

Приложение 3

Метод расчета требуемого предела огнестойкости строительных конструкций

Р.1 Расчет требуемых пределов огнестойкости

Метод расчета требуемых пределов огнестойкости железобетонных и огнезащищенных металлических конструкций промышленных зданий (сооружений) учитывает характеристики технологических процессов и устанавливает соответствующие требования к огнестойкости конструкций, исходя из нормируемого риска достижения предельного состояния конструкций по признаку потери несущей и теплоизолирующей способностей в условиях реальных пожаров.

Требуемые пределы огнестойкости устанавливаются на основе определения эквивалентной продолжительности пожаров и коэффициента огнестойкости. Коэффициент огнестойкости рассчитывают в зависимости от заданной предельной вероятности отказов конструкций в условиях реальных пожаров.

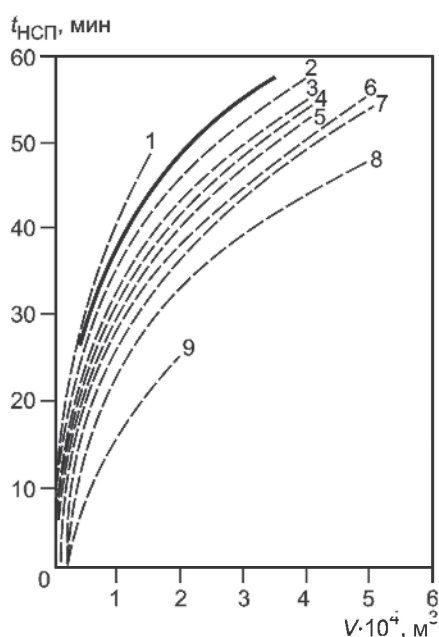


Рисунок Р.1 — Зависимость минимальной продолжительности начальной стадии пожара ($t_{НСП}$) от объема V , высоты H помещения и количества горючей нагрузки q , приведенной к древесине.

Сплошная линия при $H = 4,8$ м;
 $q = 68—70$ кг/м²;

Пунктирные линии при $H = 6,6$ м:

1 — $q = 2,4—14$ кг/м²; 2 — $q = 67—119$ кг/м²;
3 — $q = 60—66$ кг/м²; 4 — $q = 60$ кг/м²;
5 — $q = 82—155$ кг/м²; 6 — $q = 140—160$ кг/м²;
7 — $q = 200$ кг/м²; 8 — $q = 210—250$ кг/м²;
9 — $q = 500—550$ кг/м²

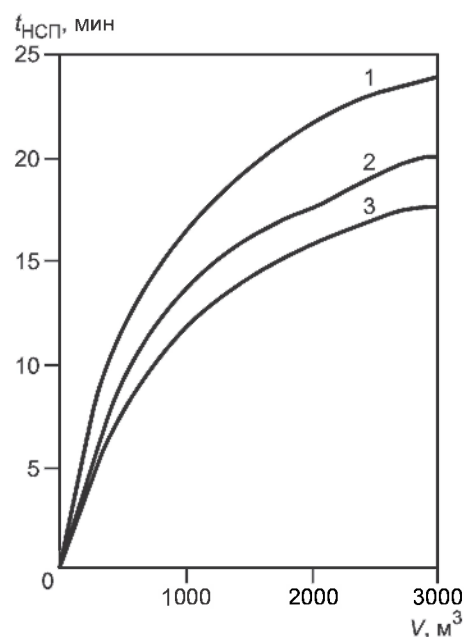


Рисунок Р.2 — Зависимость минимальной продолжительности начальной стадии пожара ($t_{НСП}$) от объема V и высоты H помещения

