

Учебная дисциплина
«Огнестойкость строительных конструкций»

Домашнее задание по теме
«Огнестойкость металлических конструкций»

Задача № 1. Определить расчетом предел огнестойкости (P_{ϕ}) незащищенного внецентренно растянутого (с эксцентриситетом $e \neq 0$) и центрально растянутого ($e = 0$) металлического элемента обогреваемого с 4-х сторон. Длина элемента $l = 2$ м. При расчетах принять наихудший вариант приложения N_n от нормативной нагрузки.

Двутавр принять горячекатаным с уклоном граней полок (ГОСТ 8239).

Швеллер принять горячекатаным с уклоном внутренних граней полок (ГОСТ 8240).

Варианты исходных данных к решению задачи № 1

№ варианта	Сечение элемента	Марка стали	$e, мм$	$N_n, кН$
1	Двутавр № 16	C285	7	157
	Швеллер № 20	C245	7	102
	Труба $d_{xt}=60 \times 4$	20	6	101
2	Двутавр № 12	C285	7	146
	Швеллер № 18а	C245	7	131
	Труба $d_{xt}=114 \times 3$	ВСт3кп	5	103
3	Двутавр № 14	C285	13	111
	Швеллер № 18	C245	9	131
	Труба $d_{xt}=70 \times 4$	20	11	104
4	Двутавр № 10	C285	9	113
	Швеллер № 16а	C245	5	190
	Труба $d_{xt}=114 \times 4$	ВСт3кп	5	108
5	Двутавр № 18	C285	9	135
	Швеллер № 16	C245	11	139
	Труба $d_{xt}=73 \times 4$	20	6	115
6	Двутавр № 18а	C285	9	117
	Швеллер № 14а	C245	9	168
	Труба $d_{xt}=114 \times 5$	ВСт3кп	5	100
7	Двутавр № 12	C275	5	188
	Швеллер № 18	C235	5	192
	Труба $d_{xt}=76 \times 4$	20	6	121
8	Двутавр № 14	C275	10	146
	Швеллер № 20	C235	11	106
	Труба $d_{xt}=121 \times 3$	ВСт3кп	6	107
9	Двутавр № 16	C275	14	125
	Швеллер № 18а	C235	12	122
	Труба $d_{xt}=76 \times 5$	20	7	122
10	Двутавр № 18	C275	17	113
	Швеллер № 20а	C235	5	123
	Труба $d_{xt}=121 \times 4$	ВСт3кп	11	101
11	Двутавр № 18а	C275	15	115
	Швеллер № 16а	C235	15	127
	Труба $d_{xt}=83 \times 4$	20	8	128

№ варианта	Сечение элемента	Марка стали	e , мм	N_n , кН
12	Двутавр № 20	C275	10	111
	Швеллер № 16	C235	5	218
	Труба $d_{xt}=121 \times 5$	ВСт3кп	8	100
13	Двутавр № 14	C255	9	164
	Швеллер № 16а	C285	6	103
	Труба $d_{xt}=83 \times 5$	20	8	134
14	Двутавр № 16	C255	5	226
	Швеллер № 10	C285	9	108
	Труба $d_{xt}=127 \times 3$	ВСт3кп	11	102
15	Двутавр № 18	C255	5	232
	Швеллер № 14а	C285	11	110
	Труба $d_{xt}=89 \times 4$	20	10	113
16	Двутавр № 18а	C255	21	108
	Швеллер № 14	C285	5	166
	Труба $d_{xt}=127 \times 4$	ВСт3кп	5	123
17	Двутавр № 20	C255	15	110
	Швеллер № 12	C285	12	102
	Труба $d_{xt}=89 \times 5$	20	11	112
18	Двутавр № 20а	C255	8	130
	Швеллер № 16	C285	8	109
	Труба $d_{xt}=127 \times 5$	ВСт3кп	9	104
19	Двутавр № 16	C245	12	163
	Швеллер № 18	C275	6	105
	Труба $d_{xt}=95 \times 4$	20	9	126
20	Двутавр № 18	C245	5	260
	Швеллер № 16а	C275	9	112
	Труба $d_{xt}=133 \times 3$	ВСт3кп	5	123
21	Двутавр № 18а	C245	14	160
	Швеллер № 16	C275	9	124
	Труба $d_{xt}=95 \times 5$	20	8	133
22	Двутавр № 20	C245	11	157
	Швеллер № 14а	C275	7	159
	Труба $d_{xt}=133 \times 4$	ВСт3кп	6	128
23	Двутавр № 20а	C245	10	151
	Швеллер № 14	C275	5	187
	Труба $d_{xt}=102 \times 4$	20	12	107
24	Двутавр № 22	C245	8	130
	Швеллер № 12	C275	9	133
	Труба $d_{xt}=133 \times 5$	ВСт3кп	9	110
25	Двутавр № 18	C235	5	285
	Швеллер № 14а	C255	9	153
	Труба $d_{xt}=102 \times 5$	20	5	127
26	Двутавр № 18а	C235	9	225
	Швеллер № 14	C255	14	118
	Труба $d_{xt}=140 \times 3$	ВСт3кп	6	127
27	Двутавр № 20	C235	19	131
	Швеллер № 16а	C255	12	112
	Труба $d_{xt}=108 \times 4$	20	12	116

