

УДК 669.812.3

А. Ф. Жарков, Ф. А. Жарков, О. Г. Чеснокова

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПРОФЛИСТОВ С ПОДВЕСНЫМИ ПОТОЛКАМИ С ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Приводятся результаты расчетов огнестойкости RI и прочности различных вариантов подвесных потолков и покрытий с применением стекломagneзиевых листов (СМЛ), утеплителя, различных профнастилов Н57, Н60, Н75, гнутых профилей ПС, подвесов и величиной воздушной прослойки. Проанализировано влияние величины воздушного зазора между листами СМЛ на распределение температуры в конструкции, прочности в металлоконструкции подвесов и листов профнастила. При расчете учитывались конструктивные неоднородности теплофизических свойств материалов и нелинейность теплофизических свойств воздуха. Другие материалы приняты с постоянными теплофизическими свойствами.

Ключевые слова: расчет огнестойкости; теплофизические свойства материалов; расчет температурных полей.

The article presents the results of calculations of RI fire resistance and strength of different variants of suspended ceilings and coatings with the use of magnesium oxide sheets (MOS), insulation, various profiled sheeting H57, H60, H75, roll-formed profiles, suspensions, and the size of the air gap. The authors analyze the effect of the size of the air gap between the sheets of MOS on the temperature distribution in the design, strength in metal suspensions and sheeting. When calculating structural heterogeneity of thermo-physical properties of materials, and nonlinearity of the thermo-physical properties of air are taken into account. Other materials are accepted with constant thermo-physical properties.

Key words: calculations of fire resistance; thermo-physical properties of materials; calculation of temperature fields.

Различные варианты подвесных потолков и покрытий с применением стекломagneзиевых листов (СМЛ), утеплителя, различных профнастилов Н57, Н60, Н75, гнутых профилей ПС, подвесов и величиной воздушной прослойки представлены на рис. 1.

Проанализировано влияние величины воздушного зазора между листами СМЛ на распределение температуры в конструкции, прочности в металлоконструкции подвесов и листов профнастила. При расчете учитывали конструктивные неоднородности теплофизических свойств материалов, и нелинейность теплофизических свойств воздуха (табл. 1, рис. 2—4). Другие материалы приняты с постоянными теплофизическими свойствами (табл. 3).

Физические свойства воздуха имеют высоко физические нелинейные характеристики, которые зависят от температуры и давления [1].

Задача решалась методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программы COMSOL Multiphysics v4.3a [2—5].

В расчетах учитывались параметры (первые четыре столбца), представленные в табл. 1.

Расчет температурных полей выполнен методом конечных элементов (МКЭ) в трехмерной постановке. Вследствие конструктивной регулярности в качестве расчетной модели рассматривали фрагмент 600×600 мм.

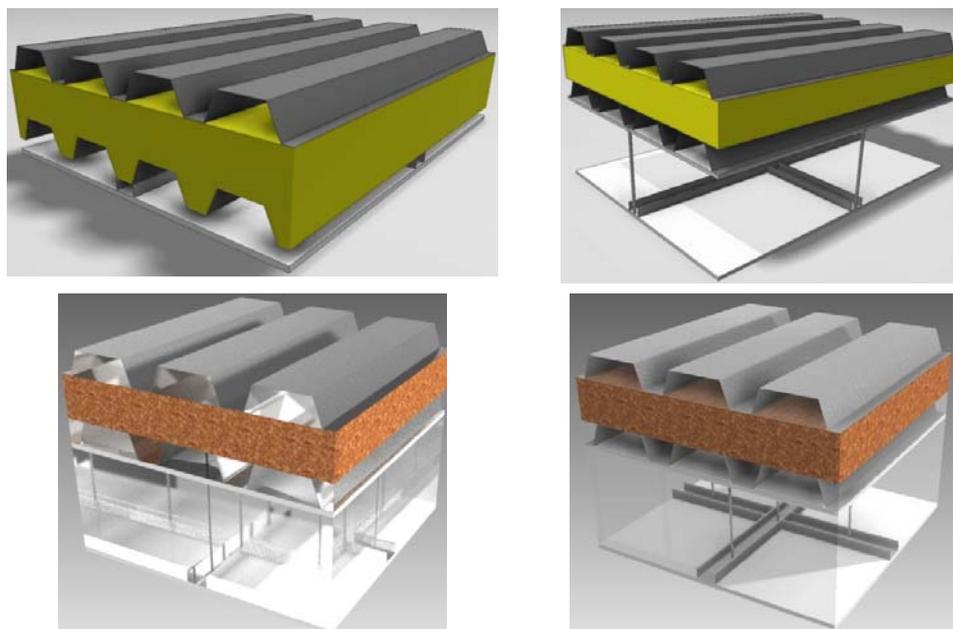


Рис. 1. Конструктивные решения покрытий

Таблица 1

*Теплофизические свойства сухого воздуха
при нормальном атмосферном давлении [1]*

t , °C	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/кг/К	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/м/К	$a \cdot 10^5$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Н · с/м	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
-50	1,584	1,013	2,035	1,27	14,61	9,23	0,728
-30	1,453	1,013	2,198	1,49	15,69	10,80	0,723
-10	1,342	1,009	2,361	1,74	16,67	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,442	1,88	17,16	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,594	2,01	17,65	14,16	0,705
30	1,165	1,005	2,757	2,29	18,63	16,00	0,701
50	1,093	1,005	2,896	2,57	19,61	17,95	0,698
70	1,029	1,009	3,129	2,86	20,59	20,02	0,694
100	0,946	1,009	3,338	3,36	21,82	23,13	0,688
140	0,854	1,017	3,641	4,03	23,73	27,80	0,684
180	0,779	1,022	3,780	4,75	25,30	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,931	5,14	25,99	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,269	6,10	27,36	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,606	7,16	29,72	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,908	8,19	31,38	56,46	0,676
400	0,524	1,068	5,211	9,31	33,05	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,746	11,53	36,19	79,38	0,687
600	0,404	1,114	5,222	13,83	39,13	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,711	16,34	41,78	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,176	18,88	44,33	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,630	21,62	46,68	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,072	24,59	49,04	177,1	0,719
1200	0,239	1,210	9,154	31,65	53,45	223,7	0,724

