

Лекция №4.

1. Определение критического времени развития пожара для ОФП различной природы.
2. Оценка коэффициента температуры φ .
3. Оценка скорости выгорания в зависимости от режима пожара.

1. На основе формул, связывающих критические значения средних параметров состояния газовой среды в помещении и предельно допустимые значения параметров состояния газовой среды в заданном месте расположения людей, можно определить критическое состояние газовой среды. Например, по формуле:

$$\Phi_{кр} = \Phi_0 + (\Phi_{доп} - \Phi_0) \left[\frac{y}{H} \exp\left(1,4 \frac{y}{H}\right) \right]^{-1} \quad (1)$$

После определения критических параметров различных ОФП по соотношению (1) можно определить и время достижения этого критического значения. Для этого необходимо в выражения, определяющие средние значения параметров газовой среды в зависимости от времени, подставить их критические значения из (1). И тогда время должно соответствовать моменту достижения критических значений, и называется этот промежуток времени критической продолжительностью пожара или КПП.

Например, если взять соотношение, связывающее значение средней температуры со временем:

$$T_m = T_0 \exp\left(\frac{A}{B} t^n\right) \quad (2)$$

разрешить его относительно t и заменить T_m на $T_{кр}$ из (1), то получим:

$$t_{кр}^T = \left[\frac{B}{A} \ln\left(\frac{T_{кр}}{T_0}\right) \right]^{1/n} \quad (3)$$

Аналогично действуя можно получить КПП по каждому из ОФП.

По критическому содержанию кислорода:

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[\frac{\frac{BL_1\eta}{V} + \rho_{0.1}}{\frac{BL_1\eta}{V} + \rho_{1\text{кр}}} \right] \right\}^{1/n} \quad (4)$$

По критическому содержанию токсичного газа:

$$t_{\text{кр}}^{\text{ТГ}} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{(1-\varphi)Q_H^p}{c_p \cdot \rho_0 \cdot T_0 \cdot L_2 \rho_{2 \text{ кр}}}} \right] \right\}^{1/n} \quad (5)$$

По критической задымленности:

$$t_{\text{кр}}^{\text{ДЫМ}} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{\eta(1-\varphi)Q_H^p}{c_p \cdot \rho_0 \cdot T_0 \cdot D^{\mu_{\text{кр}}}}} \right] \right\}^{1/n} \quad (6)$$

Следует отметить, что формулы (3)-(6) можно применять лишь для площадей с небольшими открытыми проемами, если выполняется условие:

$$\Pi = \frac{F_{\text{пр}} \sqrt{H_{\text{пр}} \cdot g}}{V} t_{\text{кр}}^{\text{ОФП}}$$

где $F_{\text{пр}}$ - суммарная площадь открытых проемов; $H_{\text{пр}}$ - высота проемов; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $t_{\text{кр}}^{\text{ОФП}}$ - вычисляется по формулам (3)-(6); V - объем помещения.

В случае, когда $\Pi > 5$, необходимо учитывать поступление свежего воздуха в помещение.

2. Коэффициент теплопотерь представляет собой отношение суммарного теплового потока в ограждения Q_w к скорости тепловыделения в очаге горения $Q_{\text{пож}}$, т.е:

$$\varphi = \frac{Q_w}{Q_{\text{пож}}} \quad (7)$$

Скорость тепловыделения в каждый момент процесса развития пожара вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{пож}} = \eta \psi_{\text{уд}} F_{\Gamma} Q_H^p \quad (8)$$

где F_{Γ} - площадь пожара, м^2 .

Суммарный тепловой поток в ограждения (выполненные из кирпича) при $290^{\circ}\text{K} < T_m < 343^{\circ}\text{K}$ можно рассчитать с помощью эмпирической формулы:

$$Q_w^* = F_w q_0 [a(T_m - T_0) - b_1(T_m - T_0)^2]^{4/3} \quad (9)$$

где q_0 , a , b_1 - размерные эмпирические константы ($q_0 = 4,07 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; $a = 0,8 \text{ К}^{-1}$; $b_1 = 0,0065 \text{ К}^{-2}$; F_w - суммарная площадь поверхности ограждений, м^2).

Радиационный поток тепла от очага горения к ограждающим конструкциям при $F_{\Gamma} \ll F_w$ (что выполняется на начальной стадии развития пожара) можно оценить по формуле:

$$Q_w^{\text{рад}} = EC \left(\frac{T_{\text{пл}}}{100} \right)^4 \omega F_{\text{рад}} \quad (10)$$

где $C = 5,7 \text{ вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ - коэффициент излучения; E - степень черноты пламени; $F_{\text{рад}}$ - площадь поверхности излучения м^2 ; $T_{\text{пл}}$ - температура пламени $^{\circ}\text{К}$; ω - коэффициент, учитывающий ослабление лучистого потока из-за задымления.

