

Приложение 2 (обязательное). Метод определения уровня обеспечения пожарной безопасности людей

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Обязательное

Настоящий метод устанавливает порядок расчета уровня обеспечения пожарной безопасности людей и вероятности воздействия опасных факторов пожара на людей, а также обоснования требований к эффективности систем обеспечения пожарной безопасности людей.

1. Сущность метода

1.1. Показателем оценки уровня обеспечения пожарной безопасности людей на объектах является вероятность предотвращения воздействия (P_B) опасных факторов пожара (ОФП), перечень которых определяется настоящим стандартом.

1.2. Вероятность предотвращения воздействия ОФП определяют для пожароопасной ситуации, при которой место возникновения пожара находится на первом этаже вблизи одного из эвакуационных выходов из здания (сооружения).

2. Основные расчетные зависимости

2.1. Вероятность предотвращения воздействия ОФП (P_B) на людей в объекте вычисляют по формуле

$$P_B = 1 - Q_B, \quad (1)$$

где Q_B - расчетная вероятность воздействия ОФП на отдельного человека в год.

Уровень обеспечения безопасности людей при пожарах отвечает требуемому, если

$$Q_B \leq Q_B^k, \quad (2)$$

где Q_B^k - допустимая вероятность воздействия ОФП на отдельного человека в год.

Допустимую вероятность Q_B^k принимают в соответствии с настоящим стандартом.

2.2. Вероятность (Q_B) вычисляют для людей в каждом здании (помещении) по формуле

$$Q_B = Q_{П}(1 - P_3)(1 - P_{ПЗ}), \quad (3)$$

где $Q_{П}$ - вероятность пожара в здании в год;

P_3 - вероятность эвакуации людей;

$P_{ПЗ}$ - вероятность эффективной работы технических решений противопожарной защиты.

2.3. Вероятность эвакуации (P_3) вычисляют по формуле

$$P_3 = 1 - (1 - P_{3,П})(1 - P_{ПЗ}), \quad (4)$$

где $P_{3,П}$ - вероятность эвакуации по эвакуационным путям;

$P_{ПЗ}$ - вероятность эвакуации по наружным эвакуационным лестницам, переходам в смежные секции здания.

2.4. Вероятность ($P_{3,П}$) вычисляют по зависимости

$$P_{3,П} = \begin{cases} \frac{\tau_{ОП} - t_p}{\tau_{КЗ}}, & \text{если } t_p < \tau_{ОП} < (t_p + \tau_{КЗ}); \\ 0,999, & \text{если } (t_p + \tau_{КЗ}) \leq \tau_{ОП}; \\ 0, & \text{если } t_p \geq \tau_{ОП}. \end{cases} \quad (5)$$

где $\tau_{ОП}$ - время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения, мин;

t_p - расчетное время эвакуации людей, мин;

$\tau_{КЗ}$ - интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин.

Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий устанавливается по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей.

При расчете весь путь движения людского потока подразделяется на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничные марш, тамбур) длиной l_i и шириной δ_i . Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т.п.

При определении расчетного времени длина и ширина каждого участка пути эвакуации принимаются по проекту. Длина пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельным участком горизонтального пути, имеющим конечную длину l_i .

Расчетное время эвакуации людей (t_p) следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути l_i по формуле

$$t_p = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_i, \quad (6)$$

где l_1 - время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин;

l_2, l_3, \dots, l_i - время движения людского потока на каждом из следующих после первого участке пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути (l_1), мин, вычисляют по формуле

$$l_1 = \frac{l_1}{v_1}, \quad (7)$$

где l_1 - длина первого участка пути, м;

v_1 - значение скорости движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин, определяется по табл.2 в зависимости от плотности D .

Плотность людского потока (D_1) на первом участке пути, m^2/m^2 , вычисляют по формуле

$$D_1 = \frac{M_1 f}{l_1 \delta_1}, \quad (8)$$

где N_1 - число людей на первом участке, чел.;
 f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, принимаемая равной, м²:

взрослого в домашней одежде	0,1
взрослого в зимней одежде	0,125
подростка	0,07

δ_1 - ширина первого участка пути, м.

