

FireDesign R1

Верификационные задачи

Приложение: FireDesign

Версия: R1

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

Дата: 2021-05-28

Разработка: <https://constructionlab.ru>

E-mail: support@constructionlab.ru

Содержание

1	Общие пояснения к верификационным задачам	4
2	Огнестойкость железобетонных конструкций.....	5
	Задача 1.1 Несущая способность ж.б. плиты	5
	Задача 1.2 Несущая способность ж.б. балки.....	12
	Задача 1.3 Несущая способность ж.б. колонны.....	18
3	Огнесохранность железобетонных конструкций.....	29
	Задача 2.1 Несущая способность ж.б. колонны.....	29
4	Литература.....	35

1 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 в соответствии с Пособием по расчету огнестойкости и огнесохранности 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 незначительно 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.

2 Огнестойкость железобетонных конструкций

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 ⁽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

СТО 36554501-006-2006.

Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности ж.б. конструкций

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 сжатого 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

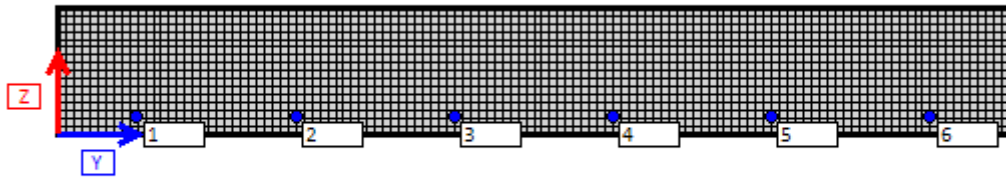
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

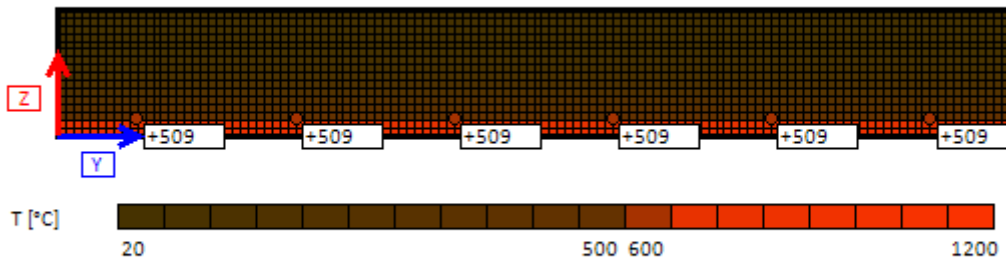
РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	k_b	=	0.090
Относит. коэффициент исп. растянутой арматуры	k_s	=	0.789

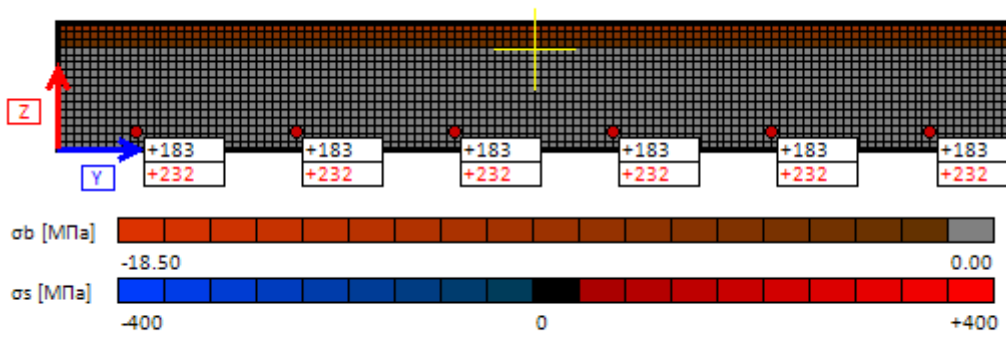
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



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

СТО 36554501-006-2006.

Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности ж.б. конструкций

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 °С
Максимальная температура в бетоне	T _{b,max}	=	793.9 °С
Минимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,min}	=	565.7 °С
Максимальная температура в ненапрягаемой арматуре	T _{s,max}	=	565.7 °С

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 сжатого 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

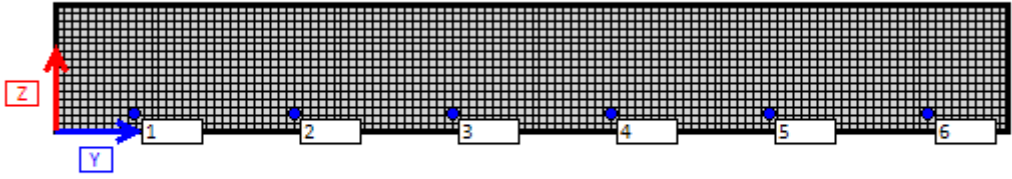
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

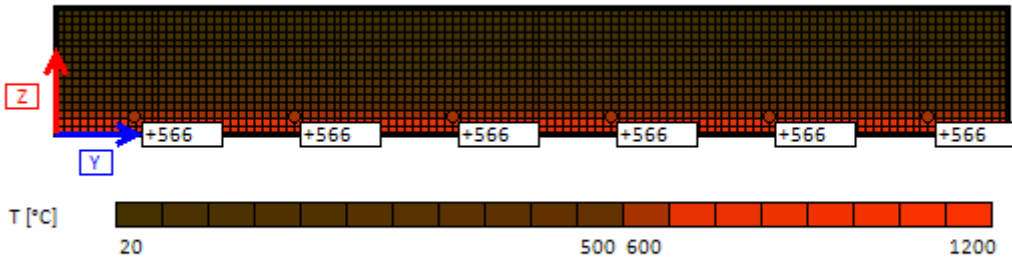
РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	k_b	=	0.114
Относит. коэффициент исп. растянутой арматуры	k_s	=	1.830
Остаточные деформации в растянутой арматуре			

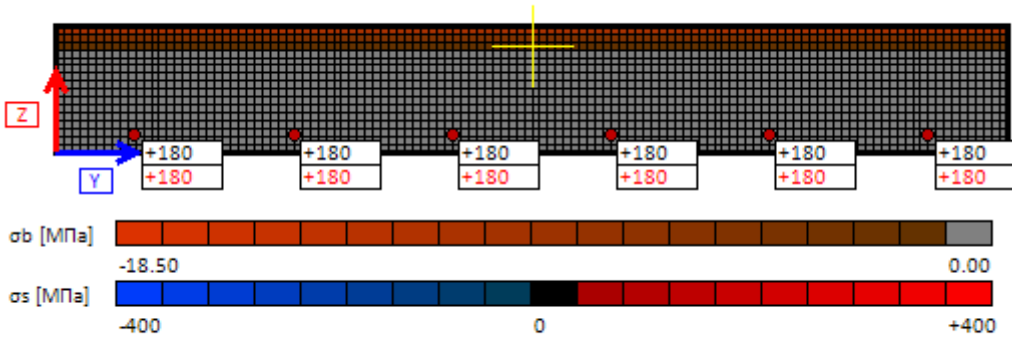
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

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	538,4 / +4,1 %
Предел огнестойкости	мин.	90	92 / +2,2 %
Огнестойкость	–	обеспечена	обеспечена

Задача 1.2: Расчетная длительность пожара (90 мин.)

