

МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА “ЗНАК ПОЧЕТА”
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ.

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ВНИИПО МВД СССР
Д. И. Юрченко

29 сентября 1989 г.

РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО ВРЕМЕНИ
ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ПОМЕЩЕНИЙ
ПРИ ПОЖАРЕ

РЕКОМЕНДАЦИИ

МОСКВА 1989

Расчет необходимого времени эвакуации людей из помещений при пожаре: Рекомендации. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989.

Изложен порядок расчета необходимого времени, эвакуации людей из помещений различного назначения при возникновении в них пожара.

При решении задачи учитывались следующие опасные факторы пожара: повышенная температура среды; дым, приводящий к потере видимости; токсичные газы; пониженная концентрация кислорода. Определение необходимого времени эвакуации производилось по условию достижения одним из этих факторов предельно допустимого для человека значения.

Предназначены для инженерно-технических работников пожарной охраны, преподавателей, слушателей пожарно-технических учебных заведений, сотрудников научно-исследовательских, проектно-конструкторских, строительных организаций и учреждений.

Табл. 4, прил.1, библиогр.: 4 назв.

Рекомендации разработаны сотрудниками ВНИИПО МВД СССР Т. Г. Меркушкиной, Ю. С. Зотовым и В. Н. Тимошенко.

ВВЕДЕНИЕ

Характерная особенность современного строительства - увеличение количества зданий с массовым пребыванием людей. К их числу можно отнести крытые культурно-спортивные комплексы, кинотеатры, клубы, магазины, производственные здания и т.д. Пожары в таких помещениях нередко сопровождаются травмированием и гибелью людей. В первую очередь это относится к быстроразвивающимся пожарам, представляющим реальную опасность для человека уже через несколько минут после их возникновения и отличающимся интенсивным воздействием на людей опасных факторов пожара (МП). Наиболее надежный способ обеспечения безопасности людей в таких условиях - своевременная эвакуация из помещения, в котором возник пожар.

В соответствии с ГОСТ 12.1.004-85. ССБТ. "Пожарная безопасность. Общие требования", каждый объект должен иметь такое объемно-планировочное и техническое исполнение, чтобы эвакуация людей из помещения была завершена до момента достижения ОФП предельно допустимых значений. В связи с этим количество, размеры и конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов определяются в зависимости от необходимого времени эвакуации, т.е. времени, в течение которого люди должны покинуть помещение, не подвергаясь опасному для

жизни и здоровья воздействию пожара /1/. Данные по необходимому времени эвакуации являются также исходной информацией для расчета уровня обеспечения безопасности людей при пожарах в зданиях. Неверное определение необходимого времени эвакуации может привести к принятию неправильных проектных решений и увеличению стоимости зданий или к недостаточному обеспечению безопасности людей в случае возникновения пожара.

В соответствии с рекомендациями работы /1/, необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Под критической продолжительностью пожара подразумевается время, по истечении которого возникает опасная ситуация вследствие достижения одним из ОФП предельно допустимого для человека значения. При этом предполагается, что каждый опасный фактор воздействует на человека независимо от других, так как комплексное воздействие изменяющихся во времени различных качественных и количественных сочетаний МП, характерных для начального периода развития пожара, оценить в настоящее время не представляется возможным. Коэффициент безопасности учитывает возможную погрешность при решении поставленной задачи. Он принимается равным 0,8 /1/.

Таким образом, для определения необходимого времени эвакуации людей из помещения нужно знать динамику МП в зоне пребывания людей (рабочей зоне) и предельно допустимые для человека значения каждого из них. К числу ОФП, которые представляют наибольшую опасность для людей в помещении в начальный период быстроразвивающегося пожара, могут быть отнесены: повышенная температура среды; дым, приводящий к потере видимости; токсичные продукты горения; пониженная концентрация кислорода.

