

## Типовой расчет времени эвакуации людей при пожаре

### ОБЪЕКТ: Гипермаркет «Реал»

#### Входные параметры:

Принимаем пожароопасные свойства пожарной нагрузки в торговом зале эквивалентным текстильным изделиям

- $t_0 := 20$  - начальная температура воздуха в помещении, °С;  
 $Q := 16.7$  - низшая теплота сгорания материала, МДж·кг<sup>-1</sup>;  
 $C_p := 0.001068$  - удельная изобарная теплоемкость газа МДж/кг·Ж;  
 $\phi := 0.6$  - коэффициент теплопотерь;  
 $\eta := 0.95$  - коэффициент полноты горения;  
 $V := 99373$  - свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  
 $\alpha := 0.3$  - коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;  
 $E := 50$  - начальная освещенность, лк;  
 $l_{пр} := 20$  - предельная дальность видимости в дыму, м;  
 $D_m := 60.6$  - дымообразующая способность горящего материала, Нп·м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>;  
 $L_{co2} := 0.879$  - удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала, кг·кг<sup>-1</sup>;  
 $L_{co} := 0.0626$   
 $L_{hcl} := 0.0037$   
 $X_{hcl} := 23 \cdot 10^{-6}$  - предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг·м<sup>-3</sup>  
 $X_{co2} := 0.11$  ( $X_{CO_2} = 0,11$  кг·м<sup>-3</sup>;  $X_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3}$  кг·м<sup>-3</sup>;  $X_{HCL} = 23 \cdot 10^{-6}$  кг·м<sup>-3</sup>);  
 $X_{co} := 0.00116$   
 $LO_2 := 2.56$  - удельный расход кислорода, кг·кг<sup>-1</sup>.  
 $h := 1.7$  - высота рабочей зоны, м;  
 $H := 12.6$  - высота помещения, м.  
 $\Psi_f := 0.0244$  - удельная массовая скорость выгорания, кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;  
 $v := 0.0071$  - линейная скорость распространения пламени, м·с<sup>-1</sup>;  
 $n := 3$

$$Z := \frac{h \cdot \exp\left(1.4 \cdot \frac{h}{H}\right)}{H} \quad Z = 0.163$$

$$B := \frac{353 \cdot C_p \cdot V}{(1 - \phi) \cdot \eta \cdot Q} \quad B = 5.904 \times 10^3$$

$$A := 1.05 \Psi_f \cdot v^2 \quad A = 1.292 \times 10^{-6}$$

Рассчитаем необходимое время эвакуации:

$$t_{крТ} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{(70 - t_0)}{(273 + t_0) \cdot Z} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крТ} = 1.485 \times 10^3 \quad t_{гнб} := t_{крТ} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 19.8 \quad (\text{мин})$$

$$t_{крпв} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot \ln(1.05 \cdot \alpha \cdot E)}{\ln p \cdot B \cdot Dm \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крпв} = 1.07 \times 10^3 \quad t_{гнб} := t_{крпв} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 14.263 \quad (\text{мин})$$

$$t_{кр0_2} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left[ 1 - \frac{0.044}{\left( B \cdot \frac{LO_2}{V} + 0.27 \right) \cdot Z} \right]} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{кр0_2} = 1.671 \times 10^3 \quad t_{гнб} := t_{кр0_2} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 22.28 \quad (\text{мин})$$

$$t_{крсо2} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot X_{со2}}{B \cdot L_{со2} \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крсо2} = 1.935 \times 10^3 + 1.789i \times 10^3 \quad \text{фактор не опасен, под знаком логарифма отрицательное число}$$

$$t_{крсо} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot X_{со}}{B \cdot L_{со} \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крсо} = 2.117 \times 10^3 + 1.195i \times 10^3 \quad \text{фактор не опасен, под знаком логарифма отрицательное число}$$

$$t_{крhcl} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot X_{hcl}}{B \cdot L_{hcl} \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крhcl} = 1.675 \times 10^3 \quad t_{гнб} := t_{крhcl} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 22.328 \quad (\text{мин})$$