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСТОЙКОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

СТО 36554501-006-2006.

Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности ж.б. конструкций

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 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 (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

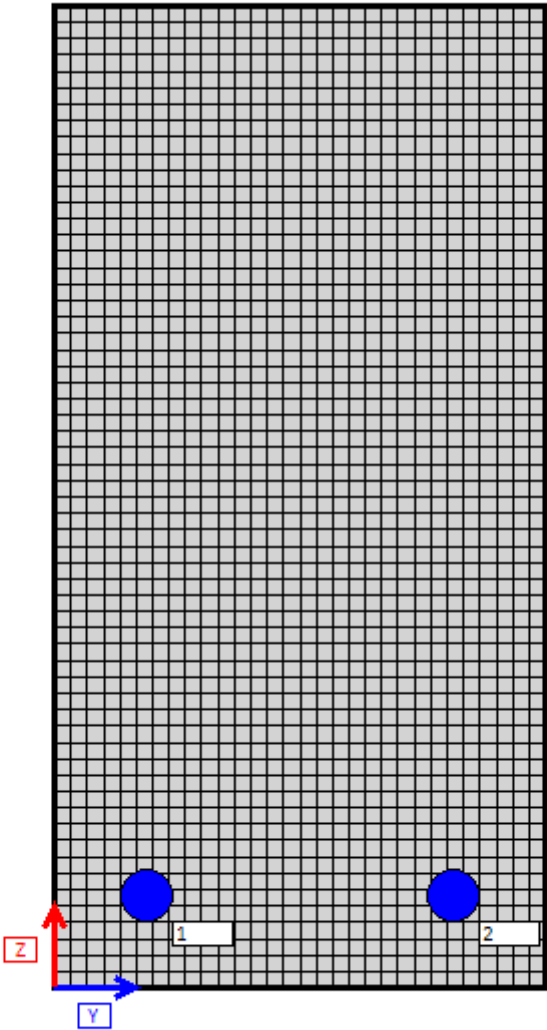
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

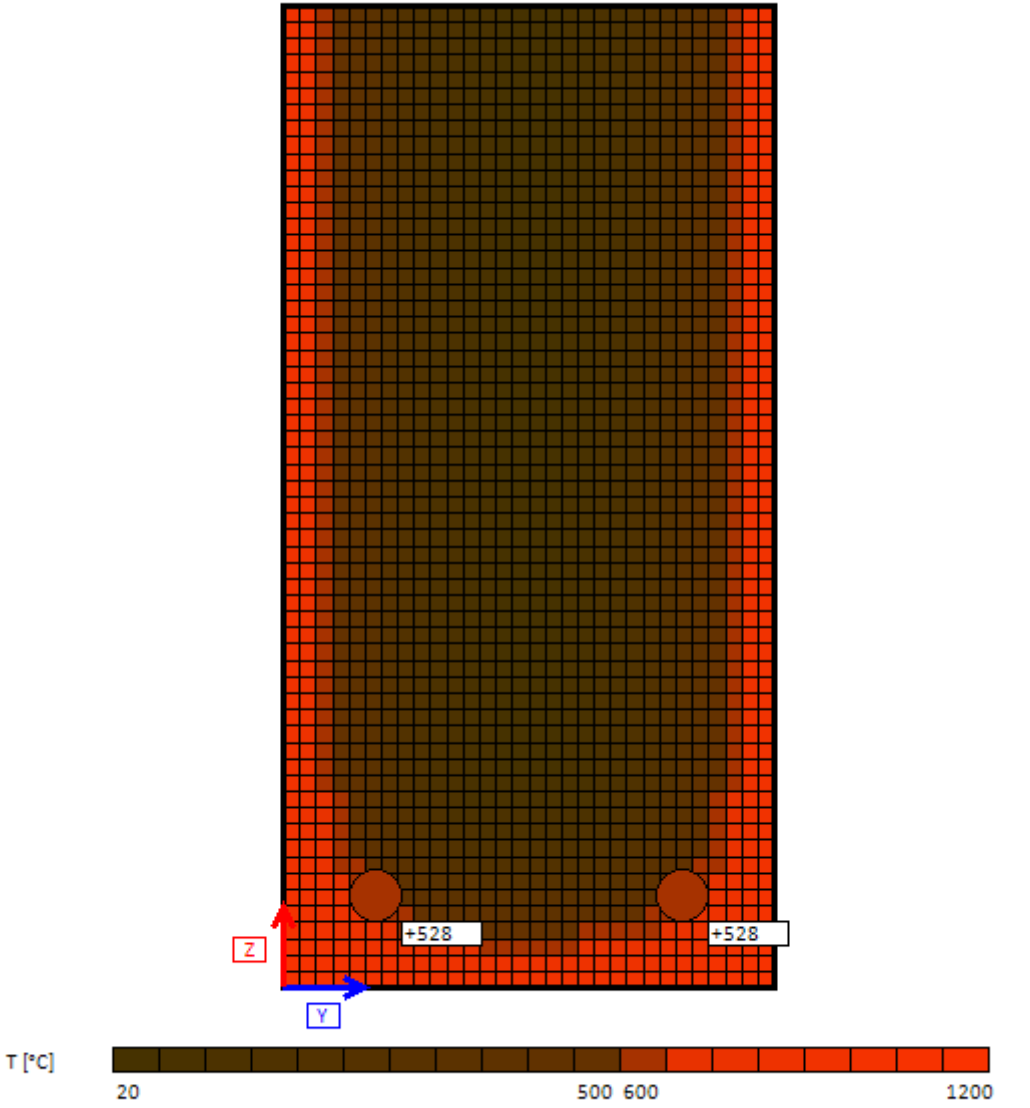
РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	k_b	=	0.180
Относит. коэффициент исп. растянутой арматуры	k_s	=	0.967