Методика расчета необходимого времени эвакуации, изложенная в настоящих рекомендациях, разработана на основе проведенных во ВНИИПО МВД СССР теоретических и экспериментальных исследований динамики ОФП, действующих на критической для человека стадии пожара в помещениях различного назначения. В качестве предельно допустимых для людей уровней ОФП использовались значения, полученные в результате медико-биологических исследований воздействия на человека различных опасных факторов.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Рекомендации предназначены для расчета необходимого времени эвакуации людей из помещений различного назначения, в которых возникает пожар. Расчетные формулы получены с учетом следующих допущений:

- через открытые проемы происходит только вытеснение газа из помещения;
- абсолютное давление газа в помещении при пожаре не изменяется;
- отношение теплотерь в строительные конструкции к тепловой мощности очага пожара постоянно во времени;
- свойства среды и удельные характеристики горящего при пожаре материала (низшая рабочая теплота сгорания, дымообразующая способность, удельный выход токсичных газов и т.д.) постоянны;
- зависимость выгоревшей массы материала от времени представляет собой степенную функцию.

Предлагаемая методика применима для расчета необходимого времени эвакуации при быстроразвивающихся пожарах в помещениях со средним за рассматриваемый период темпом увеличения температуры среды более $30 \text{ град} \cdot \text{мин}^{-1}$. Такие пожары характеризуются наличием пристенных циркуляционных струй и отсутствием четкой границы слоя дыма. Использование расчетных формул для пожаров с меньшим темпом роста температуры приведет к занижению величины необходимого времени эвакуации, т.е. к увеличению запаса надежности при решении задачи.

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕОБХОДИМОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ПОЖАРЕ

2.1. Общий порядок расчета

На основе анализа проектного решения объекта определяются геометрические размеры помещения и высота рабочих зон. Рассчитывается свободный объем помещения, который равен разности между геометрическим объемом помещения и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. Если рассчитать свободный объем невозможно, то допускается принимать его равным 80 % геометрического объема [2].

Далее выбираются расчетные схемы развития пожара, которые характеризуются видом горючего вещества или материала и направлением возможного распространения пламени. При выборе расчетных схем развития пожара следует ориентироваться прежде всего на наличие легковоспламеняющихся и горючих веществ и материалов, быстрое и интенсивное горение которых не может быть ликвидировано силами находящихся в помещении людей. К таким веществам и материалам относятся: легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, разрыхленные волокнистые материалы (хлопок, лен, угары и т.д.), развешенные ткани (например, занавесы в театрах или кинотеатрах), декорации в зрелищных предприятиях, бумага, древесная стружка, некоторые виды полимерных материалов (например, мягкий пенополиуретан, оргстекло) и т.д.

Для каждой из выбранных схем развития пожара рассчитывается критическая для человека продолжительность пожара по следующим факторам: повышенной температуре $t_{крj}^T$; потере видимости в дыму $t_{крj}^{ПВ}$; токсичным газам $t_{крj}^{ТГ}$; пониженному содержанию кислорода $t_{крj}^{O_2}$. Полученные значения сравниваются между собой и из них выбирается минимальное, которое и является критической продолжительностью пожара по j-й расчетной схеме.

Затем определяется наиболее опасная схема развития пожара в данном помещении. С этой целью по каждой из схем рассчитывается количество выгоревшего к моменту $t_{крj}$ материала m_j и сравнивается с общим количеством данного материала M_j , которое может быть охвачено пожаром по рассматриваемой схеме. Расчетные схемы, при которых $m_j > M_j$, исключаются из дальнейшего анализа. Из оставшихся расчетных схем выбирается наиболее опасная схема развития пожара, при которой критическая продолжительность пожара минимальна.

Полученное значение $t_{кр}$ принимается в качестве критической продолжительности пожара для рассматриваемого помещения.

По значению $t_{кр}$ определяется необходимое время эвакуации людей из данного помещения.

2.1.1. Определение геометрических характеристик помещения

К используемым в расчете геометрическим характеристикам помещения относятся его геометрический объем, приведенная высота H и высота каждой из рабочих зон h .

Геометрический объем определяется на основе размеров и конфигурации помещения. Приведенная высота находится, как отношение геометрического объема к площади горизонтальной проекции помещения. Высота рабочей зоны рассчитывается следующим образом:

$$h = h_{отм} + 1,7 - 0,5\delta$$

где $h_{отм}$ - высота отметки зоны нахождения людей над полом помещения, м; δ - разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м.

Следует иметь в виду, что максимальной опасности при пожаре подвергаются люди,

находящиеся на уровне более высокой отметки. Так, при определении необходимого времени эвакуации людей из партера зрительного зала с наклонным полом значение h для партера нужно вычислять, ориентируясь на удаленные от сцены (расположенные на наиболее высокой отметке) ряды кресел.