1 — $H = 3$ м; 2 — $H = 6$ м; 3 — $H = 12$ м

Р.1.1 Расчет требуемых пределов огнестойкости в помещении проводят для случаев локального или объемного пожаров. Для определения вида пожара сначала по рисункам Р.1 и Р.2 находят минимальную продолжительность начальной стадии пожара (НСП) $t_{НСП}$. При распространении огня по горючей нагрузке, отличающейся по свойствам от древесины, продолжительность НСП вычисляется по формуле

$$t_{\text{НСП}i} = t_{\text{НСП}} \left[\frac{\left(n_{\text{др}} Q_{H_{\text{др}}}^p U_{\text{ср}}^z \right)}{\left(n_i Q_{H_i}^p U_{\text{ср}i}^2 \right)} \right]^{0,333}, \quad (\text{P.1})$$

где $n_{\text{др}} = 1,2 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{мин}$, n_i — средние скорости выгорания древесины и i -го компонента твердого горючего или трудногорючего материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$;

$Q_{H_{\text{др}}}^p = 13,8 \text{ МДж/кг}$, $Q_{H_i}^p$ — низшие теплоты сгорания древесины и i -го компонента соответственно, МДж/кг ;

$U_{\text{ср}} = 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ м/мин}$, $U_{\text{ср}i}$ — средние линейные скорости распространения по древесине и i -му компоненту соответственно, м/мин .

После определения продолжительности НСП проверяют неравенство:

$$F < \pi (U_{\text{ср}} t_{\text{НСП}})^2, \quad (\text{P.2})$$

где F — площадь пожарной нагрузки, м^2 .

Если условие (P.2) выполняется, то горючая нагрузка расположена рассредоточенно — в помещении будет локальный пожар.

В противном случае горючая нагрузка расположена рассредоточено — в помещении будет объемный пожар.

На основе данных проектной документации, пожарно-технических обследований, а также справочных материалов определяется эквивалентная продолжительность пожара t_3 для выбранной конструкции в рассматриваемом помещении. Эквивалентную продолжительность пожара определяют по известным значениям проемности помещения Π , $\text{м}^{0,5}$ и характерной длительности пожара t_n (в часах).

Проемности помещения при объемном пожаре Π рассчитывают по формуле

$$\Pi = \begin{cases} \sum_{i=1}^N A_i \frac{\sqrt{h_i}}{S} & \text{для } V > 1000 \text{ м}^3 \\ \sum_{i=1}^N A_i \frac{\sqrt{h_i}}{V^{2/3}} & \text{для } V < 1000 \text{ м}^3 \end{cases}, \quad (\text{P.3})$$

где S — площадь пола, м^2 ;

V — объем помещения, м^3 ;

A_i — площадь проемов, м^2 ;

h_i — высота i -го проема в помещении, м ;

N — количество проемов.

В случае локального пожара проемность рассчитывают по формуле

$$\Pi = H / \sqrt{F}, \quad (\text{P.4})$$

где H — расстояние от зеркала горения до конструкции (высота помещения), м .

Характерную длительность объемного пожара t_n (в часах), для твердых горючих и трудногорючих материалов рассчитывают по формуле

$$t_n = \frac{\sum_{j=1}^M G_j Q_{H_j}^p r_{\text{др}}}{6285 \sum_{i=1}^N A_i \sqrt{h_i} \sum_{j=1}^M x_j n_j}, \quad (\text{P.5})$$

где G_j — общее количество горючей нагрузки i -го материала в кг ($j = 1, \dots, M$);

M — число различных видов нагрузки;

n_j — средняя скорость выгорания j -го материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$;

$r_{\text{др}}$ — средняя скорость выгорания, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$

$x_j = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^M G_j}$ — весовая доля j -й горючей нагрузки.

$n_{\text{др}}$, n_j определяют экспериментально или по справочным данным.

При горении ЛВЖ и ГЖ продолжительность локального пожара $t_{л}$, мин, рассчитывают по формуле

$$t_{л} = \frac{G}{M_{ср}F} \quad (P.6)$$

где G — количество ЛВЖ и ГЖ, которое может разлиться при аварийной ситуации, кг;

$M_{ср}$ — средняя скорость выгорания ЛВЖ и ГЖ, кг/(м² · мин).

Для рассматриваемого типа конструкций по номограммам (рисунки P.3—P.9) определяют эквивалентную продолжительность пожара t_3 ($t_{п}$, П).