Скорость v_1 движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимается по табл.2 в зависимости от значения интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которые вычисляются для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (9)$$

где δ_i, δ_{i-1} - ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути, м;

q_i, q_{i-1} - значения интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему участкам пути, м/мин, значение интенсивности движения людского потока на первом участке пути ($q = q_{i-1}$), определяемое по табл.2 по значению D_1 , установленному по формуле (8).

Таблица 2

Плотность потока D , м ² /м ²	Горизонтальный путь		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	16,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примечание. Табличное значение интенсивности движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равное 8,5 м/мин, установлено для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины δ интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2,5 + 3,75\delta$.

Если значение q_i , определяемое по формуле (9), меньше или равно значению q_{max} , то время движения по участку пути (t_i) в минуту

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}, \quad (10)$$

при этом значения q_{max} следует принимать равными, м/мин:

для горизонтальных путей	16,5
для дверных проемов	19,6
для лестницы вниз	16
для лестницы вверх	11

Если значение q_i , определенное по формуле (9), больше q_{max} , то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие

$$q_i \leq q_{max}. \quad (11)$$

При невозможности выполнения условия (11) интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути i определяют по табл.2 при значении $D = 0,9$ и более. При этом должно учитываться время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

При слиянии в начале участка i двух и более людских потоков (черт.1) интенсивность движения (q_i), м/мин, вычисляют по формуле

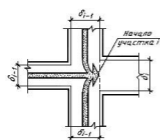
$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (12)$$

где q_{i-1} - интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале участка i , м/мин;

δ_{i-1} - ширина участков пути слияния, м;

δ_i - ширина рассматриваемого участка пути, м.

Черт.1. Слияние людских потоков



Черт.1. Слияние людских потоков

Если значение q_i , определенное по формуле (12), больше q_{max} , то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такую величину, чтобы соблюдалось условие (11). В этом случае время движения по участку i определяется по формуле (10).

2.5. Время $\tau_{\text{од}}$ вычисляют путем расчета значений допустимой концентрации дыма и других ОФП на эвакуационных путях в различные моменты времени. Допускается время $\tau_{\text{од}}$ принимать равным необходимому времени эвакуации $t_{\text{нб}}$.

Необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый опасный фактор воздействует на человека независимо от других.

Критическая продолжительность пожара для людей, находящихся на этаже очага пожара, определяется из условия достижения одним из ОФП в поэтажном коридоре своего предельно допустимого значения. В качестве критерия опасности для людей, находящихся выше очага пожара, рассматривается условие достижения одним из ОФП предельно допустимого значения в лестничной клетке на уровне этажа пожара.

Значения температуры, концентраций токсичных компонентов продуктов горения и оптической плотности дыма в коридоре этажа пожара и в лестничной клетке определяются в результате решения системы уравнений теплогазообмена для помещений очага пожара, поэтажного коридора и лестничной клетки.

Уравнения движения, связывающие значения перепадов давлений на проемах с расходами через проемы, имеют вид

$$G = \text{sign}(\Delta P) \mu B (y_2 - y_1) \sqrt{2\tilde{\rho}|\Delta P|}, \quad (13)$$

где G - расход через проем, кг·с⁻¹;

μ - коэффициент расхода проема ($\mu = 0,8$ для закрытых проемов и $\mu = 0,64$ для открытых);

B - ширина проемов, м;

y_2, y_1 - нижняя и верхняя границы потока, м;

$\tilde{\rho}$ - плотность газов, проходящих через проем, кг·м⁻³;

ΔP - средний в пределах y_2, y_1 перепад полных давлений, Па.