2.1.2. Выбор расчетных схем развития пожара

Время возникновения опасных для человека ситуаций при пожаре в помещении зависит от вида горючих веществ и материалов и площади горения, которая, в свою очередь, обуславливается свойствами самих материалов, а также способом их укладки и разрешения. Каждая расчетная схема развития пожара в помещении характеризуется значениями двух параметров A и n , которые зависят от формы поверхности горения, характеристик горючих веществ и материалов и определяются следующим образом.

1. Для горения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, разлитых на площади F :

при горении жидкости с установившейся скоростью (характерно для легкоиспаряющихся жидкостей)

$$A = \psi \cdot F; n = 1$$

где ψ - удельная установившаяся массовая скорость выгорания жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;
при горении жидкости с неустановившейся скоростью

$$A = 0,67 \cdot \psi \cdot F \cdot \sqrt{\tau_{cm}}, n = 1,5, \quad (1)$$

где τ_{cm} - время установления стационарного режима выгорания жидкости, с.

2. Для кругового распространения пламени по поверхности равномерно распределенного в горизонтальной плоскости горючего материала

$$A = 1,05 \cdot \psi \cdot V^2, n = 3, \quad (2)$$

где V - линейная скорость распространения пламени по поверхности горючего материала, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

3. Для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени (например, горизонтальное напряжение огня по занавесу после охвата его пламенем по всей высоте)

$$A = \psi \cdot V \cdot b, n = 2, \quad (3)$$

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

4. Для вертикальной поверхности горения, имеющей форму прямоугольника (горение занавеса, одиночных декораций, горючих отделочных или облицовочных материалов стен при воспламенении снизу до момента достижения пламенем верхнего края материала)

$$A = 0,667 \cdot \psi \cdot V_{\Gamma} \cdot V_B, n = 3, \quad (4)$$

где V_{Γ} и V_B - средние значения горизонтальной и вертикальной скорости распространения пламени по поверхности материала, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

5. Для поверхности горения, имеющей форму цилиндра (горение пакета декораций или тканей, размещенных с некоторым зазором) $A = 2,09 \cdot \psi \cdot V_{\Gamma} \cdot V_B, n = 3$.

Каждой рассматриваемой расчетной схеме присваивается порядковый номер (индекс j).

2.1.3. Определение критической продолжительности пожара для выбранной схемы его развития

Расчет $t_{кр j}$ производится в следующей последовательности. Сначала находится значение комплекса B

$$B = f(V, Q)$$

где Q - низшая теплота сгорания материала, охваченного пламенем (при рассматриваемой схеме), МДж·кг⁻¹; V - свободный объем помещения, м³.

Затем рассчитывается параметр по формуле

$$z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right).$$

Далее определяется критическая продолжительность пожара для данной j -й схемы развития по каждому из опасных факторов:

а) повышенной температуре

$$t_{кр j}^T = \left\{ \frac{B}{A_j} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0) \cdot z} \right] \right\}^{1/n_j},$$

где t_0 - начальная температура в помещении, °С;

б) потере видимости

$$t_{кр j}^{ПВ} = \left\{ \frac{B}{A_j} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{20 \cdot B \cdot D \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n_j},$$

где α - коэффициент отражения (альбеда) предметов на путях эвакуации; E - начальная освещенность путей эвакуации, лк; D - дымообразующая способность горящего материала, Нп·м²·кг⁻¹;

в) пониженному содержанию кислорода

$$t_{кр j}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A_j} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n_j},$$

где L_{O_2} - расход кислорода на сгорание 1 кг горящего материала, кг·кг⁻¹

г) каждому из газообразных токсичных продуктов горения

$$t_{кр j}^{ПГ} = \left\{ \frac{B}{A_j} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \cdot x}{B \cdot L \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n_j},$$

где x - предельно допустимое содержание данного газа в атмосфере помещения, кг·м⁻³ ($x_{CO_2} = 0,11$ кг·м⁻³; $x_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг·м⁻³; $x_{HCl} = 23 \cdot 10^{-6}$ кг·м⁻³ [3].