$t_{п}$ определяется по формулам (У.5) или (У.6) в зависимости от вида пожара, а П — по формулам (У.3) или (У.4).

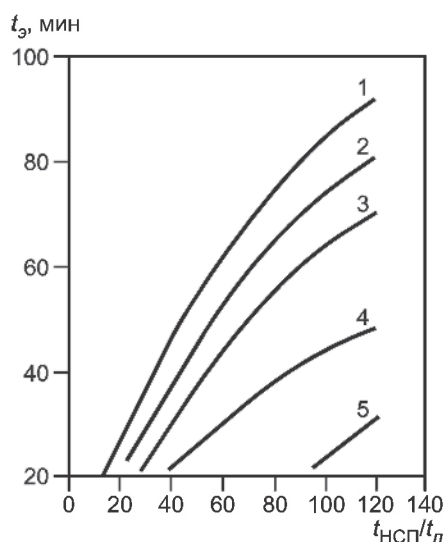


Рисунок P.3 — Зависимость эквивалентной продолжительности пожара t_3 от продолжительности пожара для железобетонных и огнезащищенных металлических конструкций перекрытия в условиях локальных пожаров $t_{л}$ (или продолжительности НСП $t_{НСП}$) при горении твердых и трудногорючих материалов

1 — $H/\sqrt{F} = 1,2$; 2 — $H/\sqrt{F} = 1,5$; 3 — $H/\sqrt{F} = 1,8$;

4 — $H/\sqrt{F} = 2,2$; 5 — $H/\sqrt{F} = 2,4$

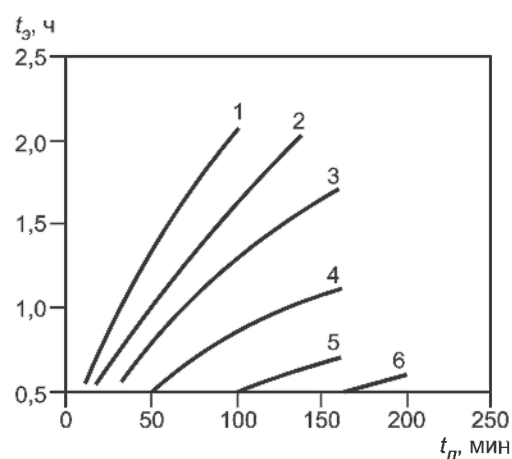


Рисунок P.4 — Зависимость эквивалентной продолжительности пожара t_3 от продолжительности пожара $t_{л}$ для железобетонных и огнезащищенных металлических конструкций перекрытия при горении ЛВЖ и ГЖ

1 — $H/\sqrt{F} = 1,2$; 2 — $H/\sqrt{F} = 1,5$; 3 — $H/\sqrt{F} = 1,8$;

4 — $H/\sqrt{F} = 2,2$; 5 — $H/\sqrt{F} = 2,4$; 6 — $H/\sqrt{F} = 3,6$

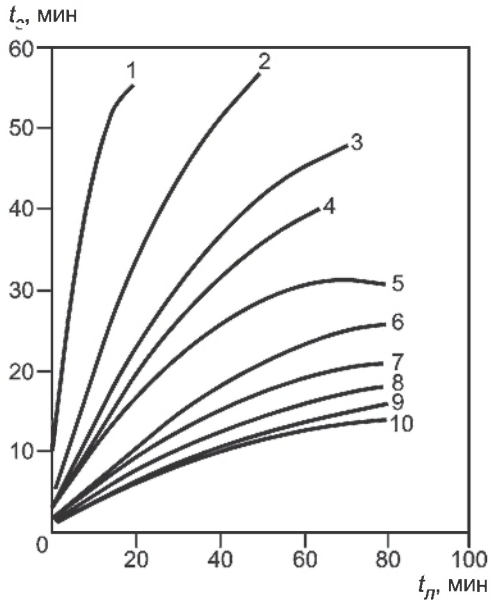


Рисунок Р.5 — Зависимость эквивалентной продолжительности пожара $t_{с}$ от продолжительности пожара $t_{п}$ для горизонтальных незащищенных металлических конструкций