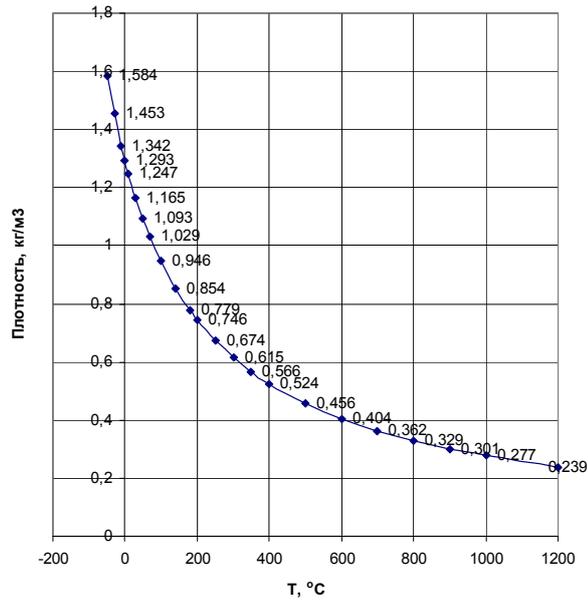


Рис. 2. Зависимость плотности воздуха от температуры

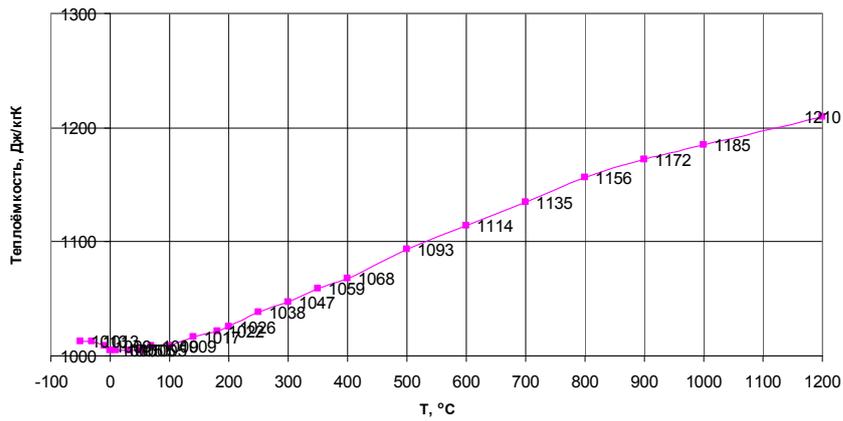


Рис. 3. Зависимость теплоемкости воздуха от температуры

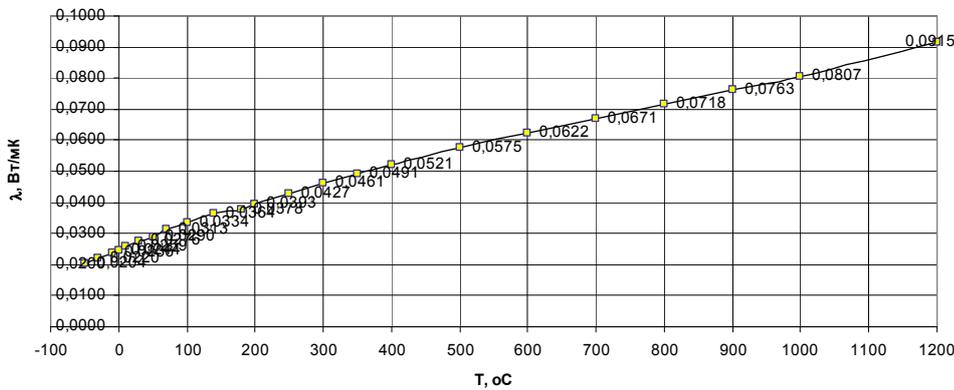


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от температуры

Нестационарный температурный режим расчетной модели определяли из решения дифференциального уравнения с начальными условиями, равными +20 °С:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p U \cdot \nabla T = \nabla(\lambda \nabla T).$$

С внешней стороны панели прикладывали огневое воздействие (рис. 5). Расчет прогрева конструкций производится при условии изменения температуры нагреваемой среды по режиму «стандартного пожара», описываемого выражением (табл. 2)

$$T = 345 \lg(0,133\tau + 1) + t_n,$$

где t_n — начальная температура конструкций до пожара, $t_n = 293$ К.

Т а б л и ц а 2

Температурный режим «стандартного пожара»

Время, с	Температура, К	Время, с	Температура, К
0	300	4800	1263
300	849	5400	1273
600	952	6000	1298
900	1011	6600	1308
1200	1054	7200	1322
1500	1083	9000	1355
1800	1114	10 800	1383
2400	1158	12 600	1406
3000	1188	14 400	1426
3600	1218	16 200	1443
4200	1243	18 000	1456

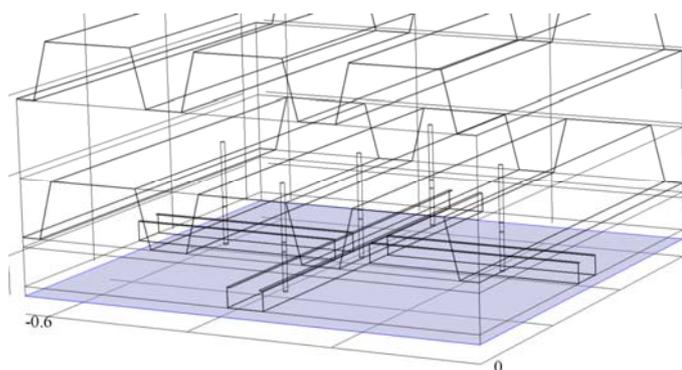


Рис. 5. Плоскость приложения огневой нагрузки

По торцам фрагмента 600 × 600 мм ставили симметричные граничные условия:

$$-n(-\lambda \nabla T) = 0.$$

На внутренней поверхности граничные условия задавали в виде распределения теплового потока α , который принимали равным $8,7 \text{ Вт/м}^2$:

$$-n(-\lambda \nabla T) = \alpha(T_{\text{ext}} - T),$$

где n — вектор нормали к поверхности; α — коэффициент теплоотдачи, принят по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», равный $8,7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ для наружной поверхности; T_{ext} — температура наружной стенки, принята равной $+20 \text{ }^\circ\text{C}$.

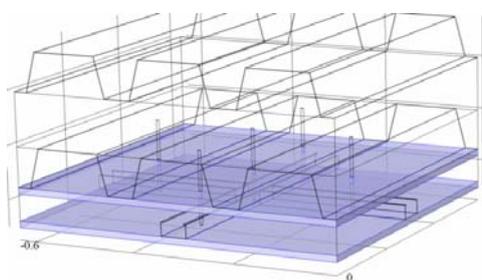
Основные физические характеристики материалов, используемых в конструкциях, представлены в табл. 3.

Таблица 3

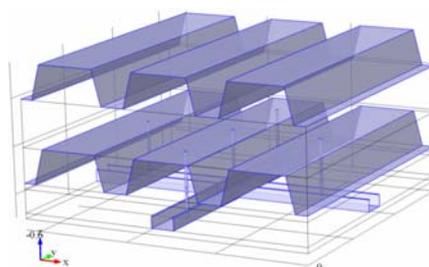
Основные физические характеристики материалов

Наименование	Единица измерения	СМЛ	Сталь	Утеплитель	Воздух
Плотность	кг/м ³	1141	7850	37	Т. 2, рис. 2
Коэффициент теплопроводности	Вт/(м · °С)	0,207	44,5	0,036	Т. 2, рис. 4
Коэффициент теплоемкости	Дж/(м · °С)	840	475	840	Т. 2, рис. 3

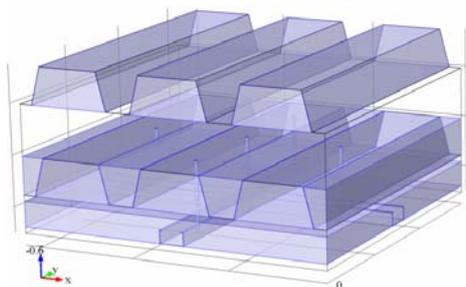
Геометрические и конструкционные свойства расчетной модели представлены на рис. 6.