Коэффициент ω в начальные моменты равен 1, так как среда еще прозрачна. При больших временах горения он стремится к 0.

Приближенно эту величину можно оценить как:

$$\omega = 1 - \frac{T_m - T_0}{T_{\text{кр}} - T_0} \quad (11)$$

Сложив (9) и (10), а затем поделив на (8), получим после длительных преобразований и осреднения за промежуток времени $0-t_{\text{кр}}$ выражения для определения среднего коэффициента теплопотерь за время осреднения, которое можно записать в виде:

$$\varphi = (1 - \varphi)^{2/3} \Gamma \Phi + \Delta_{\text{рад}} \quad (12)$$

$$\text{где } \Gamma = \frac{\beta (T_{\text{кр}} - T_0)^{2/3}}{(\eta Q_H^p \psi_{\text{уд}} U_{\text{л}}^2 C_p^2 \rho_0^2)^{1/3}};$$

$$\Phi = \frac{F_w}{V_0^{2/3}};$$

$$\beta = 0,6 \frac{q_0 a^{4/3}}{(9\pi)^{1/3}} = 0,595;$$

$$\Delta_{\text{рад}} = \frac{1}{2} EC \frac{\left(\frac{T_{\text{пл}}}{100} \right)^4}{\eta Q_H^p \psi_{\text{уд}}}$$

Безразмерный комплекс Γ характеризует макрокинетику горения ГМ. Безразмерный комплекс Φ - геометрическую форму помещения. Минимальное значение комплекс $\Phi=6$ имеет при кубической форме помещения. Для помещений формы, отличной от кубической, $\Phi > 6$. На начальной стадии развития пожара можно не учитывать площадь проемов.

Безразмерный комплекс $\Delta_{\text{рад}}$ является параметром влияния радиационного теплообмена и представляет собой отношение тепла, теряемого из-за излучения единицей площади поверхности ГМ, охваченной пламенем, к теплу, выделяющемуся на этой единичной площадке вследствие горения. Для большинства горючих материалов значение параметра влияния радиационного обмена составляет малую величину. Например, если горючим материалом является древесина, у которой $T_{\text{пл}} = 10^3 \text{ K}$, $\psi_{\text{уд}} Q_H^p = 4 \cdot 10^5 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, то параметр влияния радиационного теплообмена $\Delta_{\text{рад}} = 0,06$. В дальнейшем мы при оценке величины $\Delta_{\text{рад}}$ будем пользоваться именно этим значением.

Решение уравнения (12) можно получить численным методом. На рис.1 представлены результаты такого расчета при круговом распространении горения.