1 — $H\sqrt{F} = 1,2$; 2 — $H\sqrt{F} = 2,0$; 3 — $H\sqrt{F} = 2,4$;
 4 — $H\sqrt{F} = 2,85$; 5 — $H\sqrt{F} = 3,2$; 6 — $H\sqrt{F} = 4,0$;
 7 — $H\sqrt{F} = 4,4$; 8 — $H\sqrt{F} = 5,2$; 9 — $H\sqrt{F} = 5,6$;
 10 — $H\sqrt{F} = 6,0$

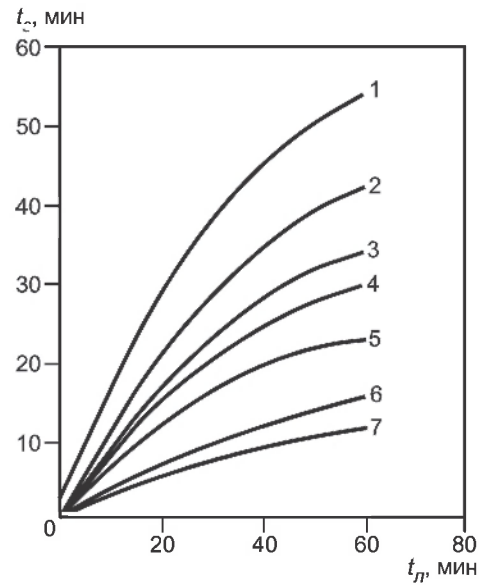


Рисунок Р.6 — Зависимость эквивалентной продолжительности пожара $t_{с}$ от продолжительности пожара $t_{п}$ для вертикальных незащищенных металлических конструкций

1 — $H\sqrt{F} = 0,5$; 2 — $H\sqrt{F} = 0,6$;
 3 — $H\sqrt{F} = 0,7$; 4 — $H\sqrt{F} = 0,8$;
 5 — $H\sqrt{F} = 1,0$; 6 — $H\sqrt{F} = 1,5$;
 7 — $H\sqrt{F} = 2,0$;

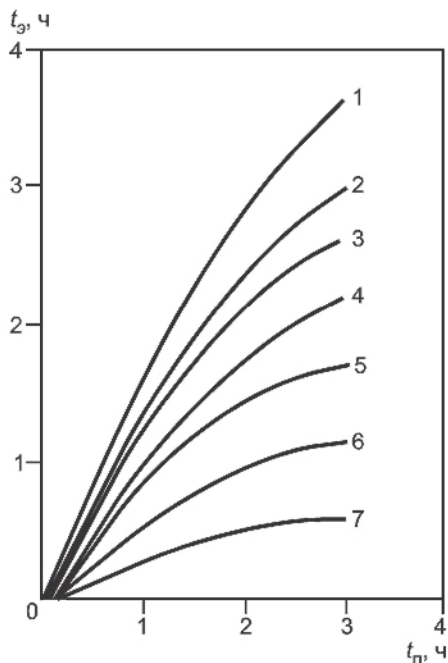


Рисунок Р.7 — Зависимость эквивалентной продолжительности пожара t_3 от характерной продолжительности пожара t_n для огнезащищенных металлических и железобетонных конструкций перекрытия

1 — $\Pi = 0,25 \text{ м}^{0,5}$; 2 — $\Pi = 0,20 \text{ м}^{0,5}$;
 3 — $\Pi = 0,18 \text{ м}^{0,5}$; 4 — $\Pi = 0,15 \text{ м}^{0,5}$;
 5 — $\Pi = 0,12 \text{ м}^{0,5}$; 6 — $\Pi = 0,08 \text{ м}^{0,5}$;
 7 — $\Pi = 0,04 \text{ м}^{0,5}$.