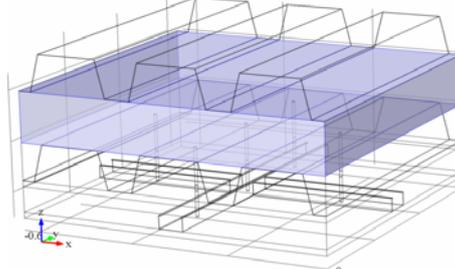
Листы огнезащиты СМЛ (или ГКЛ)



Листы профнастила, направляющих и подвесов



Заполнение воздухом



Утеплитель толщиной 100 мм

Рис. 6. Геометрические и конструкционные свойства расчетной модели

Сетка конечных элементов с минимальным размером КЭ 4 мм представлена на рис. 7. Расчетная схема имеет 4 010 762 степени свободы

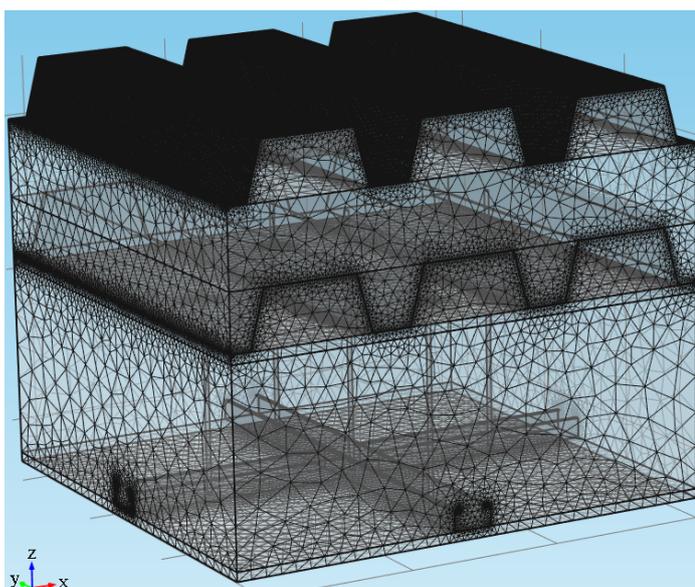


Рис. 7. Сетка конечных элементов

Ниже представлены результаты расчета покрытия из профнастила Н75 с толщиной воздушного зазора 50...250 мм и толщиной утеплителя 100 мм (табл. 4, рис. 8—13).

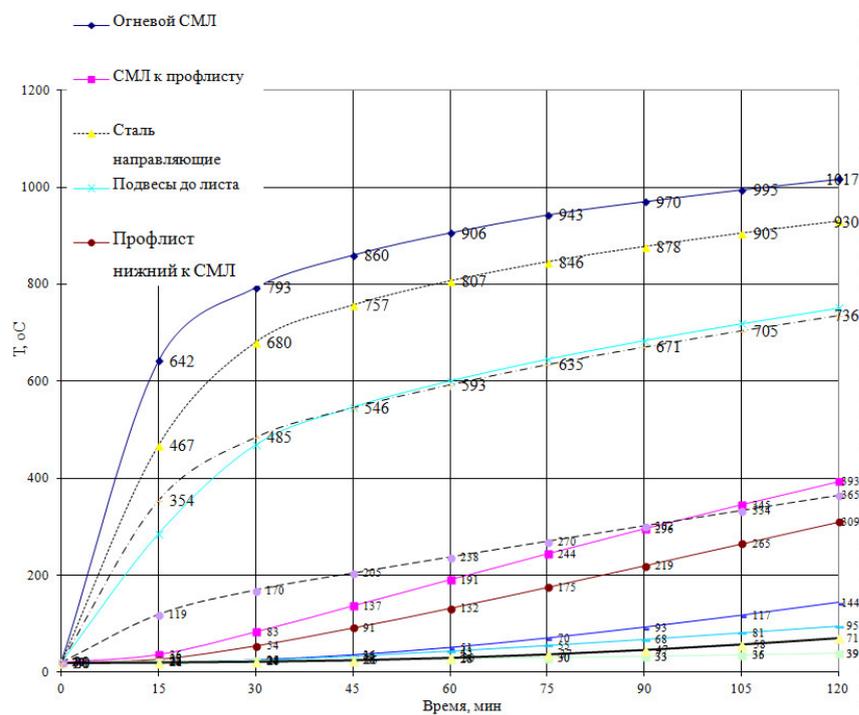


Рис. 8. Распределение температуры в элементах конструкции покрытия с профлистами Н75, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм, воздушным зазором 50 мм

Таблица 4

Распределение температуры в покрытии из профнастила Н75

Время, мин	Огневой СМЛ	СМЛ к профлисту	Сталь, направляющие	Подвесы до листа	Профлист нижний к СМЛ	Утеплитель	Утеплитель, нижняя грань	Утеплитель к верхнему профлисту	Профлист верхний	Профлист к утеплителю	Воздух весь	Воздух между листами
<i>С толщиной воздушного зазора 50 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм</i>												
0	20,7	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,2
15	641,8	36,4	467,5	285,6	26,5	20,6	22,2	22,1	22,2	21,2	119,3	354,2
30	793,2	83,2	680,3	469,4	54,3	25,2	38,1	24,0	24,2	22,8	169,7	484,7
45	860,2	136,7	756,9	547,2	91,0	35,6	65,3	26,1	26,2	25,6	204,5	545,6
60	906,1	190,7	806,7	601,2	131,7	51,0	98,7	28,9	28,8	30,4	237,5	593,1
75	943,2	244,0	846,2	646,0	174,9	70,4	136,2	32,8	32,4	37,5	270,2	634,9
90	970,4	295,7	877,7	684,6	219,4	92,7	176,3	38,1	37,2	46,7	302,0	671,0
105	995,0	345,3	905,1	719,3	264,5	117,5	217,9	45,0	43,6	57,8	333,6	704,5
120	1017	392,9	930,0	751,5	309,5	143,9	260,1	53,5	51,6	70,7	364,8	736,0
<i>С толщиной воздушного зазора 100 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм</i>												
0	20,7	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,1
15	634,1	27,7	470,1	238,8	23,2	20,5	21,2	22,1	22,2	21,2	161,3	332,8
30	801,6	51,0	718,1	438,5	37,0	23,2	29,7	24,0	24,1	22,7	229,7	473,9
45	873,1	79,3	807,8	523,3	56,4	29,1	44,5	25,9	26,1	24,8	262,9	531,6
60	917,9	109,1	855,0	569,1	78,6	37,8	62,9	28,2	28,3	28,1	288,2	569,3
75	954,8	139,5	892,8	605,8	102,5	48,7	83,5	31,0	30,9	32,5	312,1	602,4
90	981,5	170,0	921,7	636,3	127,8	61,3	105,7	34,6	34,2	38,1	333,9	629,8
105	1006	200,3	946,6	663,5	153,9	75,4	129,2	38,9	38,3	44,8	353,3	655,1
120	1026	230,2	968,1	688,3	180,7	90,6	153,7	44,2	43,3	52,6	376,0	678,3
<i>С толщиной воздушного зазора 150 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм</i>												
0	20,7	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20,1
15	647,4	24	490,2	207,5	21,5	20,3	20,4	22,1	22,2	21,2	192,7	333,7
30	805,7	39,3	733,6	413,5	30,4	22,1	25,7	24	24,1	22,6	269	467,5
45	875,7	58,5	822,1	500,1	43,4	26,3	36	25,8	26	24,4	303,3	522,4
60	922,8	79	874,2	548,6	58,5	32,4	48,7	27,9	28	27	328,6	559,7
75	959,8	100,3	912	582,3	75,1	40,1	63	30,3	30,3	30,4	350,2	589,6
90	983,9	121,9	939	608,9	92,8	49,1	78,5	33,1	33	34,7	368,5	612,7
105	1011	143,6	964,2	632,8	111,2	59,2	95,1	36,6	36,3	39,8	386,8	635,4
120	1030,6	165,2	985	654,1	130,4	70,3	112,5	40,9	40,4	45,8	403,8	655,1
<i>С толщиной воздушного зазора 200 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм</i>												
0	20,7	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
15	647,8	22,2	491,7	178,0	20,8	20,3	20,2	22,1	22,2	21,2	205,6	319,5
30	807,2	33,1	739,5	386,9	26,9	21,6	23,6	24,0	24,1	22,6	294,2	460,0
45	877,8	47,3	830,6	482,8	36,5	24,7	31,2	25,8	26,0	24,2	331,7	516,2
60	925,1	63,0	883,9	534,3	47,8	29,5	40,9	27,7	27,9	26,5	357,6	553,0
75	962,3	79,3	922,2	567,5	60,5	35,5	51,9	29,9	30,0	29,3	378,8	581,7
90	986,4	96,0	949,4	592,8	74,0	42,4	63,8	32,4	32,3	32,8	395,8	603,4
105	1013,6	112,9	974,6	614,9	88,2	50,3	76,6	35,3	35,2	36,9	412,7	624,4
120	1033,2	129,9	995,4	634,5	103,1	59,0	90,0	38,8	38,5	41,8	428,0	642,5
<i>С толщиной воздушного зазора 250 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм</i>												
0	20,7	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
15	646,5	21,2	490,1	153,0	20,4	20,3	20,1	22,1	22,2	21,2	206,4	298,0
30	807,4	29,1	741,4	360,3	24,7	21,3	22,3	24,0	24,1	22,5	309,3	450,1
45	879,2	40,1	835,8	466,8	32,0	23,7	28,1	25,8	26,0	24,1	351,2	509,9
60	926,5	52,6	889,3	522,3	40,9	27,5	35,8	27,6	27,8	26,1	378,3	547,1
75	963,7	65,9	928,6	557,5	51,1	32,4	44,6	29,6	29,7	28,6	399,9	575,6
90	990,1	79,5	957,3	583,0	62,0	38,1	54,3	31,9	31,9	31,6	417,1	597,5
105	1015,2	93,3	982,1	604,4	73,5	44,5	64,5	34,4	34,4	35,0	433,1	617,2
120	1035,5	107,3	1003,3	623,3	85,5	51,4	75,3	37,3	37,1	38,9	447,6	634,6