Нижняя и верхняя границы потока зависят от положения плоскости равных давлений

$$y_0 = \frac{P_i - P_j}{g(\rho_j - \rho_i)}, \quad (14)$$

где P_i, P_j - статическое давление на уровне пола i -го и j -го помещений, Па;

ρ_j, ρ_i - средние объемные плотности газа в j -м и i -м помещениях, кг·м⁻³;

g - ускорение свободного падения, м·с⁻².

Если плотность равных давлений располагается вне границ рассматриваемого проема ($y_0 \leq h_1$ или $y_0 \geq h_2$), то поток в проеме течет в одну сторону и границы потока совпадают с физическими границами проема h_1 и h_2 . Перепад давлений (ΔP), Па, в этом случае вычисляют по формуле

$$\Delta P = P_i - P_j + g(h_1 + h_2)(\rho_j - \rho_i)/2. \quad (15)$$

Если плоскость равных давлений располагается в границах потока ($h_1 < y_0 < h_2$), то в проеме текут два потока: из i -го помещения в j -е и из j -го в i -е. Нижний поток имеет границы h_1 и y_0 , перепад давления ΔP для этого потока определяется по формуле

$$\Delta P = P_i - P_j + g(y_0 + h_1)(\rho_j - \rho_i)/2. \quad (16)$$

Поток в верхней части проема имеет границы h_0 и h_2 , перепад давления (ΔP) для него рассчитывается по формуле

$$\Delta P = P_i - P_j + g(h_2 + y_0)(\rho_j - \rho_i)/2. \quad (17)$$

Знак расхода газов (входящий в помещение расход считается положительным, выходящий - отрицательным) и значение $\tilde{\rho}$ зависит от знака перепада давлений

$$\tilde{\rho}, \text{sign}(\Delta P) = \begin{cases} -1, \tilde{\rho} = \rho_j & \text{при } \Delta P < 0 \\ +1, \tilde{\rho} = \rho_i & \text{при } \Delta P \geq 0 \end{cases}. \quad (18)$$

Уравнение баланса массы выражается зависимостью

$$d(\rho_j V_j) / dt = \psi + \sum_i G_i - \sum_k G_k, \quad (19)$$

где V_j - объем помещения, м³;

t - время, с;

ψ - скорость выгорания пожарной нагрузки, кг·с⁻¹;

$\sum_i G_i$ - сумма расходов, входящих в помещение, кг·с⁻¹;

$\sum_k G_k$ - сумма расходов, выходящих из помещения, кг·с⁻¹.

Уравнение энергии для коридора и лестничной клетки

$$d(C_p \rho_j V_j T_j) / dt = C_p \sum_i T_i G_i - C_p T_j \sum_k G_k, \quad (20)$$

где C_p, C_p - удельная изохорная и изобарная теплоемкости, кДж·кг⁻¹·К⁻¹;

T_i, T_j - температуры газов в i -м и j -м помещениях, К.

Уравнение баланса масс отдельных компонентов продуктов горения и кислорода

$$d(X_{L,j} \rho_j V_j) / dt = \psi L_L + \sum_i X_{L,i} G_i - X_{L,j} \sum_k G_k, \quad (21)$$

где $X_{L,i}, X_{L,j}$ - концентрация L -го компонента продуктов горения в j -м и i -м помещениях, г·кг⁻¹;

L_L - количество L -го компонента продуктов горения (кислорода), выделяющегося (поглощающегося) при сгорании одного килограмма пожарной нагрузки, кг·кг⁻¹.

Уравнение баланса оптической плотности дыма

$$V_j d\mu_j / dt = \psi D_m + \sum_i \mu_i G_i - \mu_j \sum_k G_k, \quad (22)$$

где μ_j, μ_i - оптическая плотность дыма в j -м и i -м помещениях, Нп·м⁻¹;

D_m - дымообразующая способность пожарной нагрузки, Нп·м²·кг⁻¹.

Оптическая плотность дыма при обычных условиях связана с расстоянием предельной видимости в дыму соотношением

$$l_{\text{пр}} = 2,38 / \mu. \quad (23)$$

Значение времени начала эвакуации $\tau_{\text{нз}}$ для зданий (сооружений) без систем оповещения вычисляют по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании системы оповещения о пожаре значение $\tau_{\text{нз}}$ принимают равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения величину $\tau_{\text{нз}}$ следует принимать равной 0,5 мин - для этажа пожара и 2 мин - для вышележащих этажей.