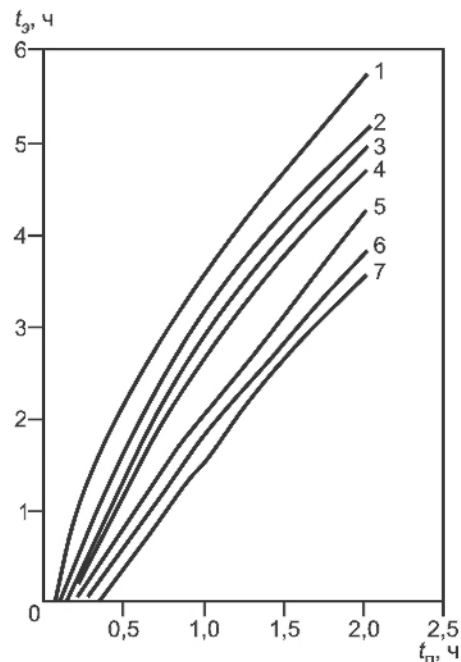
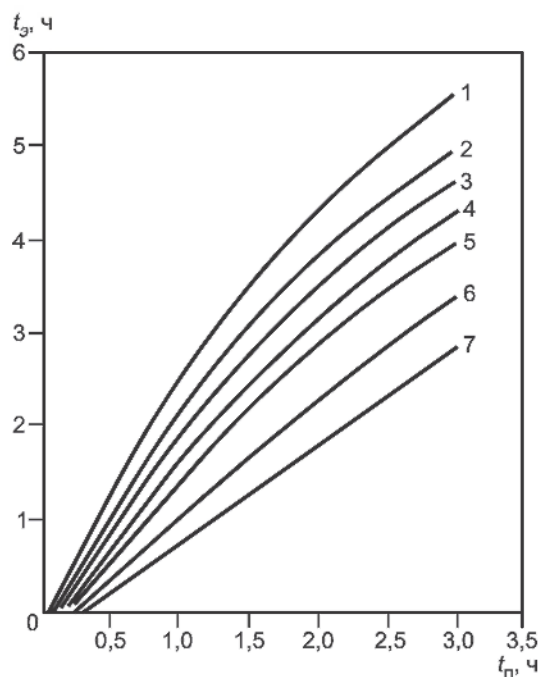


Рисунок Р.8 — Зависимость эквивалентной продолжительности пожара t_3 от характерной продолжительности пожара t_n для железобетонных несущих стен

1 — $\Pi = 0,25 \text{ м}^{0,5}$; 2 — $\Pi = 0,20 \text{ м}^{0,5}$;
 3 — $\Pi = 0,18 \text{ м}^{0,5}$; 4 — $\Pi = 0,15 \text{ м}^{0,5}$;
 5 — $\Pi = 0,12 \text{ м}^{0,5}$; 6 — $\Pi = 0,08 \text{ м}^{0,5}$;
 7 — $\Pi = 0,04 \text{ м}^{0,5}$.

Рисунок Р.9 — Зависимость эквивалентной продолжительности пожара t_3 от характерного времени объемного пожара t_n для центрально сжатых железобетонных колонн

1 — $\Pi = 0,25 \text{ м}^{0,5}$; 2 — $\Pi = 0,20 \text{ м}^{0,5}$; 3 — $\Pi = 0,18 \text{ м}^{0,5}$;
 4 — $\Pi = 0,15 \text{ м}^{0,5}$; 5 — $\Pi = 0,12 \text{ м}^{0,5}$; 6 — $\Pi = 0,08 \text{ м}^{0,5}$;
 7 — $\Pi = 0,04 \text{ м}^{0,5}$.



Р.1.2 Коэффициент огнестойкости выбранной конструкции K_0 определяют по значению предельной вероятности отказов $P_{пi}$ с учетом допустимой вероятности отказов конструкций $P_{допi}$. Значения $P_{допi}$ в зависимости от того, к какой группе конструкций i принадлежит выбранная конструкция, приведены в таблице Р.1.