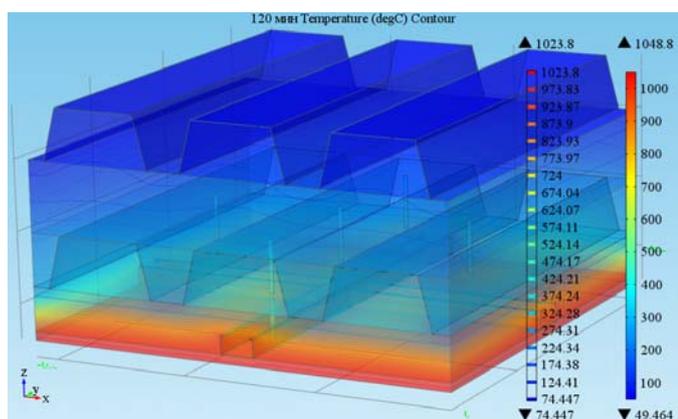


Рис. 9. Распределение температуры на 120-й минуте огневого воздействия в покрытии из профнастила Н75 с толщиной воздушного зазора 50 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм

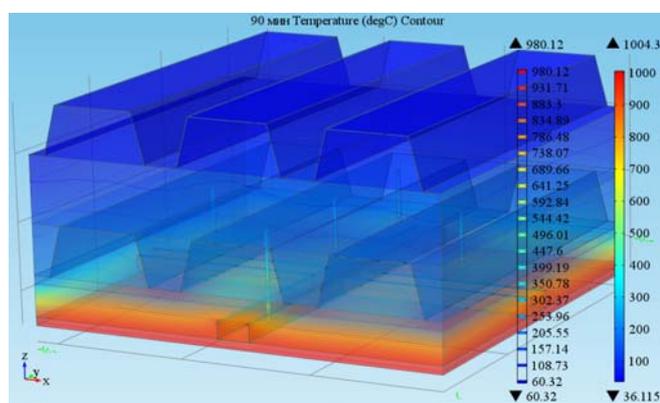


Рис. 10. Распределение температуры на 90-й минуте огневого воздействия в покрытии из профнастила Н75 с толщиной воздушного зазора 50 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм

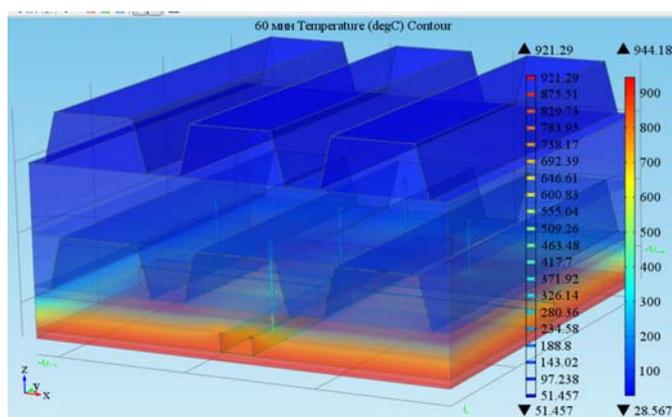


Рис. 11. Распределение температуры на 60-й минуте огневого воздействия в покрытии из профнастила Н75 с толщиной воздушного зазора 50 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм

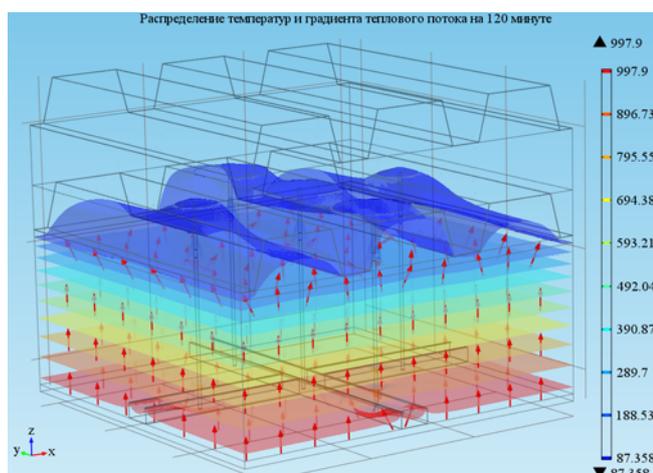


Рис. 12. Распределение температур и градиента теплового потока на 120-й минуте огневого воздействия в покрытии из профнастила Н75 с толщиной воздушного зазора 250 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм

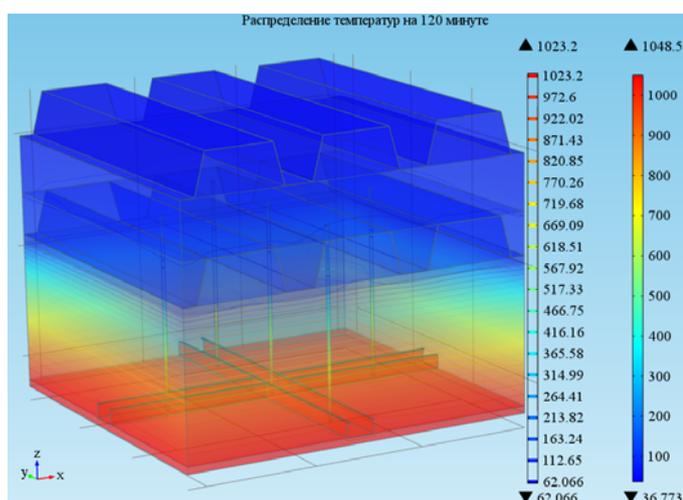


Рис. 13. Распределение температур на 120-й минуте огневого воздействия в покрытии из профнастила Н75 с толщиной воздушного зазора 250 мм, толщиной утеплителя 100 мм, СМЛ 12 мм

Результаты расчетов показывают, что с увеличением зазора воздушной прослойки распределение температуры становится более благоприятным для большинства конструктивных элементов. Распределение температуры в нижнем профлисте Н75 подвесного потолка показывает, что при увеличении зазора с 50 до 250 мм температура в нижнем профлисте уменьшается в 3,64 раза, с 309 до 85 °С (рис. 14).

В подвесах между листами подвесного потолка из профлистов Н75 температура уменьшается в 1,21 раза, с 751 до 623 °С (рис. 15).

В верхнем профлисте Н75 подвесного потолка температура также уменьшается в 1,82 раза, с 71 до 39 °С (рис. 16).

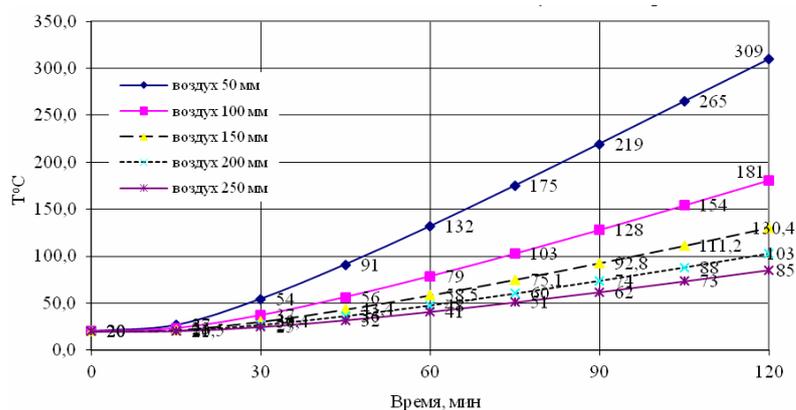


Рис. 14. Распределение температуры в нижнем профлисте Н75 подвесного потолка в зависимости от толщины воздушного зазора

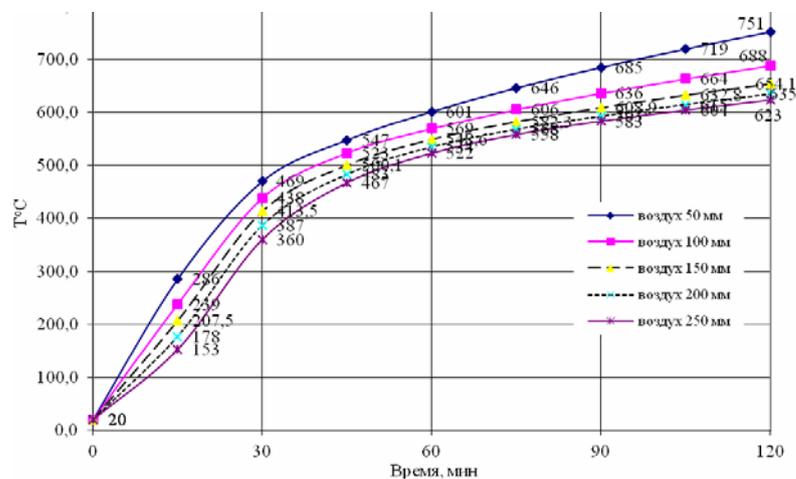


Рис. 15. Распределение температуры в подвесах между листами подвесного потолка из профлистов Н75 в зависимости от толщины воздушного зазора

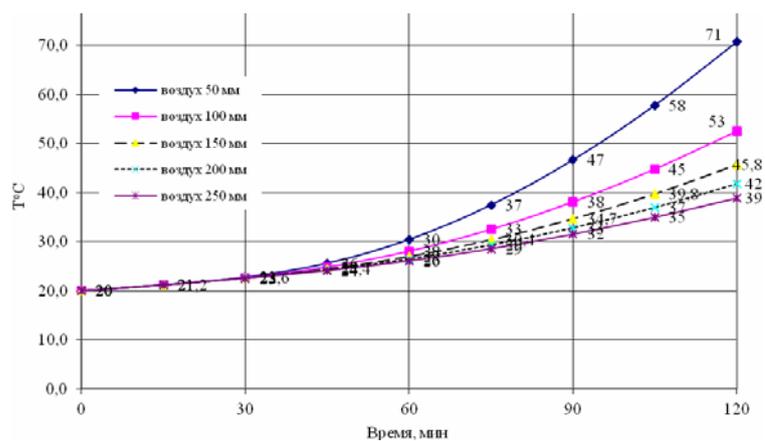


Рис. 16. Распределение температуры в верхнем профлисте Н75 подвесного потолка в зависимости от толщины воздушного зазора

Распределение температуры в конструктивных элементах подвесного потолка через каждые 15 мин приведено в табл. 6—8. Здесь же приведены графики изменения прочностных свойств стали от температуры (рис. 17—20).

Значение прочности стали (по пределу текучести) при нагреве определяется по формуле

$$R_t = R\gamma_{\text{тем}}$$

где $\gamma_{\text{тем}}$ — коэффициент, учитывающий изменение прочности стали при нагреве (табл. 5 [8]): при $t \leq 500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\gamma_{\text{тем}} = \frac{1330-t}{1330}$; $t > 500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\gamma_{\text{тем}} = \frac{750-t}{440}$; $t > 750 \text{ }^\circ\text{C}$ $\gamma_{\text{тем}} = 0$.

Таблица 5

Значения коэффициента изменения прочности стали при нагреве

$t, \text{ }^\circ\text{C}$	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
$\gamma_{\text{тем}}$	1	0,99	0,93	0,85	0,81	0,77	0,74	0,7	0,65	0,58	0,45	0,34	0,22	0,11
Аппроксимация	При $t \leq 500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\gamma_{\text{тем}} = \frac{1330-t}{1330}$; $t > 500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\gamma_{\text{тем}} = \frac{750-t}{440}$													
$\gamma_{\text{тем}}$	0,985	0,925	0,887	0,85	0,812	0,774	0,737	0,699	0,662	0,624	0,455	0,341	0,227	0,114

Таблица 6

Коэффициент, учитывающий изменение прочности стали при нагреве нижнего профлиста

Время, мин	Воздух				
	50 мм	100 мм	150 мм	200 мм	250 мм
	$\gamma_{\text{тем, 50 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 100 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 150 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 200 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 250 мм}}$
0	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985
15	0,980	0,983	0,984	0,984	0,985
30	0,959	0,972	0,977	0,980	0,981
45	0,932	0,958	0,967	0,973	0,976
60	0,901	0,941	0,956	0,964	0,969
75	0,869	0,923	0,944	0,955	0,962
90	0,835	0,904	0,930	0,944	0,953
105	0,801	0,884	0,916	0,934	0,945
120	0,767	0,864	0,902	0,922	0,936