В результате необходимое время эвакуации равно 14,26 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 в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91\*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

При расчете весь путь движения людского потока разделяется на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной  $l_i$  и шириной  $\delta_i$ . 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 в соответствии архитектурно-строительными решениями, представленными Заказчиком. 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 ( $t_p$ ) определяется как сумма времени движения людского потока по отдельным участкам пути  $t_i$  по формуле:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i,$$

где  $t_1$  - время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин;

$t_2, t_3, \dots, t_i$  - время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути ( $t_1$ ), мин, вычисляется по формуле:

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1},$$

где  $l_1$  - длина первого участка пути, м;

$v_1$ , - значение скорости движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, определяется по таблице 1.1 в зависимости от плотности людского потока  $D$ , м/мин.

Плотность людского потока ( $D_1$ ) на первом участке пути, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, вычисляется по формуле:

$$D_1 = \frac{N_1 f}{l_1 \delta_1},$$

где  $N_1$  - число людей на первом участке, чел.;

$f$  - средняя площадь горизонтальной проекции человека, принимаемая равной, м<sup>2</sup>,

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

$\delta_1$ , - ширина первого участка пути, м.

Скорость  $v_1$  движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимается по таблице 1.1 в зависимости от значения интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которое вычисляется для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i},$$

где  $\delta_i, \delta_{i-1}$  - 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 таблице 1.1 по значению  $D_1$ .

Таблица 1.1

Плотность потока $D$ , м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность $q$ , м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость $v$ , м/мин	Интенсивность $q$ , м/мин		Скорость $v$ , м/мин	Интенсивность $q$ , м/мин	Скорость $v$ , м/мин	Интенсивность $q$ , м/мин
1	2	3	4	5	6	7	8
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	15,6	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
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,6
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, равно 8,5 м/мин, установлено для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины  $\delta$  интенсивность движения следует определять по формуле  $q = 2,5 + 3,75\delta$ .

Если значение  $q_i$ , меньше или равно значению  $q_{\max}$ , то время движения по участку пути ( $t_i$ ) в минуту:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}; \quad (1)$$

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, больше  $q_{\max}$ , то ширину  $\delta_i$  данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие:

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (2)$$

При невозможности выполнения данного условия интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути  $i$  определяется по таблице 1.1 при значении  $D=0,9$  и более. При этом должно учитываться время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

При слиянии вначале участка  $i$  двух и более людских потоков (рисунок 1.1) интенсивность движения ( $q_i$ ), м/мин, вычисляется по формуле:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (3)$$

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

$\delta_{i-1}$  - ширина участков пути слияния, м;

$\delta_i$  - ширина рассматриваемого участка пути, м.

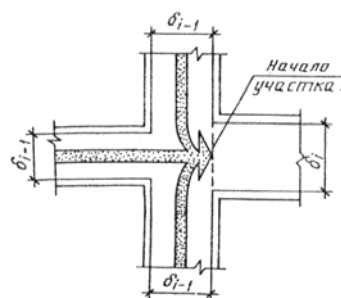


Рисунок 1.1 Слияние людских потоков

Если значение  $q_i$ , определенное по формуле (3), больше  $q_{\max}$ , то ширину  $\delta_i$  данного участка пути следует увеличивать на такую величину, чтобы соблюдалось

условие (2). В этом случае время движения по участку  $i$  определяется по формуле (1).

### Расчет фактического времени эвакуации

Расчетное время эвакуации определяется в следующей последовательности:

- 1) определяется наиболее длинный эвакуационный путь;
- 2) определяются параметры движения людского потока;
- 3) суммируется время движения по каждому участку;

Площадь для расчета числа людей одновременно находящихся в торговом зале принимается из расчета  $1,35 \text{ м}^2$  на человека.

При расчетах блокировался выход в осях 16-17 / Э/А-Ю/А.

Эвакуация потока людей осуществлялась через выход в осях 1-2 /У/А-Ф/А из наиболее удаленной от выходов точки торгового зала в осях 13/ Ц/А.

