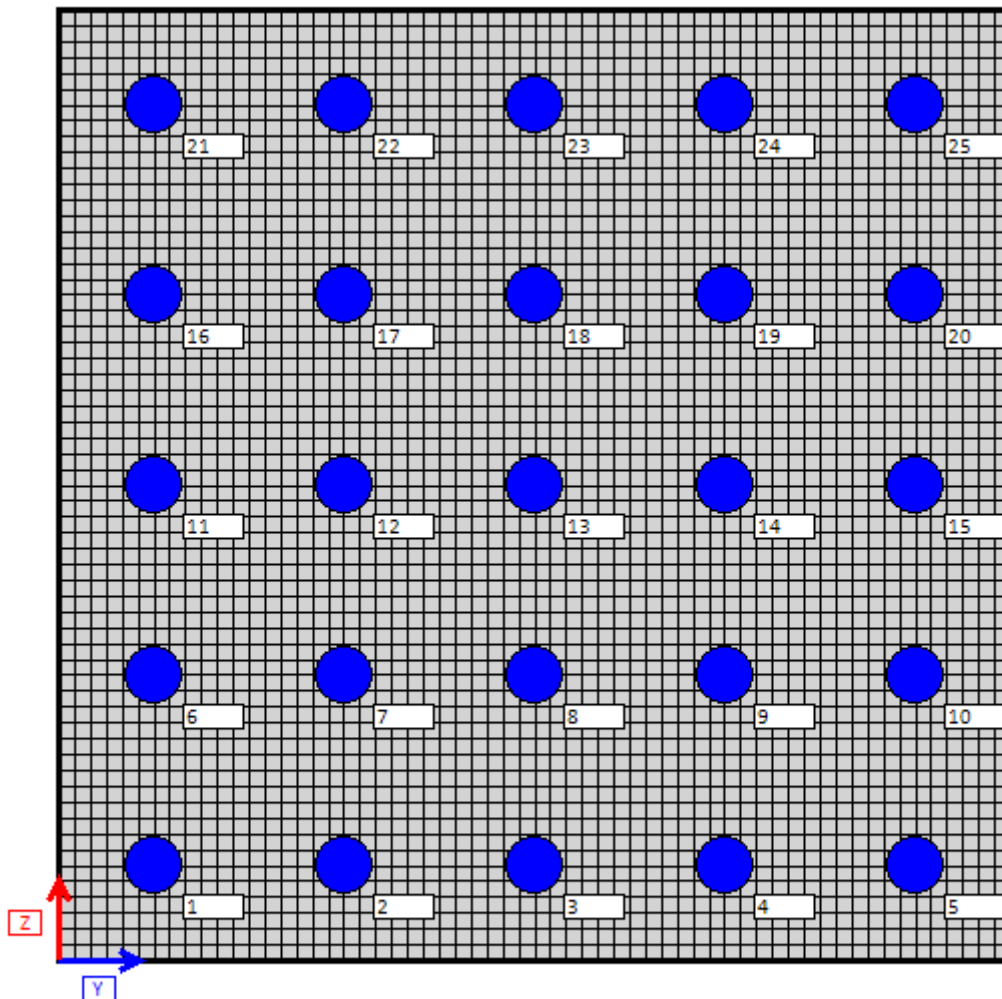
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