Таблица 7

Коэффициент, учитывающий изменение прочности стали при нагреве подвесов

Время, мин	Воздух				
	50 мм	100 мм	150 мм	200 мм	250 мм
	$\gamma_{\text{тем, 50 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 100 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 150 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 200 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 250 мм}}$
0	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985
15	0,785	0,820	0,844	0,866	0,885
30	0,647	0,670	0,689	0,709	0,729
45	0,461	0,515	0,568	0,637	0,649
60	0,338	0,411	0,458	0,490	0,517
75	0,236	0,328	0,381	0,415	0,437
90	0,149	0,258	0,321	0,357	0,379
105	0,070	0,197	0,266	0,307	0,331
120	0,000	0,140	0,218	0,262	0,288

Таблица 8

Коэффициент, учитывающий изменение прочности стали при нагреве верхнего профлиста

Время, мин	Воздух				
	50 мм	100 мм	150 мм	200 мм	250 мм
	$\gamma_{\text{тем, 50 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 100 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 150 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 200 мм}}$	$\gamma_{\text{тем, 250 мм}}$
0	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985
15	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984
30	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983
45	0,981	0,981	0,982	0,982	0,982
60	0,977	0,979	0,980	0,980	0,980
75	0,972	0,976	0,977	0,978	0,979
90	0,965	0,971	0,974	0,975	0,976
105	0,957	0,966	0,970	0,972	0,974
120	0,947	0,960	0,966	0,969	0,971

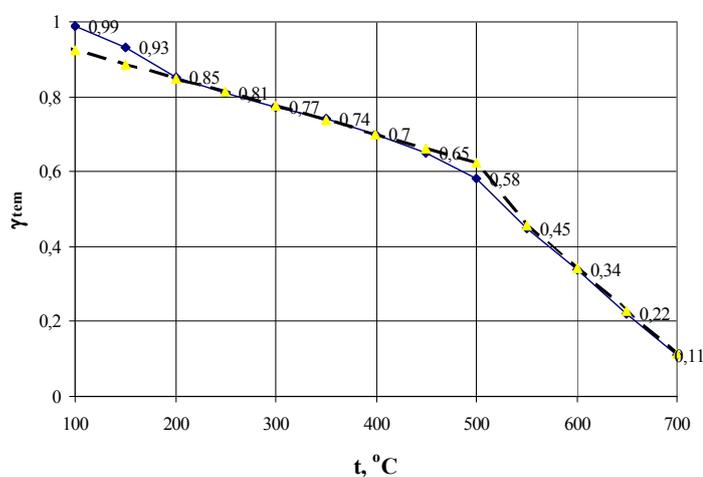


Рис. 17. Зависимость прочности стали от температуры

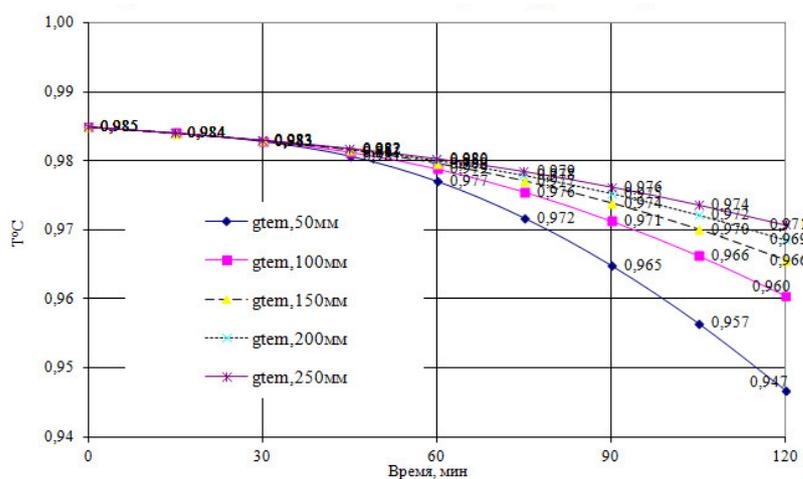


Рис. 18. Изменение прочностных свойств стали в верхнем профлисте Н75 подвесного потолка в зависимости от толщины воздушного зазора

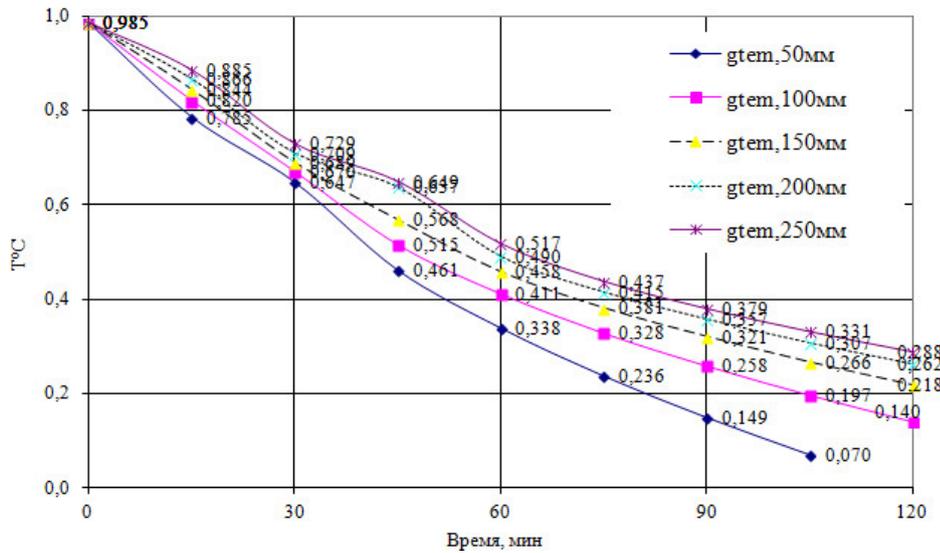


Рис. 19. Изменение прочностных свойств стали в подвесах к нижнему профлисту Н75 подвесного потолка в зависимости от толщины воздушного зазора

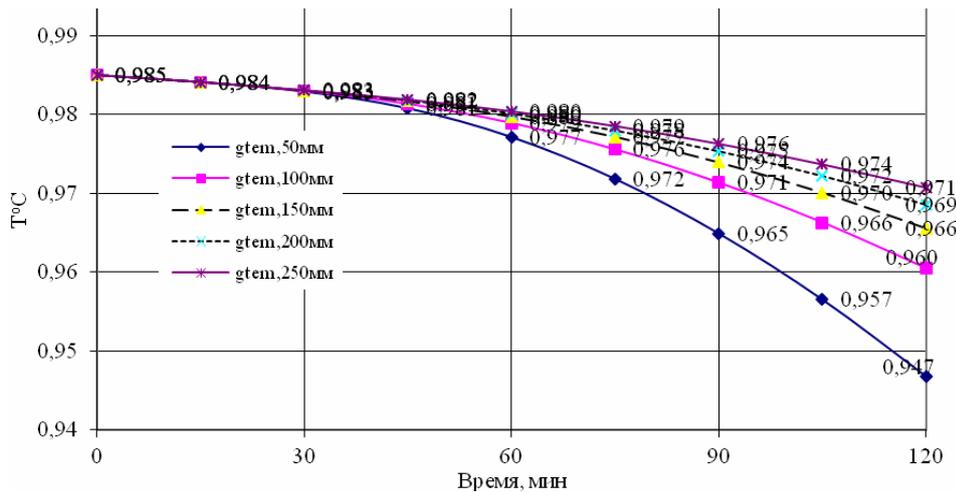


Рис. 20. Изменение прочностных свойств стали в верхнем профлисте Н75 подвесного потолка в зависимости от толщины воздушного зазора

Перед определением параметров огнестойкости проектировщику необходимо определить прочностные и деформативные характеристики конструкции в нормальных условиях эксплуатации, без особых воздействий (огневых) [6—13].