Определяется критическая продолжительность пожара для данной расчетной схемы

$$t_{кр j} = \min \{ t_{кр j}^T, t_{кр j}^{ПВ}, t_{кр j}^{O_2}, t_{кр j}^{ПГ} \},$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ - индекс токсичного продукта горения.

При отсутствии специальных требований значения α и E принимаются равными

соответственно 0,3 и 50 лк.

2.1.4. Определение наиболее опасной схемы развития пожара в помещении

После расчета критической продолжительности пожара для каждой из выбранных схем его развития находится количество выгоревшего к моменту $t_{кр j}$ материала

$$m_j = A_j \cdot t_{кр j}^{n_j}.$$

Каждое значение в рассматриваемой j-й схеме сравнивается с показателем M_j . Расчетные схемы, при которых $m_j > M_j$, как уже отмечалось, исключаются из дальнейшего рассмотрения. Из оставшихся расчетных схем выбирается наиболее опасная, т.е. та, для которой критическая продолжительность минимальна $t_{кр} = \min\{t_{кр j}\}$.

Полученное значение $t_{кр}$ является критической продолжительностью пожара для данной рабочей зоны в рассматриваемом помещении.

2.1.5. Определение необходимого времени эвакуации

Необходимое время эвакуации людей из данной рабочей зоны рассматриваемого помещения рассчитывается по формуле:

$$t_{нб} = \kappa_б \cdot t_{кр},$$

где $\kappa_б$ - коэффициент безопасности, $\kappa_б = 0,8$.

Исходные данные для расчетов могут быть взяты из табл. [1-4](#) приложения или из справочной литературы.

2.2. Примеры расчета

Пример 1. Определить необходимое время эвакуации людей из зрительного зала кинотеатра. Длина зала равна 25 м, ширина - 20 м. Высота зала со стороны сцены - 12 м, с противоположной стороны - 9 м. Длина горизонтального участка пола у сцены на нулевой отметке равна 7 м. Балкон зрительного зала расположен на высоте 7 м от нулевой отметки. Занавес массой 50 кг выполнен из ткани со следующими характеристиками: $Q = 13,8 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$; $D = 50 \text{ Нп} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$; $L_{O_2} = 1,03 \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$; $L_{CO_2} = 0,203 \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$; $L_{CO} = 0,0022 \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$; $\psi = 0,0115 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; $V_B = 0,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; $V_T = 0,013 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Обивка кресел - пенополиуретан, обтянутый дерматином. Начальная температура в зале равна 25 °С, начальная освещенность - 40 лк, объем предметов и оборудования - 200 м³.

1. Определяем геометрические характеристики помещения.

Геометрический объем равен

$$20 \cdot [12 \cdot 25 - 0,5 \cdot (25 - 7) \cdot 3] = 5460 \text{ м}^3.$$

Приведенная высота H определяется, как отношение геометрического объема к площади горизонтальной проекции помещения

$$H = \frac{5460}{20 \cdot 25} = 10,9 \text{ м}.$$

Помещение содержит две рабочие зоны: партер и балкон. В соответствии с указаниями, приведенными в разделе ([2.1.1](#)), находим высоту каждой рабочей зоны

для партера $h = 3 + 1,7 - 0,5 - 3 = 3,2 \text{ м}$;

для балкона $h = 7 + 1,7 - 0,5 - 3 = 7,2 \text{ м}$.

Свободный объем помещения $V = 5460 - 200 = 5260 \text{ м}^3$.

2. Выбираем расчетные схемы пожара. Принципиально возможны два варианта возникновения и распространения пожара в данном помещении: по занавесу и по рядам кресел. Однако загорание дерматиновой обивки кресла от малокалорийного источника трудноосуществимо и может быть легко ликвидировано силами находящихся в зале

людей.

Следовательно, вторая схема практически нереальна и отпадает.

По формуле (4) находим

$$A = 0,667 - 0,0115 - 0,013 - 0,3 = 2,99 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3}; n = 3.$$

3. Определяем $t_{кр}$ при $\alpha = 0,3$, $B = 351$ кг.

Параметр z находим для двух рабочих зон:

$$\text{для балкона} \quad z = \exp\left(1,4 \cdot \frac{7,2}{10,9}\right) \cdot \frac{7,2}{10,9} = 1,67;$$

$$\text{для партера} \quad z = \frac{3,2}{10,9} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{3,2}{10,9}\right) = 0,443$$

Последующие расчеты $t_{кр}$ проводим для каждой из рабочих зон.