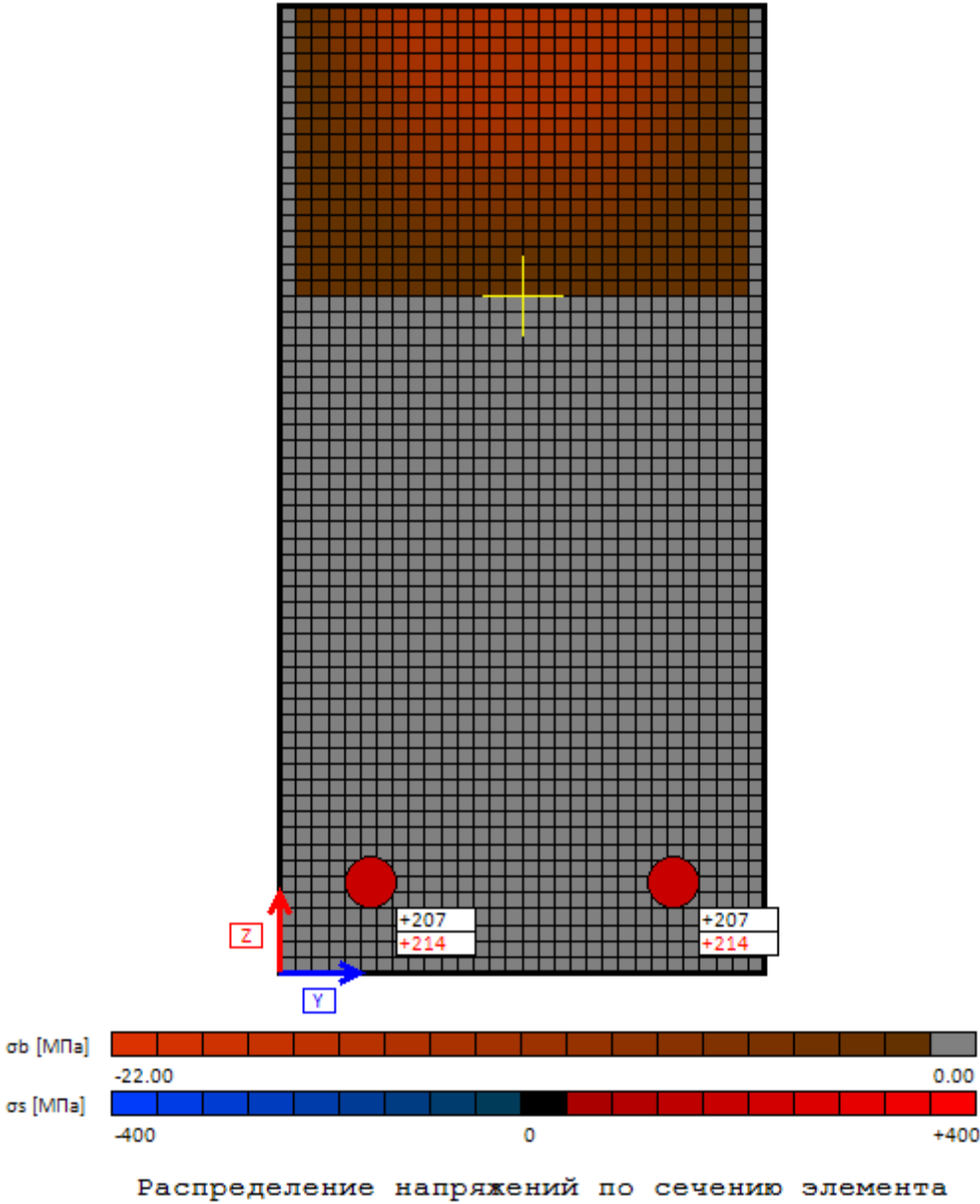
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



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

СТО 36554501-006-2006.

Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности ж.б. конструкций

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	L_z	=	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

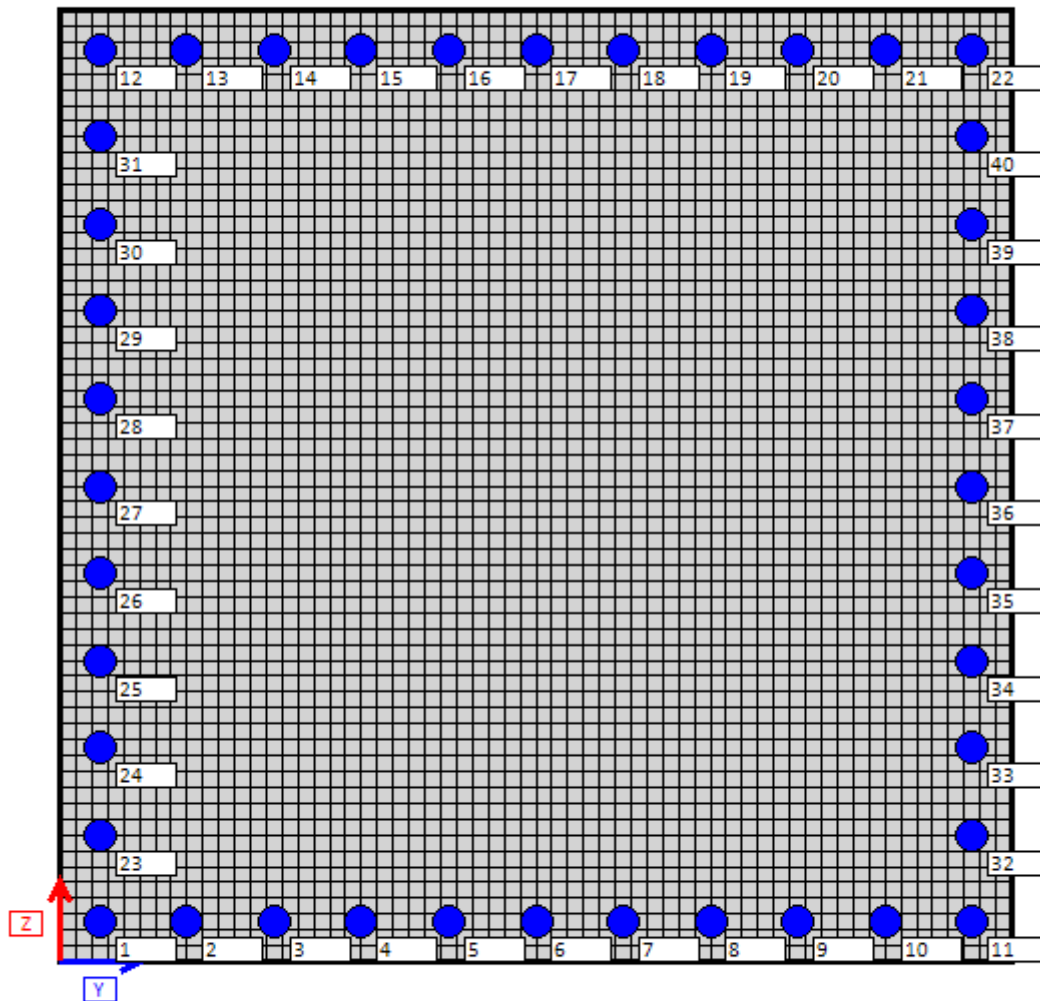
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