Далее представляем расчеты прочности и деформативности профлиста Н75-750-0,7 в условиях нормальной эксплуатации (табл. 9, рис. 21, 22).

Представленные расчеты не учитывают совместную работу листов и утеплителя на сдвиг и указывают только на нижнюю границу применимости данных конструкций.

Т а б л и ц а 9

Расчет профлиста Н75-750-0,7, ГОСТ 24045—94

Наименование расчетных параметров	Обозначение, формула	Единица измерения	Значение
Нагрузка полная	q	кг/м ²	50
Ширина панели	b	м	1
Нагрузка погонная	q	кг/м	50
Пролет	ℓ	м	4,6
Изгибающий момент	$M = \frac{q\ell^2}{8}$	Кгм	132,25
Момент сопротивления профлиста	W	см ³	22,5
Момент инерции профлиста	I	см ⁴	104,5
Расчетное сопротивление стали	—	кг/см ²	2450
Модуль упругости стали	—	кг/см ²	2 100 000
Напряжение при изгибе	$\sigma = \frac{M}{W}$	кг/см ²	587,78
Прогиб листа	$f = \frac{5q\ell^4}{384E_0I_{red}}$	см	1,33
Предельное значение прогиба	1/200	см	2,3

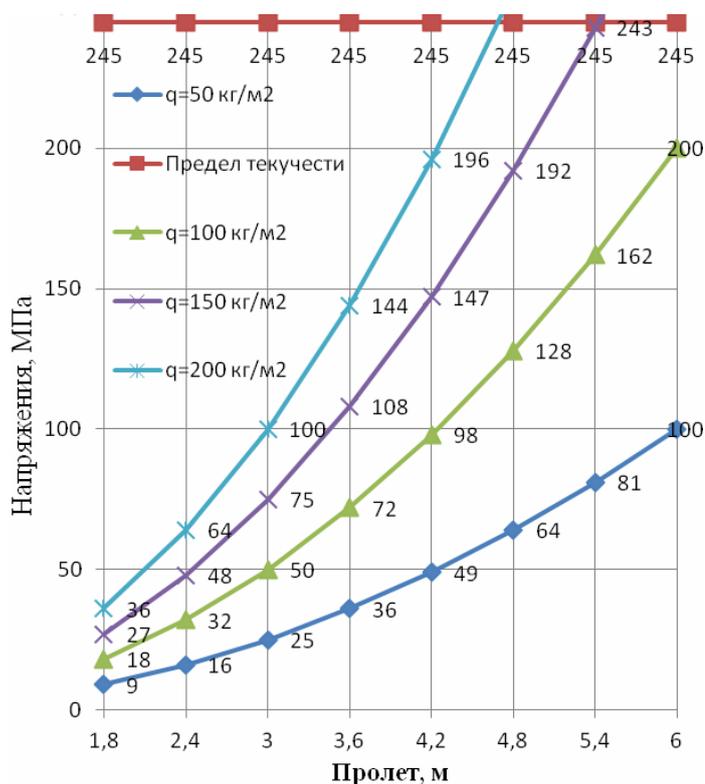


Рис. 21. Зависимость прочности профлиста Н75-750-0,7 от пролета и нагрузки

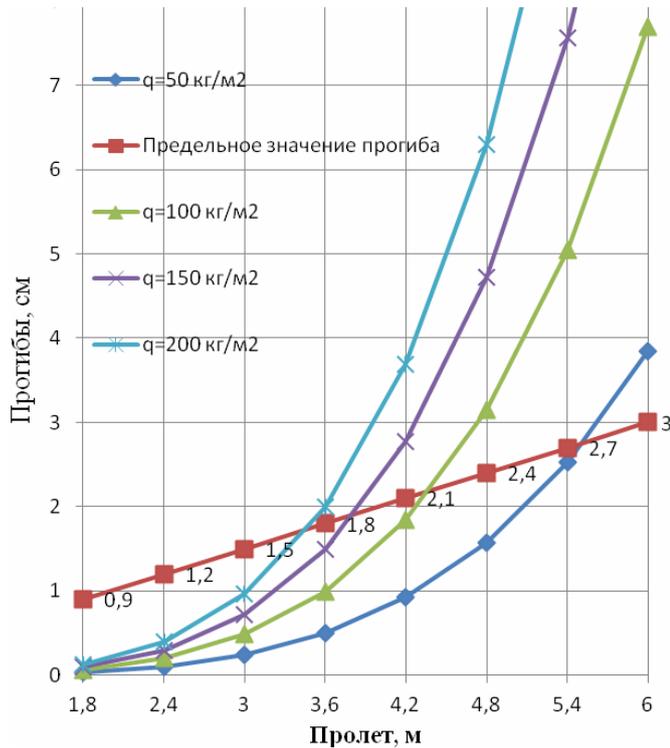


Рис. 22. Зависимость прогиба профлиста Н75-750-0,7 от пролета и нагрузки

Выводы:

1. Результаты расчетов показали, что с увеличением зазора воздушной прослойки увеличивается огнестойкость конструкции. Распределение температуры в нижнем профлисте Н75 подвесного потолка показывает, что при увеличении зазора с 50 до 250 мм температура в нижнем профлисте уменьшается в 3,64 раза, с 309 до 85 °С (см. рис. 14). В подвесах между листами подвесного потолка из профлистов Н75 температура уменьшается в 1,21 раза, с 751 до 623 °С (см. рис. 15). В верхнем профлисте Н75 подвесного потолка температура так же уменьшается в 1,82 раза, с 71 до 39 °С (см. рис. 16).

2. Наиболее слабым звеном в рассматриваемых конструкциях оказываются подвесы (см. табл. 7). Однако в конструкции с зазором 250 мм на 120-й минуте огневого воздействия они могут выдержать максимальные напряжения $R_s \cdot \gamma_{тем} = 245 \cdot 0,288 = 70,5$ МПа.

3. Распределение температуры в профлистах утеплителя и между ними показывает, что при данном конструктивном исполнении в качестве утеплителя можно применять теплоизоляцию Пеноплэкс.