Если местом возникновения пожара является заловое помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то $\tau_{\text{нз}}$ допускается принимать равным нулю. В этом случае вероятность ($P_{3л}$) вычисляют по зависимости

$$P_{3л} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_p \leq t_{\text{нб}}; \\ 0, & \text{если } t_p > t_{\text{нб}}. \end{cases} \quad (24)$$

где $t_{\text{жб}}$ - необходимое время эвакуации из зальных помещений.

Примечание. Зданиями (сооружениями) без систем оповещения считают те здания (сооружения), возникновение пожара внутри которых может быть замечено одновременно всеми находящимися там людьми.

Расчет $t_{\text{жб}}$ производится для наиболее опасного варианта развития пожара, характеризующегося наибольшим темпом нарастания ОФП в рассматриваемом помещении. Сначала рассчитывают значения критической продолжительности пожара ($t_{\text{кр}}$) по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне):

по повышенной температуре

$$t_{\text{кр}}^T = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)z} \right] \right\}^{1/n}, \quad B = \frac{353C_p \cdot V}{(1 - \varphi)\eta Q}, \quad (25)$$

по потере видимости

$$t_{\text{кр}}^{\text{п.в}} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{V \ln(1,05\alpha E)}{l_{\text{пр}} B D_m z} \right] \right\}^{-1/n}, \quad (26)$$

по пониженному содержанию кислорода

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B L_{\text{O}_2}}{V} + 0,27 \right) z} \right] \right\}^{-1/n}, \quad (27)$$

по каждому из газообразных токсичных продуктов горения

$$t_{\text{кр}}^{\text{TГ}} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{VX}{BLz} \right] \right\}^{-1/n}, \quad (28)$$

где B - размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг;

t_0 - начальная температура воздуха в помещении, °С;

n - показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени;

A - размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, кг·с⁻ⁿ;

z - безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения;

Q - низшая теплота сгорания материала, МДж·кг⁻¹;

C_p - удельная изобарная теплоемкость газа, МДж·кг⁻¹·К⁻¹;

φ - коэффициент теплопотерь;

η - коэффициент полноты горения;

V - свободный объем помещения, м³;

α - коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;

E - начальная освещенность, лк;

$l_{\text{пр}}$ - предельная дальность видимости в дыму, м;

D_m - дымообразующая способность горящего материала, Нп·м²·кг⁻¹;

L - удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала, кг·кг⁻¹;

X - предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг·м⁻³

($X_{\text{CO}_2} = 0,11$ кг·м⁻³; $X_{\text{CO}} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг·м⁻³; $X_{\text{HC}} = 23 \cdot 10^{-6}$ кг·м⁻³);

L_{O_2} - удельный расход кислорода, кг·кг⁻¹.

Если под знаком логарифма получается отрицательное число, то данный ОФП не представляет опасности. Параметр Z вычисляют по формуле

$$Z = \frac{h}{H} \exp \left(1,4 \frac{h}{H} \right), \quad \text{при } H \leq 6 \text{ м}, \quad (29)$$

где h - высота рабочей зоны, м;

H - высота помещения, м.

Определяется высота рабочей зоны

$$h = h_{\text{пл}} + 1,7 - 0,5\delta, \quad (30)$$

где $h_{\text{пл}}$ - высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения, м;

δ - разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м.

Следует иметь в виду, что наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на более высокой отметке. Поэтому, например, при определении необходимого времени эвакуации людей из партера зрительного зала с наклонным полом значение h следует находить, ориентируясь на наиболее высоко расположенные ряды кресел.