Для балкона:

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - 25}{(273 + 25) \cdot 1,67} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} = 101 \text{ с};$$

$$t_{кр}^{ПВ} = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{5620 \cdot \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 40)}{20 \cdot 351 \cdot 50 \cdot 1,67} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = 65 \text{ с};$$

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,44}{\left(\frac{351 \cdot 1,03}{5260} + 0,27 \right) \cdot 1,67} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = 99 \text{ с};$$

$$t_{кр}^{CO_2} = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{5260 \cdot 0,11}{351 \cdot 0,203 \cdot 1,67} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = \{ 1,17 \cdot 10^7 \cdot \ln(1 - 4,86)^{-1} \}^{\frac{1}{3}}$$

(отрицательное число под знаком логарифма означает, что диоксид углерода в данном случае не представляет для человека опасность и в расчет не берется);

$$t_{кр}^{CO} = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{5260 \cdot 0,16 \cdot 10^{-3}}{351 \cdot 0,0022 \cdot 1,67} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = \{ 1,17 \cdot 10^7 \cdot \ln(1 - 4,73)^{-1} \}^{\frac{1}{3}}$$

(оксид углерода также не опасен).

Следовательно, для балкона $t_{кр} = \min\{101, 65, 99\} = 65 \text{ с}$.

Аналогичный расчет производим и для партера:

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - 25}{(273 + 25) \cdot 0,443} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} = 151 \text{ с};$$

$$t_{кр}^{ПВ} = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{5620 \cdot \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 40)}{20 \cdot 351 \cdot 50 \cdot 0,443} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = 102 \text{ с};$$

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{351}{2,99 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{351 \cdot 1,03}{5260} + 0,27 \right) \cdot 0,443} \right] \right\}^{-1}^{\frac{1}{3}} = 160 \text{ с};$$

Значение z для партера меньше, чем для балкона. Следовательно, выделение токсичных продуктов горения не будет опасным для человека и в этой рабочей зоне. Тогда для партера $t_{кр} = \{151, 102, 160\} = 102 \text{ с}$.

4. Проверяем, опасна ли выбранная расчетная схема

для балкона $m = 2,99 \cdot 10^{-5} (65)^3 = 8,2 \text{ кг} < 50 \text{ кг}$;

для партера $m = 2,99 \cdot 10^{-5} \cdot (102)^3 = 31,7 \text{ кг} < 50 \text{ кг}$.

Следовательно, схема опасна для обеих рабочих зон.

5. Определяем необходимое время эвакуации людей

из партера $t_{нб} = 0,8 \cdot 102 = 82 \text{ с} = 1,4 \text{ мин}$;

с балкона $t_{нб} = 0,8 \cdot 65 = 52 \text{ с} = 0,9 \text{ мин}$.

Пример 2. Определить необходимое время эвакуации людей из помещения подготовительного цеха льнокомбината, имеющего размеры $54 \times 212 \times 6 \text{ м}$. Горючий материал (лен) в количестве 1500 кг равномерно разложен на площади $230 \times 18 \text{ м}$, еще 250 кг находятся на ленте транспортера шириной 2 м . Рабочая зона людей расположена на отметке 8 м . Начальные значения температуры и освещенности в помещении соответственно 20°C и 60 лк .

1. Определяем геометрические характеристики помещения:

$H = 6 \text{ м}$; $h = 1,8 + 1,7 + 0,5 \cdot 0 = 3,5 \text{ м}$;

$V = 0,8 \cdot (54 \cdot 212 \cdot 6) = 54950 \text{ м}^3$.

2. Выбираем расчетные схемы развития пожара. Поскольку возможно загорание как складываемого, так и транспортируемого льна, таких схем будет две. Для первой из них по формуле (2) находим

$A_1 = 1,05 \cdot 0,0213 \cdot (0,05)^2 = 5,59 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}$; $n = 3$,

значения ψ и V взяты из приложения.

Соответственно, для второй схемы по формуле (3)

$A_2 = 0,0213 \cdot 0,05 \cdot 2 = 2,13 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}$; $n = 2$.