4. При расчетах и проектировании конструкций необходимо учитывать нормативные требования [14—17], а также температурно зависимые теплофизические свойства материалов. Кроме того, также необходимо учитывать целостность огнезащитных слоев (СМЛ), так как это существенным образом повлияет на распределение температурных полей и потоков, прочности и деформативности. Использование огнезащитных составов также приводит к повышению огнестойкости конструкции [18—19].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Термодинамические свойства воздуха / В. В. Сычев, А. А. Васерман, А. Д. Козлов, Г. П. Спиридонов, В. А. Цымарный. М. : Стандарт, 1978. 276 с.
 2. Comsol v.4.4. Nonlinear Structural Materials Module User's Guide.
 3. Comsol v.4.4. COMSOL Multiphysics. User's Guide.
 4. Красников Г. Е., Нагорнов О. В., Старостин Н. В. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. М. : НИЯУ МИФИ, 2012. 184 с.
 5. Бирюлин Г. В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL / FEMLAB DOC. СПб. : СПбГУИТМО, 2006. 78 с.
 6. EN 1991-1-2 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire. EUROPEAN STANDARD. ICS 91.010.30.
 7. The Development of Finite Elements for 3D Structural Analysis in Fire / Yu Chaoming, I. W. Burgess, Z. Huang, R. J. Plank. Sheffield : University of Sheffield, 2006.
 8. Materazzi A. L., Breccolotti M. Fire Behaviour of HPLWC Hollow Core Slabs: Full Scale Furnace Tests and Numerical Modelling. Perugia : University of Perugia, 2004.
 9. Davidi A. IMI — Israel Military Industries Thermo Mechanical Analysis of Composite Material Exposed to Fire to Fire. Comsol Conference. Milan, 2012.
 10. Bianchi Janetti M., Ochs F., Pflugger R. Coupling Forced Convection in Air Gaps with Heat and Moisture. Comsol Conference. Milan, 2012.
 11. Кошмаров Ю. А. Новые методы расчета огнестойкости и огнезащиты современных зданий и сооружений // Пожарная безопасность. 2002. № 2. С. 91—98.
 12. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М. : Спецтехника, 2001. 496 с.
 13. Жарков А. Ф. Методика расчета пределов огнестойкости наружных трехслойных стеновых панелей с деревянным каркасом и эффективным утеплителем // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. Вып. 6(21). 2006. С. 14—23.
 14. Калашиников С. Ю., Жарков А. Ф. Экспертиза пределов огнестойкости блочно-модульной котельной (БМК-750) из металлического каркаса с трехслойными панелями / Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы II Науч.-техн. конф. 2009. С. 74—93.
 15. Калашиников С. Ю., Жарков А. Ф. Оценка влияния разлива расплавленного металла на прочностные свойства бетона монолитной фундаментной плиты при экспертизе промбезопасности металлургического предприятия / Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы II Науч.-техн. конф. 2009. С. 94—109.
 16. Рыбаков В. А., Коломийцев Д. Е., Родичева А. О. Огнестойкость междуэтажного перекрытия на основе стальных с-образных профилей // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8. С. 32—37.
 17. Расчет огнестойкости конструкции перекрытия с использованием профилированного настила / А. Р. Туснин, А. И. Данилов, В. П. Вершинин, В. В. Вершинин // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 12. С. 71—73.
 18. Хежнев Х. А. Техничко-экономическая эффективность гипсосодержащих композитов с применением вулканических горных пород // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 29 (48). С. 148—155.
 19. Хежнев Т. А., Хежнев Х. А. Эффективные огнезащитные составы на пористых заполнителях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 17. С. 70—73
1. Termodinamicheskie svoistva vozdukh / V. V. Sychev, A. A. Vaserman, A. D. Kozlov, G. P. Spiridonov, V. A. Tsymarnyi. M. : Standart, 1978. 276 s.
 2. Comsol v.4.4. Nonlinear Structural Materials Module User's Guide.
 3. Comsol v.4.4. COMSOL Multiphysics. User's Guide.
 4. Krasnikov G. E., Nagornov O. V., Starostin N. V. Modelirovanie fizicheskikh protsessov s ispol'zovaniem paketa Comsol Multiphysics. M. : NIYaU MIFI, 2012. 184 s.
 5. Biryulin G. V. Teplofizicheskie rascheti v konechno-elementnom pakete COMSOL / FEMLAB DOC. SPb. : SPbGUITMO, 2006. 78 s.

6. EN 1991-1-2 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire. EUROPEAN STANDARD. ICS 91.010.30.
7. The Development of Finite Elements for 3D Structural Analysis in Fire / Yu Chaoming, I. W. Burgess, Z. Huang, R. J. Plank. Sheffield : University of Sheffield, 2006.
8. *Materazzi A. L., Breccolotti M.* Fire Behaviour of HPLWC Hollow Core Slabs: Full Scale Furnace Tests and Numerical Modelling. Perugia : University of Perugia, 2004.
9. *Davidy A.* IMI — Israel Military Industries Thermo Mechanical Analysis of Composite Material Exposed to Fire to Fire. Comsol Conference. Milan, 2012.
10. *Bianchi Janetti M., Ochs F., Pfluger R.* Coupling Forced Convection in Air Gaps with Heat and Moisture. Comsol Conference. Milan, 2012.
11. *Koshmarov Yu. A.* Novye metody rascheta ognestoikosti i ognezashchity sovremennykh zdaniy i sooruzheniy // Pozharnaya bezopasnost'. 2002. № 2. S. 91—98.
12. *Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu.* Ognestoikost' stroitel'nykh konst-ruksii. M. : Spetstekhnika, 2001. 496 s.
13. Zharkov A. F. Metodika rascheta predelov ognestoikosti naruzhnykh trekhsloinykh stenovnykh panelei s derevyannym karkasom i effektivnym uteplitelem // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. Vyp. 6(21). 2006. S. 14—23.
14. *Kalashnikov S. Yu., Zharkov A. F.* Ekspertiza predelov ognestoikosti blochno-modul'noi kotel'noi (BMK-750) iz metallicheskogo karkasa s trekhsloinyimi panelyami / Inzhenernye problemy stroitel'nogo materialovedeniya, geotekhnicheskogo i dorozhnogo stroitel'stva : materialy II Nauch.-tekhn. konf. 2009. S. 74—93.
15. *Kalashnikov S. Yu., Zharkov A. F.* Otsenka vliyaniya razliva rasplavlennogo metalla na prochnostnye svoystva betona monolitnoi fundamentnoi plity pri ekspertize prombezopasnosti metal-lurgicheskogo predpriyatiya / Inzhenernye problemy stroitel'nogo materialovedeniya, geotekhnicheskogo i dorozhnogo stroitel'stva : materialy II Nauch.-tekhn. konf. 2009. S. 94—109.
16. *Rybakov V. A., Kolomiitsev D. E., Rodicheva A. O.* Ognestoikost' mezhduetazhnogo perekrytiya na osnove stal'nykh s-obraznykh profilei // Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal. 2010. № 8. S. 32—37.
17. Raschet ognestoikosti konstruksii perekrytiya s ispol'zovaniem profilirovannogo nastila / A. R. Tusnin, A. I. Danilov, V. P. Vershinin, V. V. Vershinin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. № 12. S. 71—73.
18. *Khezhev Kh. A.* Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' gipsosoderzhashchikh kompozitov s primeneniem vulkanicheskikh gornykh porod // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. № 29 (48). S. 148—155.
19. *Khezhev T. A., Khezhev Kh. A.* Effektivnye ognezashchitnye sostavy na poristykh zapolnitelyakh // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2010. № 17. S. 70—73

© Жарков А. Ф., Жарков Ф. А., Чеснокова О. Г., 2015

Поступила в редакцию
в январе 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Жарков А. Ф., Жарков Ф. А., Чеснокова О. Г. Огнестойкость покрытий из профлистов с подвесными потолками с воздушной прослойкой // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2015. Вып. 4(40). Ст. 10. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Zharkov A. F., Zharkov F. A., Chesnokova O. G. [Fire resistance of coatings from profiled sheeting with suspended ceiling with air gap]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2015, no. 4(40), paper 10. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>