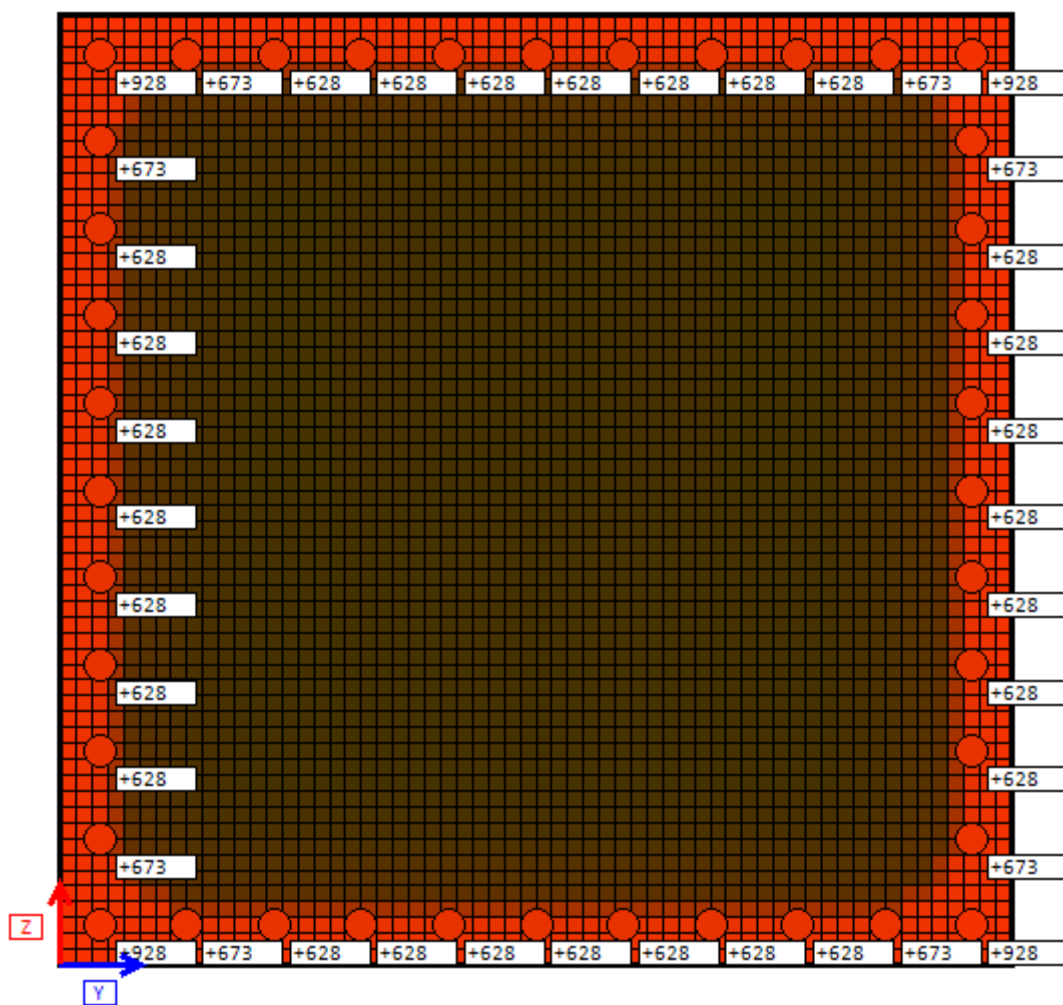
РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	k_b	=	0.996
Относит. коэффициент исп. растянутой арматуры	k_s	=	0.040

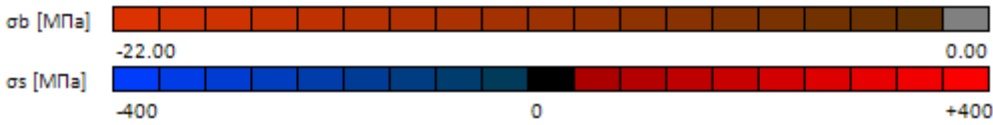
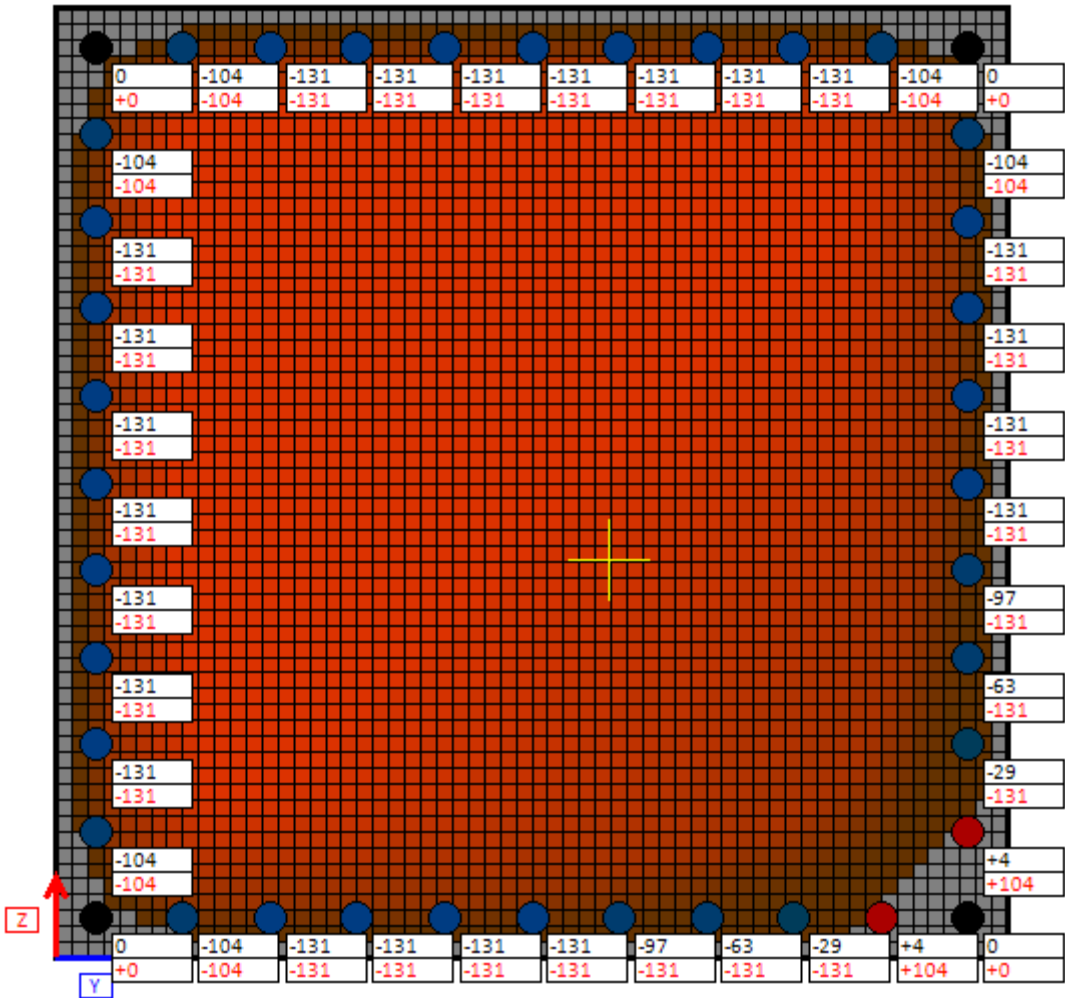
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