3. Проводим расчет $t_{кр1}$ и $t_{кр2}$ согласно рекомендациям, содержащимся в разделе 2.1.3. Принимаем $\alpha = 0,3$. Остальные исходные данные берем из условия задачи, а также из приложения, учитывая, что при горении льна наиболее опасными токсичными продуктами горения являются оксид и диоксид углерода.

Определяем $t_{кр1}$, $B = 3227 \text{ кг}$;

Тогда

$$t_{кр1}^T = \left\{ \frac{3327}{5,59 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - 20}{(273 + 20) \cdot 1,32} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} = 191 \text{ с};$$

$$t_{кр1}^{ПВ} = \left\{ \frac{3327}{5,59 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{54950 \cdot \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 60)}{20 \cdot 3327 \cdot 3,37 \cdot 1,32} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = 363 \text{ с};$$

$$t_{кр1}^{O_2} = \left\{ \frac{3327}{5,59 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{3327 \cdot 1,83}{54950} + 0,27 \right) \cdot 1,32} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = 175 \text{ с};$$

$$t_{кр1}^{CO} = \left\{ \frac{3327}{5,59 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{54950 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3}}{3327 \cdot 0,0039 \cdot 1,32} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = \{ 5,77 \cdot 10^7 \cdot \ln(1 - 3,84)^{-1} \}^{\frac{1}{3}}$$

(отрицательное число под знаком логарифма означает, что повышение содержания СО в данном случае не опасно и может не приниматься во внимание);

$$t_{кр1}^{CO_2} = \left\{ \frac{3327}{5,59 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left[1 - \frac{54950 \cdot 0,11}{3327 \cdot 0,36 \cdot 1,32} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} = \{ 5,77 \cdot 10^7 \cdot \ln(1 - 3,94)^{-1} \}^{\frac{1}{3}}$$

(диоксид углерода также не принимается в расчет).

Таким образом $t_{кр} = \{191, 363, 175\} = 175 \text{ с}$.

Определяем $t_{кр2}$. $B = 3227 \text{ кг}$; $z = 1,32$.

Тогда

$$t_{кр2}^T = \left\{ \frac{3327}{2,13 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - 20}{(273 + 20) \cdot 1,32} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} = 429 \text{ с};$$

$$t_{кр2}^{O_2} = \left\{ \frac{3327}{2,13 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{3327 \cdot 1,83}{54950} + 0,27 \right) \cdot 1,32} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{2}} = 374 \text{ с};$$

$$t_{кр2}^{ПВ} = \left\{ \frac{3327}{2,13 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \left[1 - \frac{54950 \cdot \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 60)}{20 \cdot 3327 \cdot 3,37 \cdot 1,32} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{2}} = 1119 \text{ с};$$

Увеличение содержания в атмосфере оксида и диоксида углерода в данном случае также не опасно для человека. Следовательно,

$$t_{кр2} = \min\{429, 374, 1119\} = 374 \text{ с}.$$

4. Определяем m_1 и m_2 следующим образом

$$m_1 = 5,59 \cdot 10^{-5} (175)^3 = 300 \text{ кг};$$

$$m_2 = 2,13 \cdot 10^{-3} (374)^2 = 298 \text{ кг}.$$

Поскольку $m_2 = 298 \text{ кг} > M_2 = 250 \text{ кг}$, вторая схема из рассмотрения исключается. Следовательно, $t_{кр} = t_{кр1} = 175 \text{ с}$.

5. Определяем необходимое время эвакуации людей из помещения $t_{нб} = 0,8 \cdot 175 = 140 \text{ с} = 2,3 \text{ мин}$.

Пример 3. Требуется найти необходимое время эвакуации людей из механообрабатывающего цеха размером $104 \times 72 \times 16,2 \text{ м}$, в котором произошел аварийный разлив и загорание масла на площади 420 м^2 . Люди находятся на нулевой отметке. Время установления стационарного режима выгорания масла 900 с /4/. Характеристики горения масла:

$Q = 41,9 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$; $D = 243 \text{ Нп} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$; $L_{O_2} = 0,282 \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$; $L_{CO_2} = 0,7 \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$; $\psi = 0,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

1. Определяем геометрические характеристики помещения:

$$h = 1,7 \text{ м}; V = 0,8 \cdot 104 \cdot 72 \cdot 16,2 = 97044 \text{ м}^3.$$