№ варианта	Сечение элемента	Марка стали	e , мм	N_n , кН
28	Двутавр № 20а	C235	10	181
	Швеллер № 16	C255	8	146
	Труба $d_{xt}=140 \times 4$	ВСт3кп	8	129
29	Двутавр № 22	C235	19	105
	Швеллер № 18а	C255	7	102
	Труба $d_{xt}=108 \times 5$	20	11	117
30	Двутавр № 22а	C235	7	147
	Швеллер № 18	C255	6	130
	Труба $d_{xt}=140 \times 5$	ВСт3кп	17	101

Задача № 2. Определить расчетом предел огнестойкости ($Пф$) незащищенного металлического изгибаемого элемента, обогреваемого со всех сторон, кроме верхней полки. Варианты расчетных схем представлены на рисунках.

Нагружение элементов принять вдоль основной оси у-у сечения элемента.

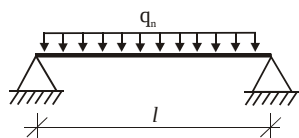


Схема 1

$$M_{\max} = \frac{q_n \cdot l^2}{8}$$

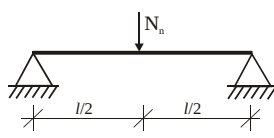


Схема 2

$$M_{\max} = \frac{N_n \cdot l}{4}$$

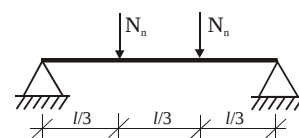


Схема 3

$$M_{\max} = \frac{N_n \cdot l}{3}$$

Варианты исходных данных к решению задачи № 2

№ варианта	Сечение элемента	Сталь	l , м	N_n , кН	q_n , кН/м	Схема
1	Двутавр № 24	C285	5,5	-	10,2	1
	Швеллер № 24а	C275	5,5	27,9	-	2
	[] – швеллеры № 22	C255	5,5	75,0	-	3
2	[] – швеллеры № 22а	C245	5,5	-	41,8	1
	Двутавр № 24а	C235	5,0	52,3	-	2
	Швеллер № 24	C285	5,5	17,6	-	3
3	Швеллер № 24а	C275	3,0	-	34,1	1
	[] – швеллеры № 22	C255	5,5	100,0	-	2
	Двутавр № 24	C245	6,0	29,0	-	3
4	Двутавр № 24а	C235	5,5	-	17,3	1
	Швеллер № 24	C285	6,0	21,5	-	2
	[] – швеллеры № 22а	C275	6,0	61,4	-	3
5	[] – швеллеры № 22	C255	5,0	-	44,0	1
	Двутавр № 24	C245	5,0	46,4	-	2
	Швеллер № 24а	C235	5,5	29,8	-	3
6	Швеллер № 24	C285	3,0	-	28,7	1
	[] – швеллеры № 22а	C275	5,0	98,2	-	2
	Двутавр № 24а	C255	6,0	26,0	-	3

