

# 451 – Расчет по огнестойкости (сталежелезобетонное сечение)



Программа предназначена для расчёта по огнестойкости элементов сталежелезобетонных конструкций согласно СП 468.1325800.2019, СП 63.13330.2018, СП 16.13330.2017, СП 266.1325800.2016. Температурное поле в бетонном сечении элемента при огневом воздействии определяется путем решения задачи нестационарной теплопроводности с учетом зависимости теплофизических характеристик бетона от температуры. Предельные усилия вычисляются на основе диаграмм деформирования сжатого бетона, арматуры и конструкционной стали. Рассматриваются железобетонные элементы прямоугольного сечения с жесткой арматурой в виде двутавра или крестообразно соединенных четырёх тавров.

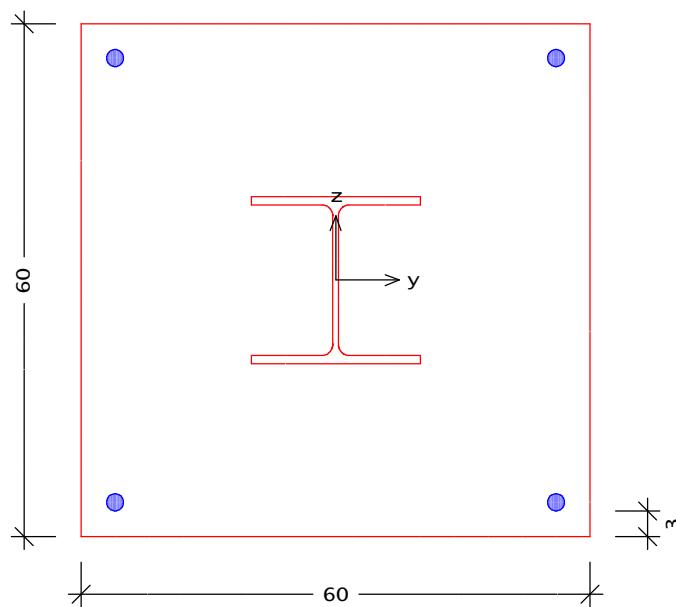
Сечение

 Ширина сечения  $b$  = 60.0 см  
 Высота сечения  $h$  = 60.0 см

## Арматура

 Диаметр стержней  $d_s$  = 20 мм  
 Толщина защитного слоя  $a_s$  = 30 мм

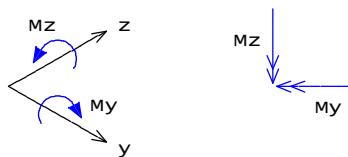
## Профиль

 Двутавр 20К1 ГОСТ Р 57837-2017  
 Ширина  $b$  = 199 мм  
 Высота  $h$  = 196 мм  
 Толщина полок  $t$  = 10.0 мм  
 Толщина стенки  $s$  = 6.5 мм

Усилия

Относительно центральных осей бетонного сечения

Nº	N [кН]	M <sub>y</sub> [кНм]	M <sub>z</sub> [кНм]
1	2500.0	300.0	

Положительные направления моментов



**Расчет**

 Согласно СП 468.1325800.2019, СП 63.13330.2018,  
 СП 266.1325800.2016

Применяется метод расчета согласно СП 468, 8.6

Изменение температуры среды при пожаре принимается согласно ГОСТ 30247.0-94

Бетон	<i>B</i> 25 (тяжелый)
на силикатном заполнителе	
Плотность бетона	<i>ρ</i> = 2350 кг/м <sup>3</sup>
Бетон сухой	

Продольная арматура	<i>A</i> 500С марки 25Г2С
---------------------	---------------------------

Сталь	<i>C</i> 355Б
-------	---------------

Сопротивления при нормальной температуре		
<i>R<sub>b</sub></i> н	= 18.50	МПа
<i>R<sub>s</sub></i> н	= 500	МПа
<i>R<sub>s</sub></i> с	= 400	МПа
<i>R<sub>y</sub></i> н	= 355	МПа

Модули упругости при нормальной температуре		
---	--	--

<i>E<sub>b</sub></i>	= 30.0	ГПа
<i>E<sub>s</sub></i>	= 200.0	ГПа
<i>E</i>	= 206.0	ГПа