2. Для случая нестационарного горения жидкости на постоянной площади по формуле (1) находим:

$$A = 0,67 \cdot \frac{0,03}{\sqrt{900}} \cdot 420 = 0,227; n = 1,5.$$

$$z = \frac{1,7}{16,2} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{1,7}{16,2}\right) = 0,12$$

3. Определяем $t_{кр}$ при $\alpha = 0,3$ и $E = 40$ лк. $B = 2136$ кг;

Тогда

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - 20}{(273 + 20) \cdot 0,12} \right] \right\}^{1/1,5} = 362 \text{ с};$$

$$t_{кр}^{ПВ} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 - \frac{97044 \cdot \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 40)}{20 \cdot 2136 \cdot 243 \cdot 0,12} \right]^{-1} \right\}^{1/1,5} = 135 \text{ с};$$

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{2136 \cdot 0,282}{97044} + 0,27 \right) \cdot 0,12} \right]^{-1} \right\}^{1/1,5} = \{7710 \cdot \ln(-2,6)\}^{1/1,5};$$

$$t_{кр}^{CO_2} = \left\{ \frac{2136}{0,227} \cdot \ln \left[1 - \frac{97044 \cdot 0,11}{2136 \cdot 0,7 \cdot 0,12} \right]^{-1} \right\}^{1/1,5} = \{7710 \cdot \ln(-0,016)\}^{1/1,5};$$

$$t_{кр} = \min\{362, 135\} = 135 \text{ с}.$$

4. Рассчитываем необходимое время эвакуации людей из помещения

$$t_{нб} = 0,8 \cdot 135 = 108 \text{ с} = 1,8 \text{ мин}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ

Исходные данные для проведения расчетов*

Т а б л и ц а 1

Удельная массовая скорость выгорания и низшая теплота сгорания веществ и материалов

*Данные табл. 1-4 взяты из работ [1, 3, 4].

Вещества и материалы	Удельная массовая скорость выгорания $\psi \times 10^3, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	Низшая теплота сгорания $Q, \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$
Бензин	61,7	41870
Ацетон	44,0	28890
Диэтиловый эфир	60,0	33500
Бензол	73,3	38520
Дизельное топливо	42,0	48870
Керосин	48,3	43540
Мазут	34,7	39770
Нефть	28,3	41870
Этиловый спирт	33,0	27200
Турбинное масло (ТП-22)	30,0	41870
Изопропиловый спирт	31,3	30145
Изопентан	10,3	45220

Вещества и материалы	Удельная массовая скорость выгорания $\psi \times 10^3$, $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	Низшая теплота сгорания Q , $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$
Толуол	48,3	41030
Натрий металлический	17,5	10900
Древесина (бруски) $W = 13,7 \%$	39,3	13800
Древесина (мебель в жилых и административных зданиях $W = 8-10 \%$)	14,0	13800
Бумага разрыхленная	8,0	13400
Бумага (книги, журналы)	4,2	13400
Книги на деревянных стеллажах	16,7	13400
Кинопленка триацетатная	9,0	18800
Карболитовые изделия	9,5	26900
Каучук СКС	13,0	43890
Каучук натуральный	19,0	44725
Органическое стекло	16,1	27670
Полистирол	14,4	39000
Резина	11,2	33520
Текстолит	6,7	20900
Пенополиуретан	2,8	24300
Волокно штапельное	6,7	13800
Волокно штапельное в кипах $40 \times 40 \times 40$ см	2,5	13800
Полиэтилен	10,3	47140
Полипропилен	14,5	45670
Хлопок в тюках $\rho = 190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	2,4	16750
Хлопок разрыхленный	21,3	15700
Лен разрыхленный	21,3	15700
Хлопок + капрон (3:1)	12,5	16200