№ варианта	Сечение элемента	Сталь	l, м	Nn, кН	qn, кН/м	Схема
7	Двутавр № 24	C245	4,5	-	22,9	1
	Швеллер № 24а	C235	5,0	43,7	-	2
	[] – швеллеры № 22	C285	6,0	51,2	-	3
8	[] – швеллеры № 22а	C275	4,0	-	61,4	1
	Двутавр № 24а	C255	4,0	52,0	-	2
	Швеллер № 24	C245	5,5	26,5	-	3
9	Швеллер № 24а	C235	4,5	-	21,6	1
	[] – швеллеры № 22	C285	3,0	136,6	-	2
	Двутавр № 24	C275	5,0	27,9	-	3
10	Двутавр № 24а	C255	4,0	-	26,0	1
	Швеллер № 24	C245	3,5	55,5	-	2
	[] – швеллеры № 22а	C235	5,5	95,4	-	3
11	[] – швеллеры № 22	C285	5,0	-	32,8	1
	Двутавр № 24	C275	6,0	31,0	-	2
	Швеллер № 24а	C255	4,5	29,0	-	3
12	Швеллер № 24	C245	6,0	-	10,8	1
	[] – швеллеры № 22а	C235	6,0	116,6	-	2
	Двутавр № 24а	C285	6,0	18,5	-	3
13	Двутавр № 24	C275	5,5	-	12,3	1
	Швеллер № 24а	C255	6,0	29,0	-	2
	[] – швеллеры № 22	C245	4,0	115,6	-	3
14	[] – швеллеры № 22а	C235	3,5	-	114,2	1
	Двутавр № 24а	C285	5,5	26,9	-	2
	Швеллер № 24	C275	4,0	29,2	-	3
15	Швеллер № 24а	C255	5,5	-	11,5	1
	[] – швеллеры № 22	C245	4,5	137,0	-	2
	Двутавр № 24	C235	3,5	54,5	-	3
16	Двутавр № 24а	C285	4,5	-	14,6	1
	Швеллер № 24	C275	4,5	34,6	-	2
	[] – швеллеры № 22а	C255	6,0	69,6	-	3
17	[] – швеллеры № 22	C245	3,0	-	137,0	1
	Двутавр № 24	C235	4,5	56,5	-	2
	Швеллер № 24а	C285	4,0	23,2	-	3
18	Швеллер № 24	C275	5,5	-	10,3	1
	[] – швеллеры № 22а	C255	5,5	101,2	-	2
	Двутавр № 24а	C245	4,0	44,3	-	3
19	Двутавр № 24	C235	5,5	-	16,8	1
	Швеллер № 24а	C285	5,5	22,5	-	2
	[] – швеллеры № 22	C275	5,5	67,4	-	3
20	[] – швеллеры № 22а	C255	5,5	-	36,8	1
	Двутавр № 24а	C245	4,5	52,5	-	2
	Швеллер № 24	C235	6,0	26,6	-	3
21	Швеллер № 24а	C285	5,0	-	9,9	1
	[] – швеллеры № 22	C275	4,5	109,8	-	2
	Двутавр № 24	C255	4,0	38,8	-	3
22	Двутавр № 24а	C245	5,0	-	18,9	1
	Швеллер № 24	C235	6,0	35,5	-	2
	[] – швеллеры № 22а	C285	5,5	54,0	-	3