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

СТО 36554501-006-2006.

Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности ж.б. конструкций

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	L_z	=	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

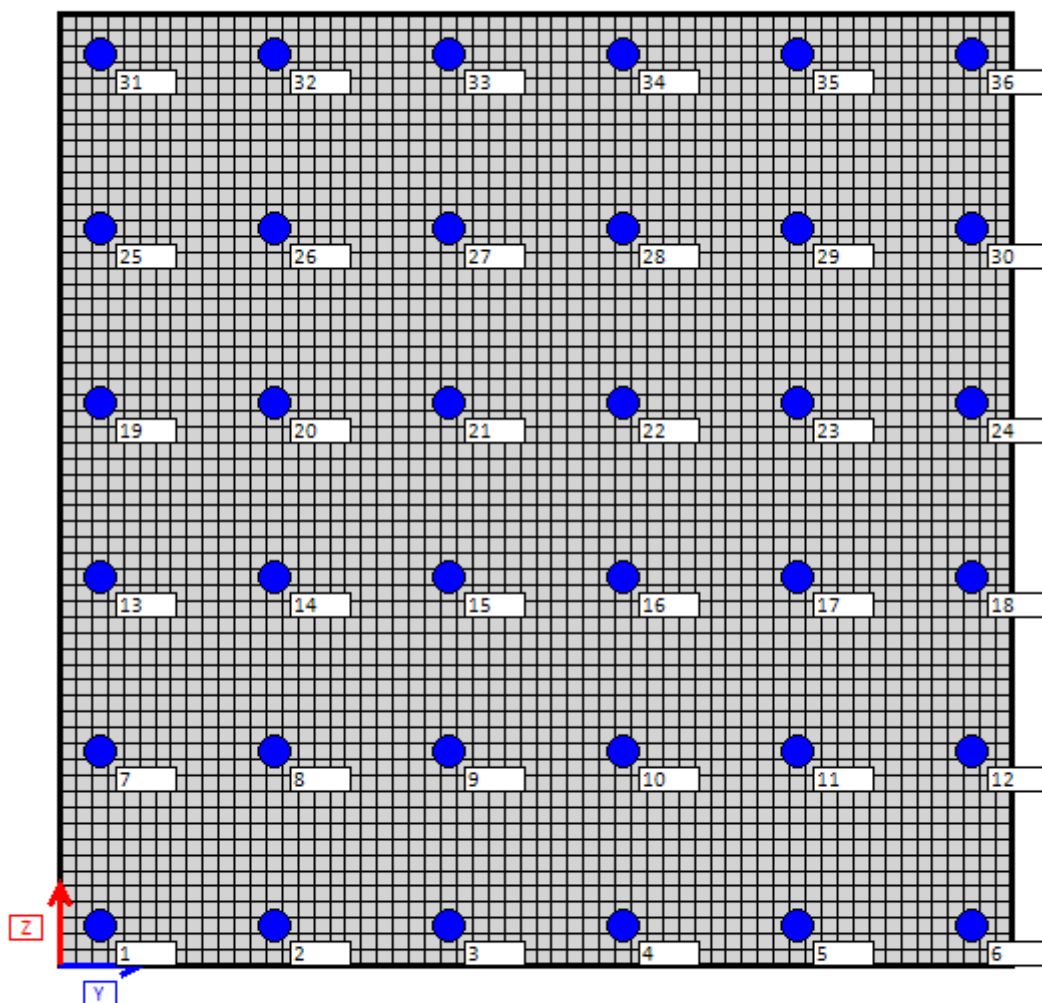
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