Т а б л и ц а 2

Линейная скорость распространения пламени по поверхности материалов

Материалы	Средняя линейная скорость распространения пламени $V \times 10^2$, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Угары текстильного производства в разрыхленном состоянии	10,0
Корд	1,7
Хлопок разрыхленный	4,2
Лен разрыхленный	5,0
Хлопок + капрон (3:1)	2,8
Древесина в штабелях при различной влажности, в %	
8-12	6,7
16-18	3,8
18-20	2,7
20-30	2,0
более 30	1,7
Подвешенные ворсистые ткани	6,7-10
Текстильные изделия в закрытом складе при загрузке $100 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$	0,6
Бумага в рулонах в закрытом складе при разгрузке $140 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$	0,5
Синтетический каучук в закрытом складе при загрузке свыше $290 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$	0,7
Деревянные покрытия цехов большой площади, деревянные стены и стены, отделанные древесноволокнистыми плитами	2,8-5,3
Соломенные и камышитовые изделия	6,7
Ткани (холст, байка, бязь):	
по горизонтали	1,3
в вертикальном направлении	30
в нормальном направлении к поверхности тканей при расстоянии между ними 0,2 м	4,0

Т а б л и ц а 3

Дымообразующая способность веществ и материалов

Вещества и материалы	Дымообразующая способность D , $\text{Нп} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$
----------------------	---

	Тление	Горение
Бутиловый спирт	-	80
Бензин А-76	-	256
Этилацетат	-	330
Циклогексан	-	470
Толуол	-	562
Дизельное топливо	-	620
Древесина	345	23
Древесное волокно (береза, осина)	323	104
ДСП, ГОСТ 10632-77	760	90
Фанера, ГОСТ 3916-65	700	140
С о с н а	759	145
Береза	756	160
Древесноволокнистая плита (ДВП)	879	130
Линолеум ПВХ, ТУ 21-29-76-79	200	270
Стеклопластик, ТУ 6-11-10-62-81	640	340
Полиэтилен, ГОСТ 16337-70	1290	890
Табак "Юбилейный" 1 сорт, рл. 13 %	240	120
Пенопласт ПВХ-9, СТУ 14-07-41-64	2090	1290
Пенопласт ПС-1-200	2050	1000
Резина, ТУ 38-5-12-06-68	1680	850
Полиэтилен высокого давления (ПЭВФ)	1930	790
Пленка ПВХ марки ПДО-15	640	400
Пленка марки ПДСО-12	820	470
Турбинное масло	-	243
Лен разрыхленный	-	3,37
Ткань вискозная	63	63
Атлас декоративный	32	32
Р е п с	50	50
Ткань мебельная полушерстяная	103	116
Полотно палаточное	57	58

Т а б л и ц а 4

Удельный выход (потребление) газов при горении веществ и материалов

Вещество или материал	Удельный выход (потребление) газов L_i , $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$			
	L_{CO}	L_{CO_2}	L_{O_2}	H_{HCl}
Хлопок	0,0052	0,57	2,3	-
Лен	0,0039	0,36	1,83	-
Хлопок + капрон (3:1)	0,012	1,045	3,55	-
Турбинное масло ТП-22	0,122	0,7	0,282	-
Кабели АВВГ	0,11	-	-	0,023
Кабели АПВГ	0,150	-	-	0,016
Древесина	0,024	1,51	1,15	-
Керосин	0,148	2,92	3,34	-
Древесина, огнезащищенная препаратом СДФ-552	0,12	1,96	1,42	-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ройтман М. Я. Противопожарное нормирование в строительстве. - М.: Стройиздат, 1985. - 590 с.
2. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности: ОНТП 24-86/МВД СССР; Введ. 01.01.87: Взамен СН 463-74. - М.. 1987. - 25 с.
3. Проведение исследований и разработка пособия по определению необходимого времени эвакуации людей из зальных помещений при пожаре: Отчет о НИР/ВНИИПО

МВД СССР; Руководитель Т. Г. Меркушкина. - П.28.Д.024.84; № ГР 01840073434; Инв. № 02860056271. - М.. 1984. - 195 с.

4. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения: Рекомендации. - М.: ВНИИПО МВД СССР. 1988. - 56 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	1
1. Общие положения	2
2. Методика расчета необходимого времени эвакуации людей из помещений при пожаре.....	3
2.1. Общий порядок расчета	3
2.1.1. Определение геометрических характеристик помещения	3
2.1.2. Выбор расчетных схем развития пожара	4
2.1.3. Определение критической продолжительности пожара для выбранной схемы его развития.....	5
2.1.4. Определение наиболее опасной схемы развития пожара в помещении	6
2.1.5. Определение необходимого времени эвакуации.....	6
2.2. Примеры расчета.....	6
Приложение Исходные данные для проведения расчетов	10
Список литературы.....	12