№ варианта	Сечение элемента	Сталь	l, м	Nn, кН	qn, кН/м	Схема
23	[] – швеллеры № 22	C275	4,5	-	48,8	1
	Двутавр № 24	C255	5,8	41,4	-	2
	Швеллер № 24а	C245	6,0	24,7	-	3
24	Швеллер № 24	C235	4,0	-	26,6	1
	[] – швеллеры № 22а	C285	6,0	66,0	-	2
	Двутавр № 24а	C275	4,5	30,6	-	3
25	Двутавр № 24	C255	6,0	-	11,5	1
	Швеллер № 24а	C245	5,0	39,5	-	2
	[] – швеллеры № 22	C235	4,5	112,6	-	3
26	[] – швеллеры № 22а	C285	6,0	-	22,0	1
	Двутавр № 24а	C275	6,0	30,6	-	2
	Швеллер № 24	C255	5,0	26,0	-	3
27	Швеллер № 24а	C245	5,0	-	15,8	1
	[] – швеллеры № 22	C235	6,0	112,6	-	2
	Двутавр № 24	C285	4,5	25,7	-	3
28	Двутавр № 24а	C275	6,0	-	10,2	1
	Швеллер № 24	C255	5,5	31,5	-	2
	[] – швеллеры № 22а	C245	6,0	79,0	-	3
29	[] – швеллеры № 22	C235	3,0	-	150,2	1
	Двутавр № 24	C285	6,0	25,7	-	2
	Швеллер № 24а	C275	3,5	32,9	-	3
30	Швеллер № 24	C255	3,5	-	28,3	1
	[] – швеллеры № 22а	C245	5,0	126,4	-	2
	Двутавр № 24а	C235	6,0	32,7	-	3

Задача № 3. Определить расчетом предел огнестойкости (Пф) незащищенного центрально сжатого элемента обогреваемого с 4-х сторон.

Варианты расчетных схем представлены на рисунках.

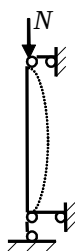


Схема 1



Схема 2

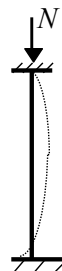


Схема 3

Варианты исходных данных к решению задачи № 3

№ варианта	Сечение элемента	Марка стали	l, м	Nn, кН	Схема
1	Двутавр № 27	C285	3,0	419,7	1
	[] – швеллеры № 14а	C275	5,0	617,4	2
	Труба dхt=144х4 мм	ВСт3кп	6,0	130,1	3

№ варианта	Сечение элемента	Марка стали	l, м	Nn, кН	Схема
2	Труба $d_{xt}=127 \times 5$ мм	20	4,0	217,5	1
	Двутавр № 27а	C255	4,0	432,5	2
	[] – швеллеры № 14	C245	6,0	311,9	3
3	[] – швеллеры № 14а	C235	4,0	184,9	1
	Труба $d_{xt}=114 \times 5$ мм	ВСт3кп	5,0	140,6	2
	Двутавр № 27	C285	5,0	677,2	3
4	Двутавр № 27а	C275	3,0	408,4	1
	[] – швеллеры № 14	C255	5,0	389,1	2
	Труба $d_{xt}=133 \times 4$ мм	20	6,0	263,0	3
5	Труба $d_{xt}=121 \times 4$ мм	ВСт3кп	4,0	107,9	1
	Двутавр № 27	C245	4,0	257,8	2
	[] – швеллеры № 14а	C235	6,0	437,7	3
6	[] – швеллеры № 14	C285	4,0	597,2	1
	Труба $d_{xt}=133 \times 5$ мм	20	5,0	311,2	2
	Двутавр № 27а	C275	5,0	744,7	3
7	Двутавр № 27	C255	3,0	254,1	1
	[] – швеллеры № 14а	C245	5,0	337,3	2
	Труба $d_{xt}=121 \times 5$ мм	ВСт3кп	6,0	206,4	3
8	Труба $d_{xt}=140 \times 4$ мм	20	4,0	293,0	1
	Двутавр № 27а	C235	4,0	254,5	2
	[] – швеллеры № 14	C285	6,0	504,7	3
9	[] – швеллеры № 14а	C275	4,0	605,1	1
	Труба $d_{xt}=127 \times 4$ мм	ВСт3кп	5,0	198,9	2
	Двутавр № 27	C255	5,0	511,6	3
10	Двутавр № 27а	C245	3,0	230,4	1
	[] – швеллеры № 14	C235	5,0	132,1	2
	Труба $d_{xt}=140 \times 5$ мм	20	6,0	394,4	3
11	Труба $d_{xt}=114 \times 4$ мм	ВСт3кп	4,0	37,7	1
	Двутавр № 27	C285	4,0	506,3	2
	[] – швеллеры № 14а	C275	6,0	647,8	3
12	[] – швеллеры № 14	C255	4,0	340,1	1
	Труба $d_{xt}=127 \times 5$ мм	20	5,0	238,1	2
	Двутавр № 27а	C245	5,0	566,7	3
13	Двутавр № 27	C235	3,0	88,4	1
	[] – швеллеры № 14а	C285	5,0	757,5	2
	Труба $d_{xt}=114 \times 5$ мм	ВСт3кп	6,0	152,3	3
14	Труба $d_{xt}=133 \times 4$ мм	20	4,0	229,3	1
	Двутавр № 27а	C275	4,0	521,5	2
	[] – швеллеры № 14	C255	6,0	376,1	3
15	[] – швеллеры № 14а	C245	4,0	325,0	1
	Труба $d_{xt}=121 \times 4$ мм	ВСт3кп	5,0	145,2	2
	Двутавр № 27	C235	5,0	346,0	3
16	Двутавр № 27а	C285	3,0	497,4	1
	[] – швеллеры № 14	C275	5,0	517,7	2
	Труба $d_{xt}=133 \times 5$ мм	20	6,0	309,8	3
17	Труба $d_{xt}=121 \times 5$ мм	ВСт3кп	4,0	165,3	1
	Двутавр № 27	C255	4,0	340,7	2
	[] – швеллеры № 14а	C245	6,0	507,7	3