Схема движения потоков приведена в приложении 1.

$i$	Номер участка,	Длина участка	Ширина участка	Количество людей на $i$ участке $N$ , чел.	Плотность потока $D$ на участке	Интенсивность движения людского потока $q$ , м/мин	Скорость движения людского потока $V$ , м/мин	Ширина дверного проема, м	Время задержки, мин.	Время прохождения участка $t$ , мин
1		68	3	1413	0.69	16.1	24			2.89
2		8	1.7	1413	-	13.5	15		3.24	3.77
3		0	3	1413	-	7.7	15	3	0	0.10
4		3	2.5	1413	-	9.2	74		0	0.04
5		3	2.5	1413	-	9.2	95			0.03
ИТОГ										10,07

Приведем расчет необходимого времени эвакуации со 2-го этажа здания ТК «Солнечный»

Входные параметры:

- A -размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, кг·с<sup>-1</sup>;
- B -размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг;
- z -безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения;

Принимаем пожароопасные свойства пожарной нагрузки в торговом зале эквивалентным текстильным изделиям

- t<sub>0</sub> := 20 -начальная температура воздуха в помещении, °С;
- Q := 16.7 - низшая теплота сгорания материала, МДж·кг<sup>-1</sup>;
- C<sub>p</sub> := 0.00106 -удельная изобарная теплоемкость газа МДж/кг·Ж;
- φ := 0.6 - коэффициент теплопотерь;
- η := 0.95 - коэффициент полноты горения;
- V := 5967 - свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;
- α := 0.3 -коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;
- E := 50 - начальная освещенность, лк;
- l<sub>пр</sub> := 20 - предельная дальность видимости в дыму, м;
- D<sub>m</sub> := 60.6 - дымообразующая способность горящего материала, Нп·м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>;
- L<sub>co2</sub> := 0.876 - удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала, кг·кг<sup>-1</sup>;
- L<sub>co</sub> := 0.0626
- L<sub>hcl</sub> := 0.0037
- X<sub>hcl</sub> := 23·10<sup>-6</sup>
- X<sub>co2</sub> := 0.11 - предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг·м<sup>-3</sup>  
(X<sub>CO2</sub> = 0,11 кг·м<sup>-3</sup>; X<sub>CO</sub> = 1,16·10<sup>-3</sup> кг·м<sup>-3</sup>; X<sub>HCL</sub> = 23·10<sup>-6</sup> кг·м<sup>-3</sup>);
- X<sub>co</sub> := 0.00116
- LO<sub>2</sub> := 2.56 - удельный расход кислорода, кг·кг<sup>-1</sup>.
- h := 1.7 - высота рабочей зоны, м;
- H := 3.7 - высота помещения, м.
- ψ<sub>f</sub> := 0.0244 - удельная массовая скорость выгорания, кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;
- v := 0.0071 - линейная скорость распространения пламени, м·с<sup>-1</sup>;
- n := 3

$$Z := \frac{h \cdot \exp\left(1.4 \frac{h}{H}\right)}{H} \quad Z = 0.874$$

$$B := \frac{353 \cdot C_p \cdot V}{(1 - \phi) \cdot \eta \cdot Q} \quad B = 354.488$$

$$A := 1.05 \psi_f \cdot v^2 \quad A = 1.292 \times 10^{-6}$$

Проведем расчет времени наступления опасных факторов пожара:

$$t_{крт} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{(70 - t_0)}{(273 + t_0) \cdot Z} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крт} = 365.793 \quad t_{гнб} := t_{крт} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 4.877 \text{ (мин)}$$

$$t_{крпв} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot \ln(1.05 \cdot \alpha \cdot E)}{\ln p \cdot B \cdot Dm \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крпв} = 230.791 \quad t_{гнб} := t_{крпв} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 3.077 \text{ (мин)}$$

$$t_{кр0_2} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left[ 1 - \frac{0.044}{\left( B \cdot \frac{LO_2}{V} + 0.27 \right) \cdot Z} \right]} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{кр0_2} = 326.647 \quad t_{гнб} := t_{кр0_2} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 4.355 \text{ (мин)}$$