Изгибные жесткости при нормальной температуре		
---	--	--

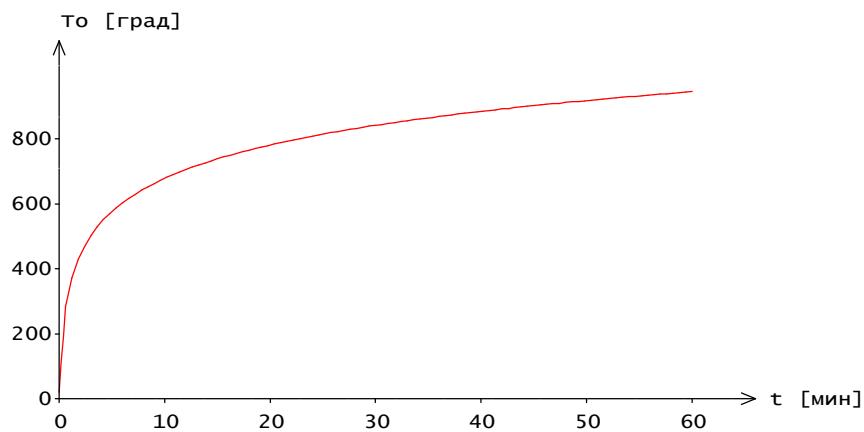
Плоскость изгиба	<i>E<sub>b</sub></i> <i>I<sub>b</sub></i> [МНм <sup>2</sup> ]	<i>E<sub>s</sub></i> <i>I<sub>s</sub></i> [МНм <sup>2</sup> ]	<i>E<sub>I<sub>s</sub></sub></i> [МНм <sup>2</sup> ]
Y	324.00	16.99	2.71
Z	324.00	16.99	7.92

**Данные для учета прогиба колонны в плоскости Z**

Длина колонны	<i>l</i> = 6.00	м
Случайный эксцентриситет	<i>e<sub>a</sub></i> z = 20.0	мм
Расчетная длина	<i>l<sub>0</sub></i> z = 6.00	м
Эксцентриситет <i>e<sub>0</sub></i> принимается не менее <i>e<sub>a</sub></i>		

**Проверка прочности при пожаре**

Зависимость температуры среды от времени



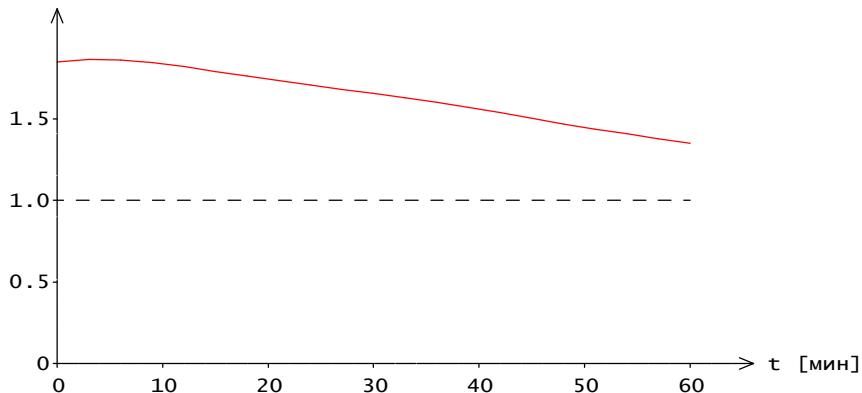
**Нагрев всесторонний**

Температура профиля принимается равной наибольшей температуре на контуре профиля

Коэффициент запаса прочности

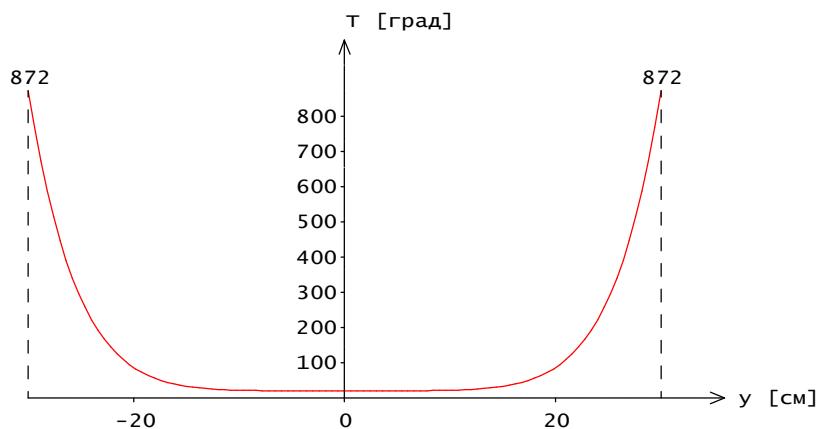
t [мин]	T среды [°C]	$\gamma_u$
0	20	1.848
3	50.2	1.865
6	60.3	1.861
9	66.3	1.847
12	70.5	1.822
15	73.9	1.792
18	76.6	1.764
21	78.9	1.736
24	80.9	1.707
27	82.6	1.683
30	84.2	1.658
33	85.6	1.630
36	86.9	1.602
39	88.1	1.573
42	89.2	1.540
45	90.2	1.504
48	91.2	1.470
51	92.1	1.439
54	93.0	1.409
57	93.8	1.380
60	94.5	1.353