№ варианта	Сечение элемента	Марка стали	l, м	Nn, кН	Схема
18	[] – швеллеры № 14	C235	4,0	83,0	1
	Труба dxt=140x4 мм	20	5,0	306,4	2
	Двутавр № 27а	C285	5,0	833,7	3
19	Двутавр № 27	C275	3,0	336,9	1
	[] – швеллеры № 14а	C255	5,0	477,3	2
	Труба dxt=127x4 мм	ВСт3кп	6,0	214,9	3
20	Труба dxt=140x5 мм	20	4,0	396,5	1
	Двутавр № 27а	C245	4,0	343,5	2
	[] – швеллеры № 14	C235	6,0	247,6	3
21	[] – швеллеры № 14а	C285	4,0	745,2	1
	Труба dxt=114x4 мм	ВСт3кп	5,0	90,4	2
	Двутавр № 27	C275	5,0	594,4	3
22	Двутавр № 27а	C255	3,0	319,4	1
	[] – швеллеры № 14	C245	5,0	260,6	2
	Труба dxt=127x5 мм	20	6,0	254,9	3
23	Труба dxt=114x5 мм	ВСт3кп	4,0	76,8	1
	Двутавр № 27	C235	4,0	175,0	2
	[] – швеллеры № 14а	C285	6,0	717,8	3
24	[] – швеллеры № 14	C275	4,0	468,7	1
	Труба dxt=133x4 мм	20	5,0	227,2	2
	Двутавр № 27а	C255	5,0	655,7	3
25	Двутавр № 27	C245	3,0	171,2	1
	[] – швеллеры № 14а	C235	5,0	197,2	2
	Труба dxt=121x4 мм	ВСт3кп	6,0	174,9	3
26	Труба dxt=133x5 мм	20	4,0	316,6	1
	Двутавр № 27а	C285	4,0	610,4	2
	[] – швеллеры № 14	C275	6,0	440,4	3
27	[] – швеллеры № 14а	C255	4,0	465,1	1
	Труба dxt=121x5 мм	ВСт3кп	5,0	209,8	2
	Двутавр № 27	C245	5,0	428,8	3
28	Двутавр № 27а	C235	3,0	141,4	1
	[] – швеллеры № 14	C285	5,0	646,2	2
	Труба dxt=140x4 мм	20	6,0	332,9	3
29	Труба dxt=127x4 мм	ВСт3кп	4,0	148,8	1
	Двутавр № 27	C275	4,0	423,5	2
	[] – швеллеры № 14а	C255	6,0	577,7	3
30	[] – швеллеры № 14	C245	4,0	211,6	1
	Труба dxt=140x5 мм	20	5,0	410,1	2
	Двутавр № 27а	C235	5,0	477,7	3

Примечания:

1. Нормативное сопротивление стали (R_{yn}) определяется по таблицам 51, 51а СНиП II-23-81*; модуль упругости стали (E) – таблица 63 СНиП II-23-81*; коэффициент длины стержня (μ) – таблица 71а.