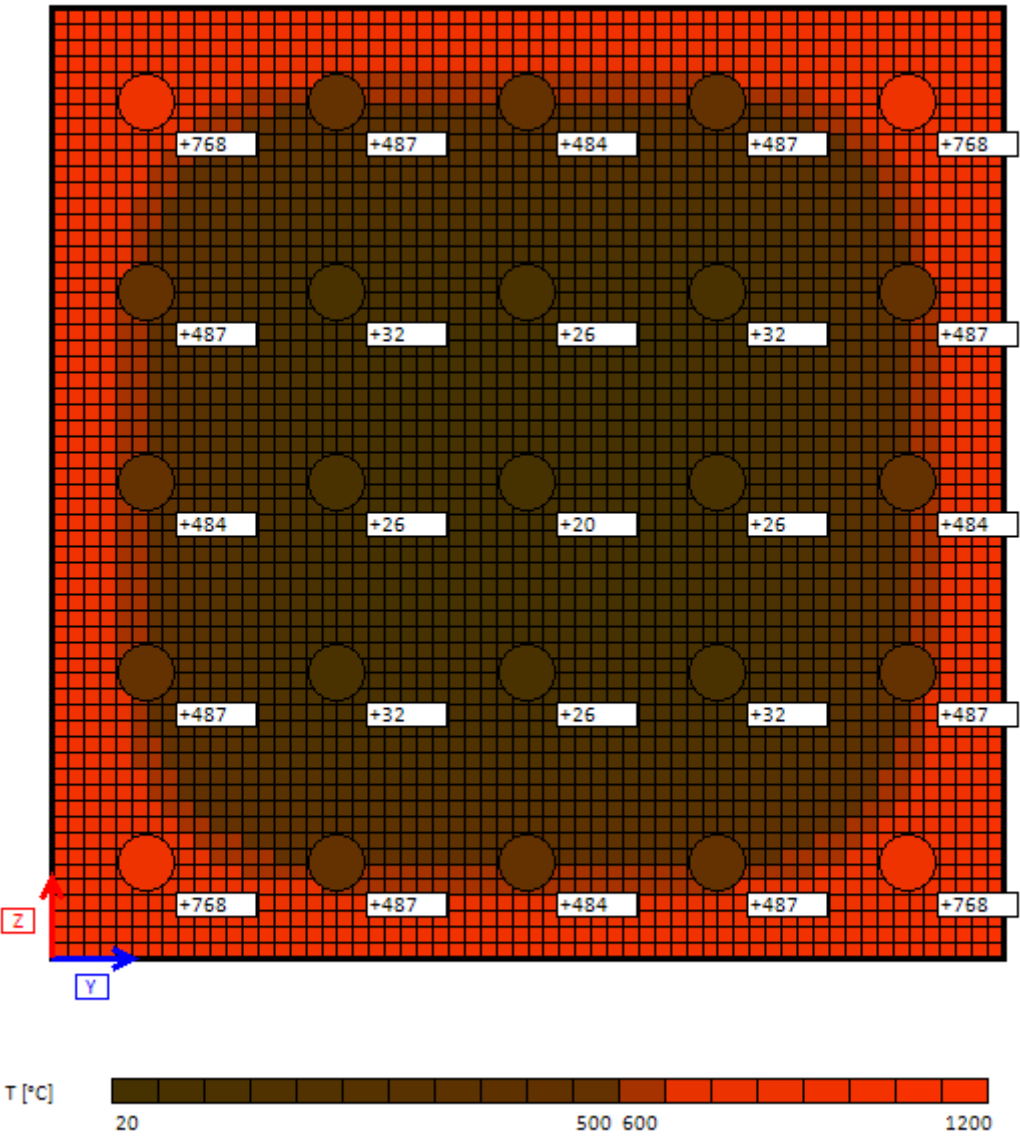
РЕШЕНИЕ

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

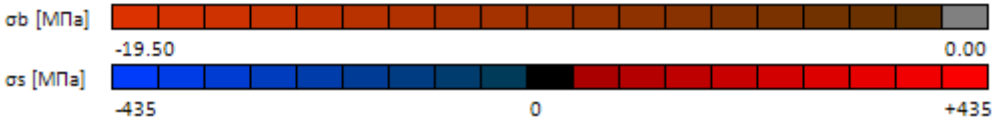
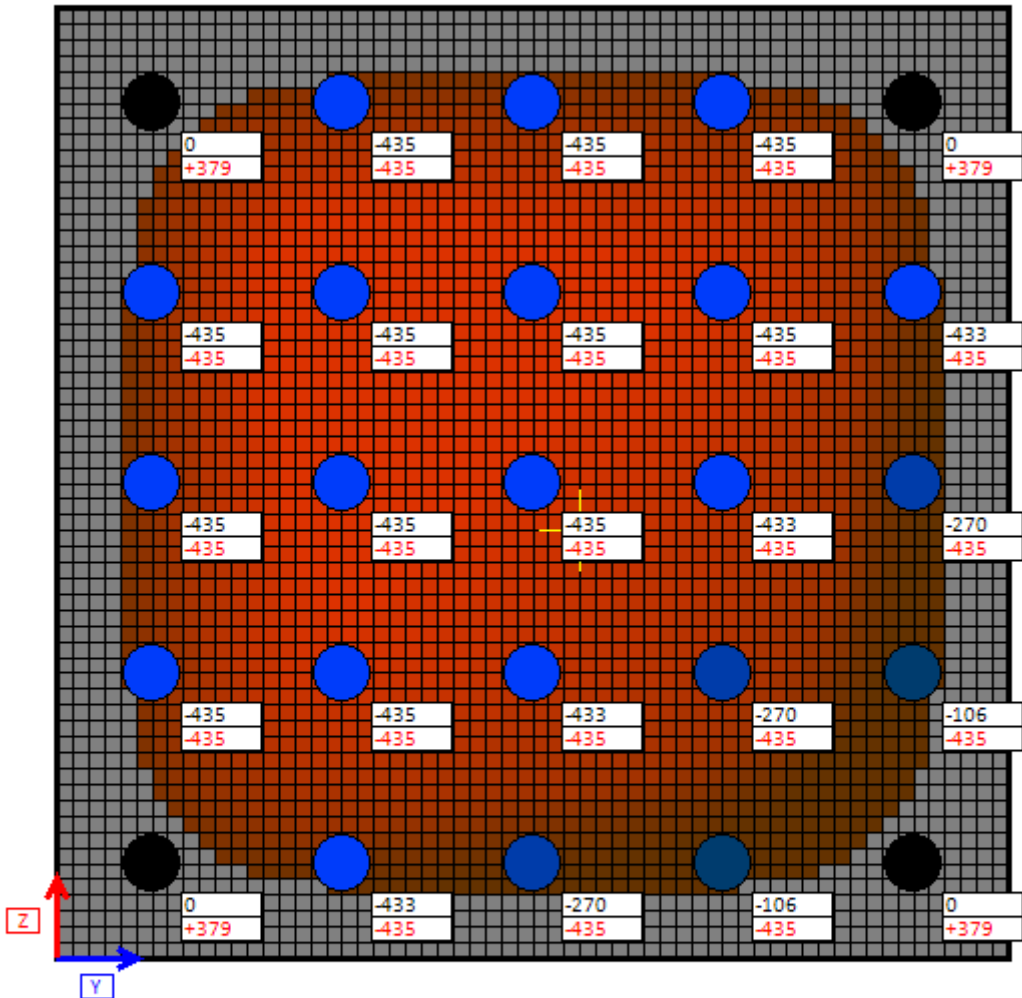
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



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.