Т а б л и ц а Р.1 — Допустимые вероятности отказов конструкций от пожаров $P_{допi}$

Группа конструкций	Вероятность отказов
Вертикальные несущие конструкции, противопожарные преграды, ригели, перекрытия, фермы, балки	10^{-6}
Другие горизонтальные несущие конструкции, перегородки	10^{-5}
Прочие строительные конструкции	10^{-4}

Предельные вероятности отказов конструкций в условиях пожаров $P_{пi}$ рассчитывают по формуле

$$P_{пi} = \frac{P_{допi}}{P_0 S(1 - P_A)(1 - P_{п.о})} \quad (P.7)$$

где P_0 — вероятность возникновения пожара, отнесенная к 1 м² площади помещения;

P_A — вероятность выполнения задачи (тушения пожара) автоматической установкой пожаротушения;

$P_{п.о.}$ — вероятность предотвращения развитого пожара силами пожарной охраны;

P_0 — рассчитывают по методу, приведенному в [3] или принимают из таблицы Р.2.

Т а б л и ц а Р.2 — Вероятности возникновения пожара P_0 для промышленных помещений

Промышленный цех	Вероятность возникновения пожара P_0 , м ² /год 10^{-5}
По обработке синтетического каучука и искусственных волокон	2,65
Литейные и плавильные	1,89
Механические	0,60
Инструментальные	0,60
По переработке мясных и рыбных продуктов	1,53
Горячей прокатки металлов	1,89
Текстильного производства	1,53
Электростанций	2,24

Величины P_A определяют по паспортным данным установок. Допускается использование данных [4].

$P_{п.о.}$ устанавливают по статистическим данным или расчетом с учетом установки автоматических средств обнаружения пожара, сил и средств пожарной охраны. В случае отсутствия данных по пожарной охране и системе пожарной сигнализации следует положить $P_{п.о.} = 0$.

По вычисленным значениям $P_{пi}$ определяют значение характеристики безопасности, при необходимости интерполируя данные таблицы Р.4.

Т а б л и ц а Р.3 — Значения характеристики безопасности P

Вероятность отказов конструкций при пожаре $P_{пi}$	Характеристика безопасности β	Вероятность отказов конструкций при пожаре $P_{пi}$	Характеристика безопасности β
$\left. \begin{matrix} 10 \\ 2,5 \\ 0,6 \\ 0,3 \end{matrix} \right\} \cdot 10^{-5}$	3,7	$\left. \begin{matrix} 10 \\ 2,5 \\ 0,6 \\ 0,3 \end{matrix} \right\} \cdot 10^{-3}$	2,3
	4,1		2,8
	4,4		3,2
	4,5		3,5
$\left. \begin{matrix} 10 \\ 2,5 \\ 0,6 \\ 0,3 \end{matrix} \right\} \cdot 10^{-4}$	3,1	$\left. \begin{matrix} 10 \\ 2,5 \\ 0,6 \\ 0,3 \end{matrix} \right\} \cdot 10^{-2}$	1,3
	3,5		2,0
	3,8		2,5
	4,0		2,6

Р.1.3 Расчет коэффициента огнестойкости K_0 проводят по формуле

$$K_0 = 0,527 \exp(0,36 \beta), \quad (\text{P.8})$$

В таблице Р.4 приведены значения K_0 для условий $P_0 = 5 \cdot 10^{-6}$ м²/год, $P_A = 0,95$ и $P_{по} = 0$ для различных площадей отсеков S .

Т а б л и ц а Р.4 — Коэффициент огнестойкости K_0

Площадь отсеков S , м ²	Вертикальные несущие конструкции, противопожарные преграды, балки, перекрытия, фермы	Другие горизонтальные несущие конструкции, перегородки	Прочие строительные конструкции
1000	1,36	0,99	0,58
2500	1,52	1,14	0,75
5000	1,69	1,26	0,87
7500	1,79	1,31	0,94
10000	1,84	1,42	0,99
20000	2,03	1,47	1,10

Р.1.4 Требуемый предел огнестойкости t_0 рассчитывают по вычисленным значениям t_3 и K_0

$$t_0 = K_0 \cdot t_3 \quad (\text{P.9})$$