2. Площадь сечения элемента (A) определяется по сортаменту или вычисляется по геометрическим формулам.

Расчет геометрических характеристик сечений

Моменты сопротивления (W_x и W_y) и радиусы инерции (i_x и i_y) сечений относительно основных осей x-x или y-y выбираются в зависимости от нагружения элемента.

Для двутавров и швеллеров моменты сопротивления, радиусы инерции, а также площади (A) сечений определяются по сортаментам.

Для труб площадь, радиус инерции и момент сопротивления сечения вычисляются по следующим формулам:

$$A = \pi \cdot t \cdot (d - t),$$

$$i = \sqrt{\frac{(d - t)^2 + t^2}{8}},$$

$$W = \frac{2 \cdot A \cdot i^2}{d},$$

где: d - внешний диаметр трубы, м;

t - толщина стенки трубы, м.

Для элементов состоящих из двух швеллеров (коробчатое сечение) радиусы инерции и моменты сопротивления вычисляются с использованием характеристик сечений швеллеров по следующим формулам:

$$i_{x,\kappa} = i_{x,u},$$

$$i_{y,\kappa} = \sqrt{i_{y,u}^2 + (b_f - z)^2},$$

$$W_{x,\kappa} = 2W_{x,u},$$

$$W_{y,\kappa} = \frac{2A_u i_{y,\kappa}^2}{b_f}$$

где: A_u - площадь сечения швеллера, м²;

$W_{x,u}$ - момент сопротивления швеллера, м³;

$i_{x,u}, i_{y,u}$ - радиусы инерции швеллера, м;

b_f - ширина полки швеллера, м;

z - расстояние от оси y-y до наружной грани стенки швеллера, м.

Таблица 1

Критическая температура сжатых элементов определяется по таблице в зависимости от вычисленных значений γ_{tem} и $\Delta\varepsilon$.

$\Delta\varepsilon \cdot 10^4$	Критическая температура $t_{кр}$ (°C) при значениях γ_{tem}							
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0	20	20	20	20	20	20	20	20
1	490	366	306	267	238	220	204	189
2	634	521	427	379	340	311	284	232
3	658	603	520	456	409	372	345	246
4	672	630	577	512	465	423	373	252
5	681	641	598	544	496	451	386	255
6	686	647	607	558	517	468	389	257
7	689	650	610	564	523	476	392	259
8	692	652	612	569	526	479	394	261
10	696	656	614	572	529	483	396	263
12	700	658	616	573	529	485	398	265
14	702	660	617	573	529	485	398	265
16	704	661	617	574	530	486	399	266
18	705	662	618	574	530	486	399	266
20	706	662	618	574	530	486	399	266

При значениях $\Delta\varepsilon > 20 \cdot 10^{-4}$ критическую температуру следует определять по формулам:

$$\text{При } \gamma_{tem} < 0,6 \quad t_{кр} = 750 - 440 \cdot \gamma_{tem}$$

$$\text{При } \gamma_{tem} \geq 0,6 \quad t_{кр} = 1330 \cdot (1 - \gamma_{tem})$$

Таблица 2

Температура прогрева незащищенных стальных пластин

$t_{ред}, мм$	Температура (°C) при значениях времени (мин.)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	569	675	736	780	813	841	86	884	902
1	488	653	721	769	803	837	861	882	900
2	415	621	706	759	795	833	857	880	897
3	351	592	689	748	786	828	853	878	894
4	296	561	670	736	777	823	849	875	891
6	212	495	626	709	758	810	839	868	884
8	163	421	576	680	738	795	827	860	876
10	150	342	519	647	718	778	814	850	868
15	116	276	431	552	656	722	773	817	843
20	98	217	352	473	571	660	724	774	813