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

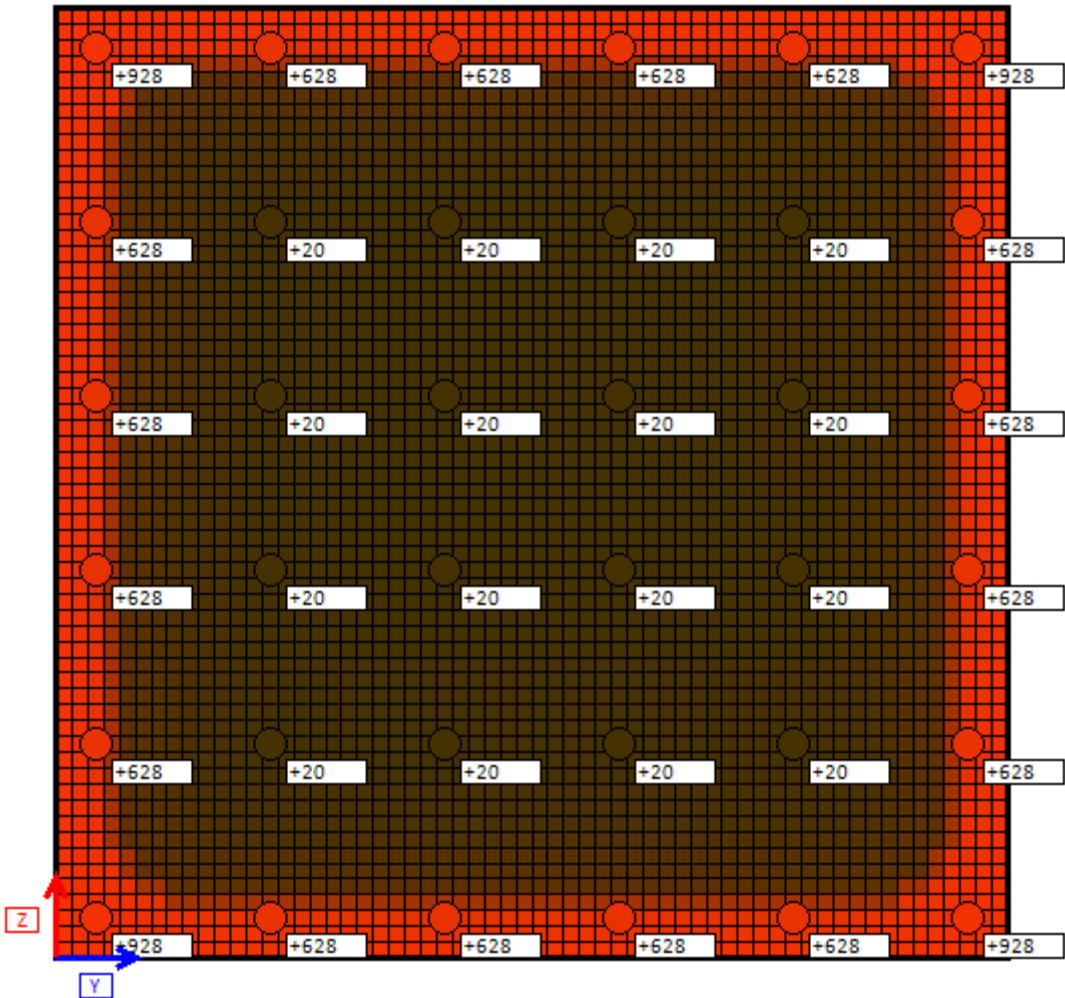
РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	k_b	=	0.995
Относит. коэффициент исп. растянутой арматуры	k_s	=	0.000

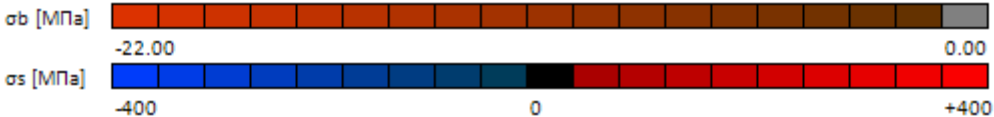
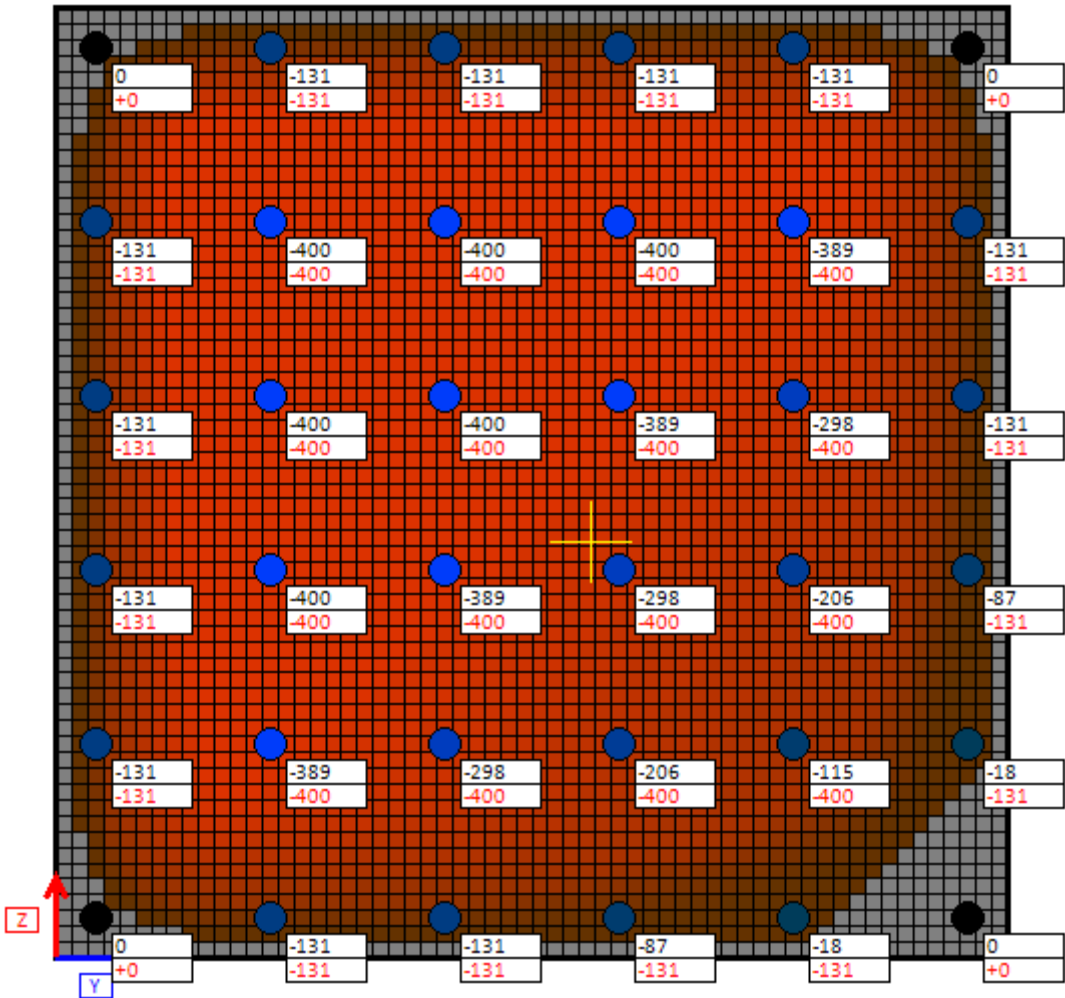
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

3 Огнесохранность железобетонных конструкций

Задача 2.1 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 – № 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 25Ø36 А400.

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: Проектный вариант

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ – ОГНЕСОХРАННОСТЬ

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

СТО 36554501-006-2006.

Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности ж.б. конструкций

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	L _z	=	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	=	1.0856

Расчетная плоскость		=	XOY
Длина элемента	L _y	=	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	=	1.0856

ВНЕШНИЕ УСИЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ НЕНАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Продольная сила	N	=	-11200.0 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	=	-11200.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M_y	=	243.16 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M_z	=	243.16 кН·м

ИТЕРАЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

Продольное усилие	N	=	-11196.0 кН
Изгибающий момент вокруг оси Y	M_y	=	242.94 кН·м
Изгибающий момент вокруг оси Z	M_z	=	242.94 кН·м
Итерационная точность	δ	=	0.096 %
Общее количество итераций	i	=	47

ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕНТРЕ ЖЕСТКОСТИ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Осевая относительная деформация	ϵ_x	=	-0.002696
Кривизна вокруг оси Y	$1/r_y$	=	0.007366 1/м
Кривизна вокруг оси Z	$1/r_z$	=	0.007366 1/м

ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТИ

Осевая жесткость	D_{xx}	=	4153598 кН
Изгибная жесткость вокруг оси Y	D_{yy}	=	85411 кН·м ²
Изгибная жесткость вокруг оси Z	D_{zz}	=	85411 кН·м ²
Жесткость относительно осей YZ	D_{yz}	=	4871 кН·м ²
Координата центра жесткости по оси Y	Y_c	=	331.26 мм
Координата центра жесткости по оси Z	Z_c	=	268.74 мм
Смещение центра жесткости по оси Y	ΔY_c	=	31.26 мм
Смещение центра жесткости по оси Z	ΔZ_c	=	-31.26 мм

ПАРАМЕТРЫ БЕТОНА НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,max}$	=	0.001189
Минимальная относительная деформация в бетоне	$\epsilon_{b,min}$	=	-0.007503
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	$\sigma_{b,m}$	=	-13.33 МПа

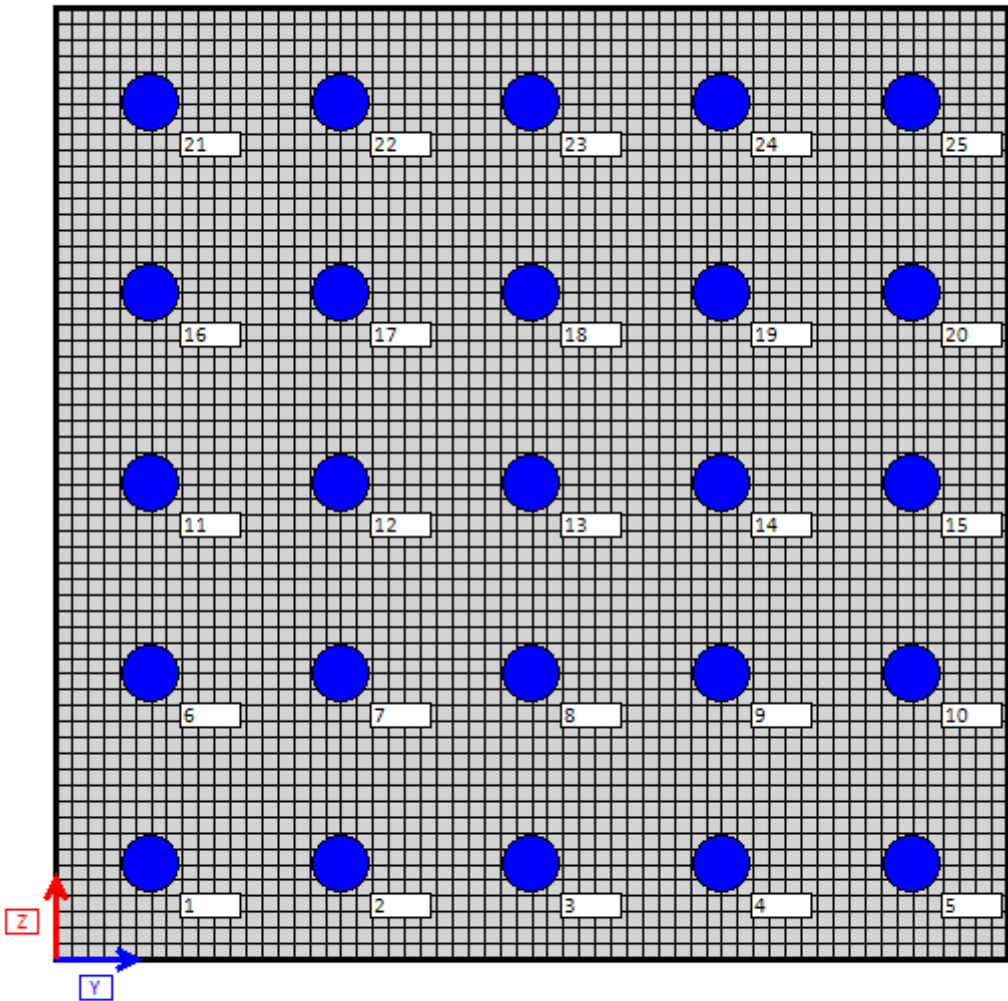
ПАРАМЕТРЫ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ НАГРУЖЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Максимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,max}$	=	0.000379
Минимальная относительная деформация в арматуре	$\epsilon_{s,min}$	=	-0.006693
Максимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,max}$	=	0.00 МПа
Минимальное напряжение в арматуре	$\sigma_{s,min}$	=	-435.00 МПа