Коэффициент запаса прочности  $\gamma_u$

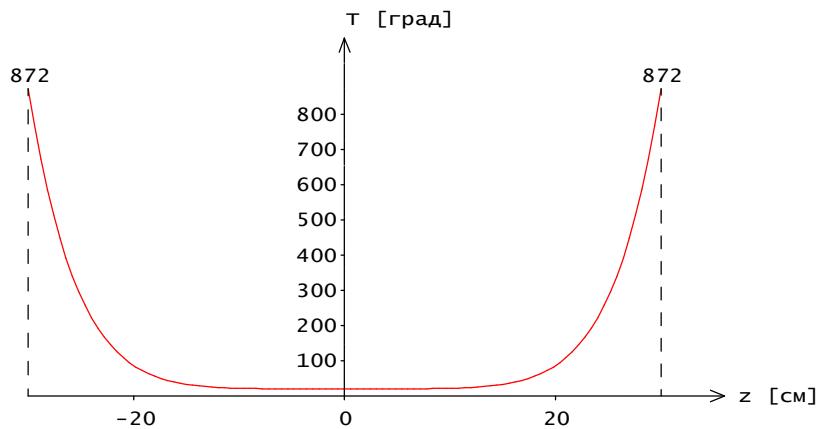


**Температурное поле при  $t = 60$  мин**

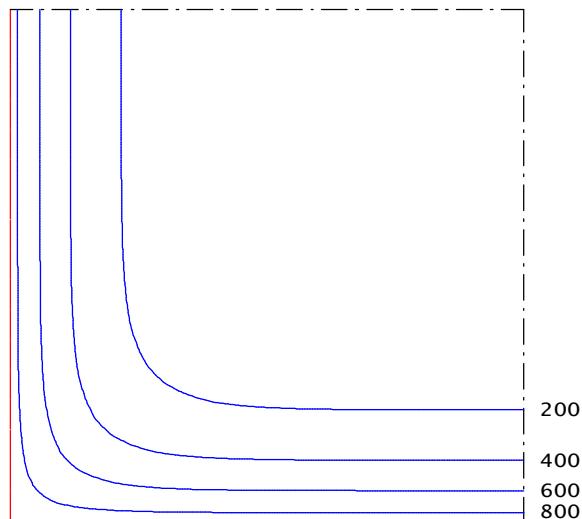
Температура Т на оси у



Температура Т на оси z



Изотермы



Параметры диаграммы  
для стали

Температура, сопротивление, модуль упругости

T [°C]	$\gamma_{st}$ [-]	$\beta_{st}$ [-]	$R_{ynt}$ [МПа]	$E_t$ [ГПа]
24	1.000	1.000	355.0	206.0

$R_{ynt} = \gamma_{st} R_{yn}$ ,  $E_t = \beta_{st} E$

$\gamma_{st}$ ,  $\beta_{st}$  принимаются по EN 1994-1-2, Table 3.2

### Проверка прочности для сочетания усилий 1

Расчетные моменты с учетом случайного эксцентрикитета и прогиба

Пл. [кНм]	M [-]	$\delta_e$ [МНм <sup>2</sup> ]	$D_b$ [МНм <sup>2</sup> ]	$D_s$ [МНм <sup>2</sup> ]	$D_{st}$ [МНм <sup>2</sup> ]	D [МНм <sup>2</sup> ]	$N_{cr}$ [кН]	$\eta$ [-]	$\eta M$ [кНм]
Y	0.0							1.00	0.0
Z	300.0	0.200	164.966	13.422	7.923	35.975	9863	1.34	401.9