Параметры A и n вычисляют так:

для случая горения жидкости с установившейся скоростью

$$A = \psi_F \cdot F, \quad n = 1,$$

где ψ_F - удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг·м⁻²·с⁻¹;

для кругового распространения пожара

$$A = 1,05 \psi_F \cdot v^2, \quad n = 3,$$

где v - линейная скорость распространения пламени, м·с⁻¹;

для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени (например распространение огня в горизонтальном направлении по занавесу после охвата его пламенем по всей высоте)

$$A = \psi_F \cdot v \cdot b, \quad n = 2,$$

где b - перпендикулярный к направлению движения пламени размер зоны горения, м.

При отсутствии специальных требований значения α и E принимаются равными 0,3 и 50 лк соответственно, а значение $l_{\text{пр}} = 20$ м.

Исходные данные для проведения расчетов могут быть взяты из справочной литературы.

Из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара выбирается минимальное

$$t_{\text{кр}} = \min \{ t_{\text{кр}}^T, t_{\text{кр}}^{\text{п.в}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{TГ}} \}. \quad (31)$$

Необходимое время эвакуации людей ($t_{\text{жб}}$), мин, из рассматриваемого помещения рассчитывают по формуле

$$t_{\text{жб}} = \frac{0,8t_{\text{кр}}}{60}. \quad (32)$$

При расположении людей на различных по высоте площадках необходимое время эвакуации следует определять для каждой площадки.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. Если рассчитать свободный объем невозможно, допускается принимать его равным 80% геометрического объема.

При наличии в здании незадымляемых лестничных клеток, вероятность Q_B для людей, находящихся в помещениях, расположенных выше этажа пожара, вычисляют по формуле

$$Q = Q_{\text{п}}(1 - P_{\text{п.з}}). \quad (33)$$

2.6. Вероятность эвакуации людей $P_{\text{п.з}}$ по наружным эвакуационным лестницам и другими путями эвакуации принимают равной 0,05 - в жилых зданиях; 0,03 - в остальных при наличии таких путей; 0,001 - при их отсутствии.

2.7. Вероятность эффективного срабатывания противопожарной защиты $P_{\text{п.з}}$ вычисляют по формуле

$$P_{\text{п.з}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i), \quad (34)$$

где n - число технических решений противопожарной защиты в здании;

R_i - вероятность эффективного срабатывания i -го технического решения.

2.8. Для эксплуатируемых зданий (сооружений) вероятность воздействия ОФП на людей допускается проверять окончательно с использованием статистических данных по формуле

$$Q_{\text{в}} = \frac{n}{T} \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{N_0}, \quad (35)$$

где n - коэффициент, учитывающий пострадавших людей;

T - рассматриваемый период эксплуатации однотипных зданий (сооружений), год;

$M_{\text{ж}}$ - число жертв пожара в рассматриваемой группе зданий (сооружений) за период;

N_0 - общее число людей, находящихся в зданиях (сооружениях).

Однотипными считают здания (сооружения) с одинаковой категорией пожарной опасности, одинакового функционального назначения и с близкими основными параметрами: геометрическими размерами, конструктивными характеристиками, количеством горючей нагрузки, вместимостью (числом людей в здании), производственными мощностями.

3. Оценка уровня обеспечения безопасности людей

3.1. Для проектируемых зданий (сооружений) вероятность первоначально оценивают по (3) при P_3 , равной нулю. Если при этом выполняется условие

$Q_{\text{в}} \leq Q_{\text{в}}^{\text{н}}$, то безопасность людей в зданиях (сооружениях) обеспечена на требуемом уровне системой предотвращения пожара. Если это условие не выполняется, то расчет вероятности взаимодействия* ОФП на людей $Q_{\text{в}}$ следует производить по расчетным зависимостям, приведенным в разд.2.

* Текст документа соответствует оригиналу.- Примечание изготовителя базы данных.

3.2. Допускается уровень обеспечения безопасности людей в зданиях (сооружениях) оценивать по вероятности $Q_{\text{в}}$ в одном или нескольких помещениях, наиболее удаленных от выходов в безопасную зону (например верхние этажи многоэтажных зданий).