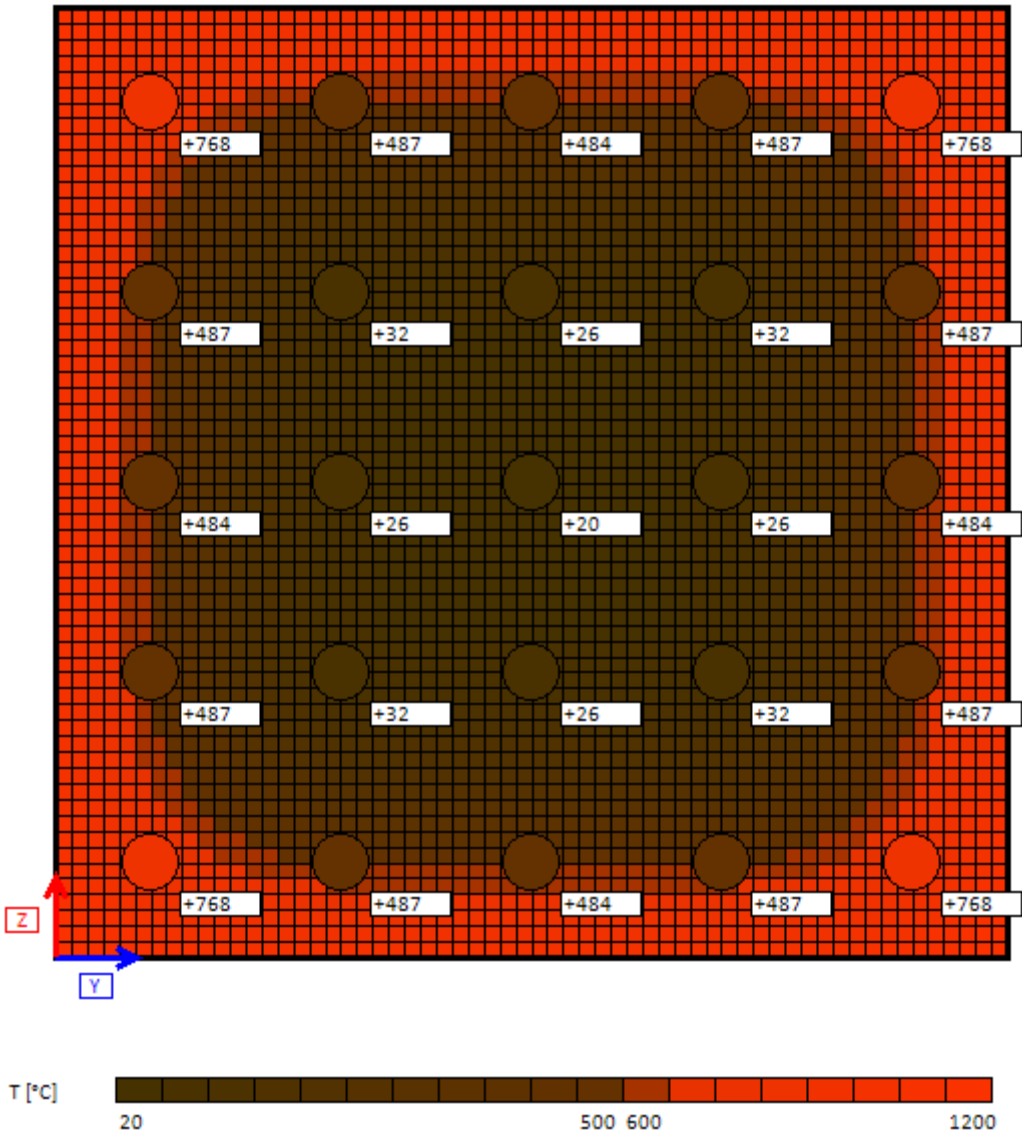
РЕШЕНИЕ

Статус решения		=	найдено
Коэффициент использования сжатого бетона	k_b	=	0.993
Относит. коэффициент исп. растянутой арматуры	k_s	=	0.200

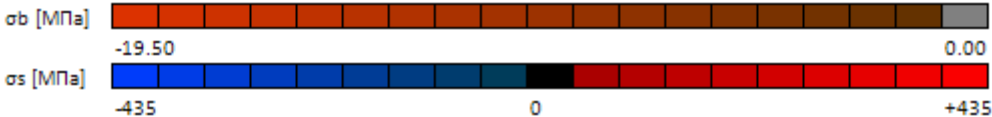
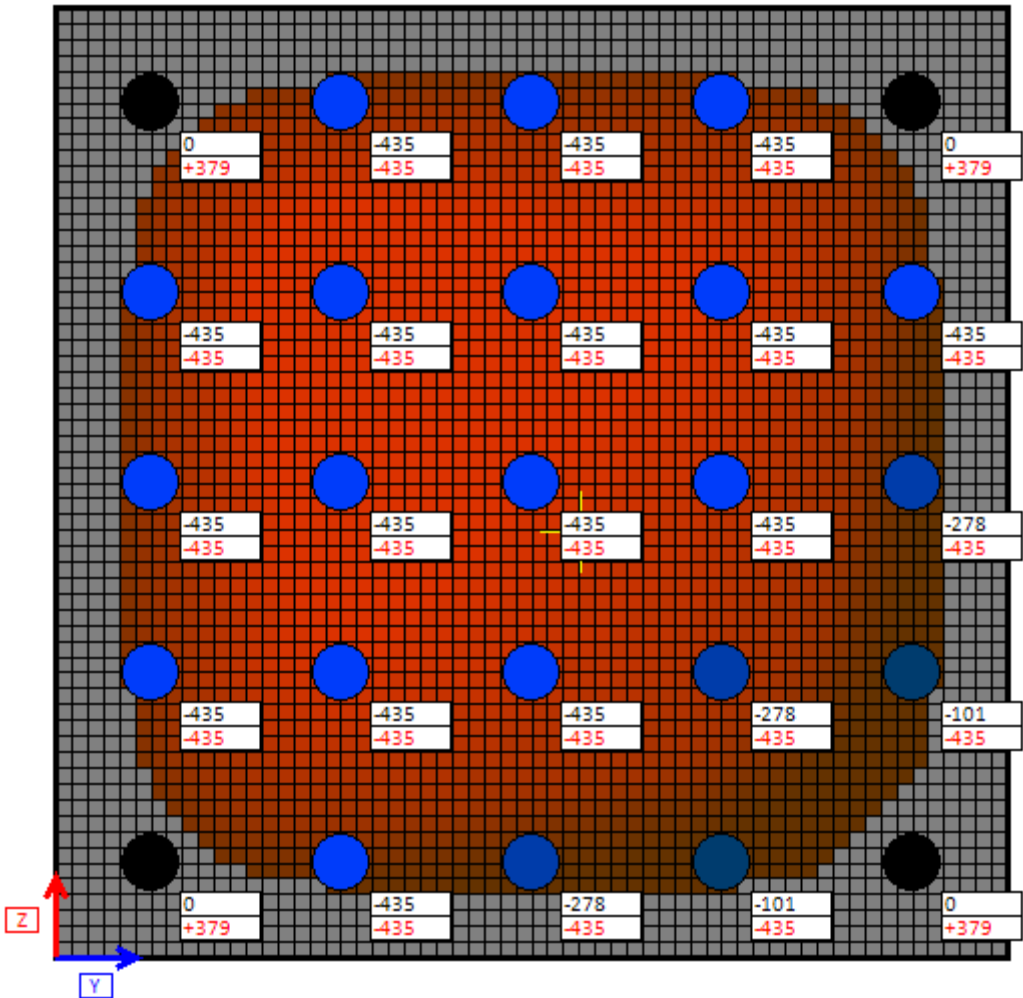
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНА



Поперечное сечение элемента



Распределение температуры прогрева по сечению элемента



Распределение напряжений по сечению элемента

4 Литература

1. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006
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.