Примечание.  $D = 0.15 / [\varphi_1 (0.3 + \delta_e)] 0.85 D_b + 0.7 (D_s + D_{st})$ ,  $\varphi_1 = 2.0$

$D_b = \sum \beta_{b,i} E_b I_{b,i}$ ,  $D_s = \sum \beta_{s,i} E_s I_{s,i}$ ,  $D_{st} = \beta_{st} E I$

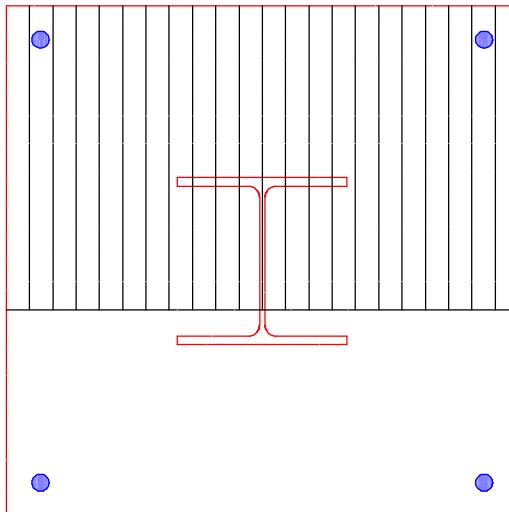
Пределевые усилия  $N_u = \gamma_u N$ ,  $M_{y,u} = \gamma_u M_y$ ,  $M_{z,u} = \gamma_u M_z$

N [кН]	$M_y$ [кНм]	$M_z$ [кНм]	$N_u$ [кН]	$M_{y,u}$ [кНм]	$M_{z,u}$ [кНм]	$\gamma_u$
2500.0	401.9	0.0	3381.3	543.5	0.0	<b>1.353</b>

Нейтральная линия

$Y_1$ [см]	$Z_1$ [см]	$Y_2$ [см]	$Z_2$ [см]
-30.00	-5.71	30.00	-5.71

Сжатая зона при действии предельных усилий



Кривизны  $\kappa_y / \kappa_z = -0.01640 / 0.00000$  1 / м

Деформация

$\epsilon(y, z) = -0.1640z - 0.937$ , °/oo

Деформации бетона на контуре сечения

$\epsilon$ [%]	$\sigma$ [МПа]	T [°C]	$\epsilon$ [%]	$\sigma$ [МПа]	T [°C]
3.98	0.00	918	-5.86	-0.47	918

Пределная деформация бетона

Y [см]	z [см]	T [°C]	$\epsilon_{b2}$ [%]	d [м]	$\epsilon_{b2}/d$ [1 / м]
0.00	19.09	70	-4.07	0.248	-0.01640

у, z - координаты точки, в которой достигается предельная деформация с учетом температуры  
 d - расстояние от нейтральной линии до точки (у, z)

Деформации арматуры      Максимальная деформация      Минимальная деформация

	$\varepsilon$ [ % . ]	$\sigma$ [ МПа ]	T [ ° C ]		$\varepsilon$ [ % . ]	$\sigma$ [ МПа ]	T [ ° C ]
	3 . 3 3	2 6 1 . 8	5 3 3		- 5 . 2 0	- 2 0 9 . 4	5 3 3

Деформации стали      Максимальная деформация      Минимальная деформация

	$\varepsilon$ [ % . ]	$\sigma$ [ МПа ]	T [ ° C ]		$\varepsilon$ [ % . ]	$\sigma$ [ МПа ]	T [ ° C ]
	0 . 6 7	1 3 8 . 0	2 4		- 2 . 5 4	- 3 5 5 . 0	2 4

УСИЛИЯ

	N [ кН ]	$M_y$ [ кНм ]	$M_z$ [ кНм ]
в бетоне	2 7 4 5 . 5 6	3 6 9 . 7 2	0 . 0 0
в арматуре	- 3 2 . 9 0	7 6 . 9 8	0 . 0 0
в стали	6 6 8 . 6 2	9 6 . 8 3	0 . 0 0
суммарные	3 3 8 1 . 2 9	5 4 3 . 5 3	0 . 0 0

**Огнестойкость обеспечена**

Расчет выполнен модулем t451 программы СТАТИКА 2021 © ООО Техсофт