$$t_{крсо2} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot X_{со2}}{B \cdot L_{со2} \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крсо2} = 808.085 + 506.498i \quad \text{фактор не опасен, под знаком логарифма отрицательное число}$$

$$t_{крсо} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot X_{со}}{B \cdot L_{со} \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крсо} = 494.785 \quad t_{гнб} := t_{крсо} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 6.597 \text{ (мин)}$$

$$t_{крhcl} := \left[ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{V \cdot X_{hcl}}{B \cdot L_{hcl} \cdot Z} \right)} \right] \right]^{\frac{1}{n}} \quad t_{крhcl} = 327.082 \quad t_{гнб} := t_{крhcl} \cdot \frac{0.8}{60} \quad t_{гнб} = 4.361 \text{ (мин)}$$

В итоге необходимое время эвакуации составляет 3,077 мин.



## Расчет фактического времени эвакуации со 2-го этажа здания

$N1 := 112$  Число людей на первом участке, чел

$f := 0.1$  Средняя площадь проекции человека, кв.м

$\delta1 := 1.8$  ширина первого участка пути, м

$l1 := 24$  длина первого участка пути, м

$$D1 := \frac{N1 \cdot f}{\delta1 \cdot l1} \quad D1 = 0.259 \quad \text{плотность потока} \quad v1 := 52 \left( \frac{\text{м}}{\text{мин}} \right)$$

$$t1 := \frac{l1}{v1} \quad t1 = 0.462 \text{ (мин)}$$

$q1 := 13.5$      $\delta2 := 6$

$$q2 := \frac{3 \cdot q1 \cdot \delta1}{\delta2} \quad q2 = 12.15 \quad v2 := 60 \left( \frac{\text{м}}{\text{мин}} \right) \quad l2 := 24$$

$$t2 := \frac{l2}{v2} \quad t2 = 0.4 \quad t1 + t2 = 0.862 \text{ (мин)} \quad \text{Время движения до выхода из участков 1 и 2}$$

$$\delta3 := 2.5 \quad q3 := \frac{q2 \cdot \delta2}{\delta3} \quad q3 = 29.16$$

$$t_{\text{кор}} := 336 \cdot 0.1 \cdot \left( \frac{1}{16.5 \cdot \delta3} - \frac{1}{q2 \cdot \delta2} \right) \quad t_{\text{кор}} = 0.354 \quad \text{Время задержки в коридоре}$$

$$t_{\text{кор}} := \frac{4.5}{15} \quad t_{\text{кор}} = 0.3$$

$\delta_{\text{дв}} := 1.45$

$$t_{\text{здв}} := 336 \cdot 0.1 \cdot \left( \frac{1}{19.6 \cdot \delta_{\text{дв}}} - \frac{1}{q3 \cdot \delta3} \right) \quad t_{\text{здв}} = 0.721$$

Итоговое время эвакуации – 2,237 мин.

$$t_{\text{итог}} := t1 + t2 + t_{\text{кор}} + t_{\text{кор}} + t_{\text{здв}} \quad t_{\text{итог}} = 2.237 \text{ (мин.)}$$

Проведем сравнительный расчет времени эвакуации для ширины дверного проема равного ширине лестничного марша 1,15 м.

$\delta_{\text{дв}} := 1.15$  Ширина дверного проема выхода с этажа №2

$$t_{\text{здв}} := 336 \cdot 0.1 \cdot \left( \frac{1}{19.6 \cdot \delta_{\text{дв}}} - \frac{1}{q3 \cdot \delta3} \right) \quad t_{\text{здв}} = 1.03$$

$$t_{\text{итог}} := t1 + t2 + t_{\text{кор}} + t_{\text{кор}} + t_{\text{здв}} \quad t_{\text{итог}} = 2.545 \text{ (мин.)}$$

Итоговое время эвакуации при ширине дверного проема 1,15м – 2,545 мин, что меньше необходимого времени эвакуации(3,077 мин).

**Вывод:** Безопасная эвакуация обеспечивается.