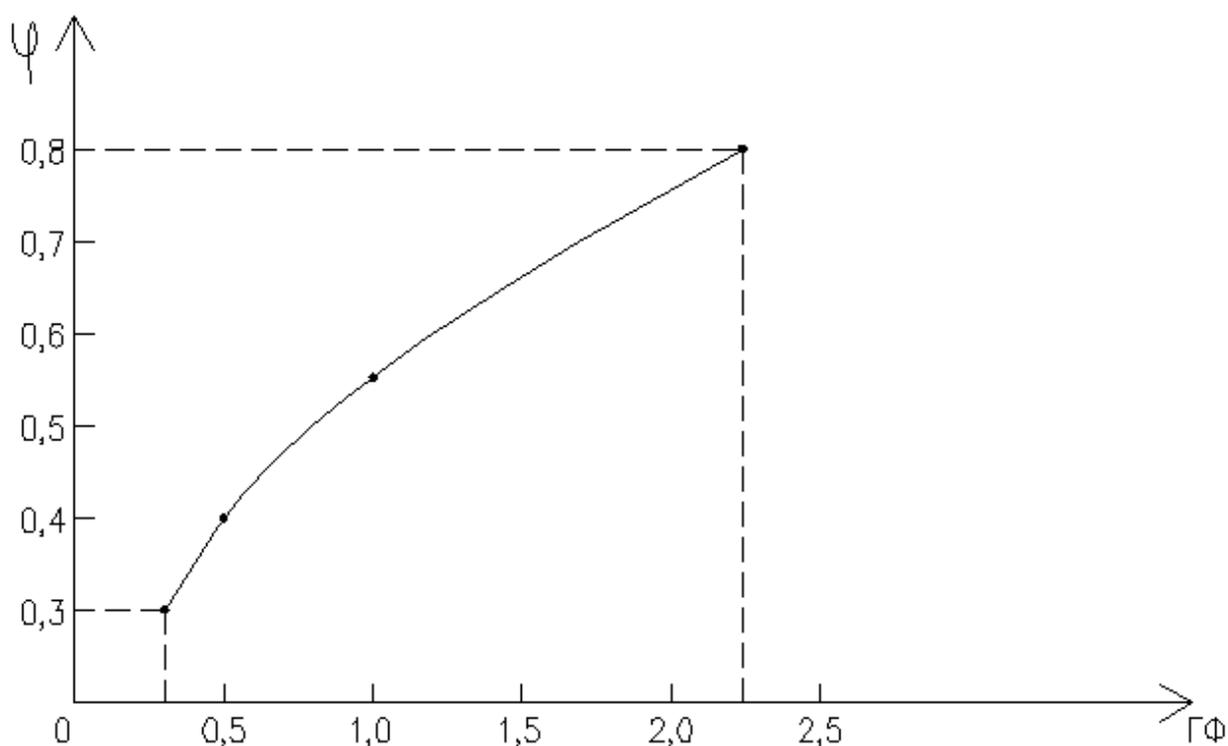


Рис.1 Зависимость среднего коэффициента теплопотерь от параметра $\Gamma\Phi$ для пожаров при круговом распространении пламени по слою древесины.

При условии, когда $6 \leq \Phi \leq 24$ и $0,4 \leq \Gamma\Phi \leq 2$, можно пользоваться формулой (для древесины):

$$\varphi = 0,164 + 0,61\Gamma\Phi - 0,15(\Gamma\Phi)^2 \quad (13)$$

Из рис.1 следует, что чем меньше произведение $\Gamma\Phi$, тем меньше φ , поэтому для малых φ можно уравнение (12) привести к виду:

$$\varphi \approx \frac{\Gamma\Phi + \Delta_{\text{рад}}}{1 + \frac{2}{3}\Gamma\Phi} \quad (14)$$

Это значение можно использовать как первое приближение с последующим уточнением по формуле (12) методом последовательных приближений.

3. При определении скорости выгорания ГМ материала следует иметь ввиду два обстоятельства геометрического происхождения.

Первое обстоятельство возникает когда в месте начала горения весь ГМ прогорает. Это происходит в момент времени:

$$t^* = \frac{\rho_{\text{ГМ}} \cdot \delta}{\psi_{\text{уд}}} \quad (15)$$

$\rho_{\text{ГМ}}$ - плотность горючего материала, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; δ - толщина ГМ, м; $\psi_{\text{уд}}$ - скорость выгорания, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$.

После того как произошло прогорание материала, из места образования прогара распространяется эта зона, что уменьшает площадь горения, и её можно определить по формуле:

$$F_{\text{Г}} = \pi U_{\text{л}}^2 [t^2 - (t - t^*)^2] = \pi U_{\text{л}}^2 t^* (t - t^*) \quad (16)$$

В случае когда горючий материал расположен на прямоугольной площадке, а горение начинается в центре этой площадки, то формула (16), в том числе и при $t^* = 0$, применима до момента времени:

$$t < \frac{l_{\text{min}}}{2U_{\text{л}}} \quad (17)$$

Массовая скорость выгорания ψ зависит не только от свойств горючего материала. Скорость выгорания вещества в помещении может отличаться от его скорости выгорания и тепловыделения на открытом пространстве. Возможны два предельных режима горения материала в помещении. Первый режим выгорания горючих материалов характеризуется наличием достаточного количества кислорода (воздуха). Режим пожара в этом случае называют пожаром, регулируемым нагрузкой (ПРН). Второй предельно возможный режим выгорания горючего материала характеризуется тем, что кислорода в помещении мало, и скорость тепловыделения лимитируется поступающим количеством воздуха в зону горения. Режим пожара в этом

случае называют пожаром, регулируемым вентиляцией (ПРВ). В реальных условиях в процессе развития пожара один режим выгорания может сменяться на другой, то есть вслед за ПРН наступает ПРВ и наоборот. Между предельными режимами существуют промежуточные режимы.

В случае, когда кислорода не хватает, а точнее когда горение лимитируется нагрузкой, скорость выгорания определяется выражением:

$$\psi = \psi_{уд} \cdot F_{\Gamma} \quad (18)$$

В другом крайнем случае, когда весь кислород (с воздухом), поступающий извне, участвует в горении, скорость выгорания определяется выражением:

$$\psi = \frac{G_{\text{в}} \cdot X_{1\text{в}}}{L_1} \quad (19)$$

где $G_{\text{в}}$ - расход воздуха, поступающего в помещение через проемы, кг/с;

$X_{1\text{в}}$ - концентрация кислорода в поступающем воздухе, кг/кг;

L_1 - стехиометрический коэффициент, то есть количество кислорода, необходимое для сгорания одного кг ГМ.

Формула (19) не учитывает возможность догорания некоторого количества продуктов пиролиза за пределами помещения.

Для определения скорости выгорания при промежуточных режимах используется «сконструированная» формула.

$$\psi = \eta_{\alpha} \psi_{уд} F_{\Gamma} K + (1 - K) \frac{X_{1\text{в}} G_{\text{в}}}{L_1} \quad (20)$$

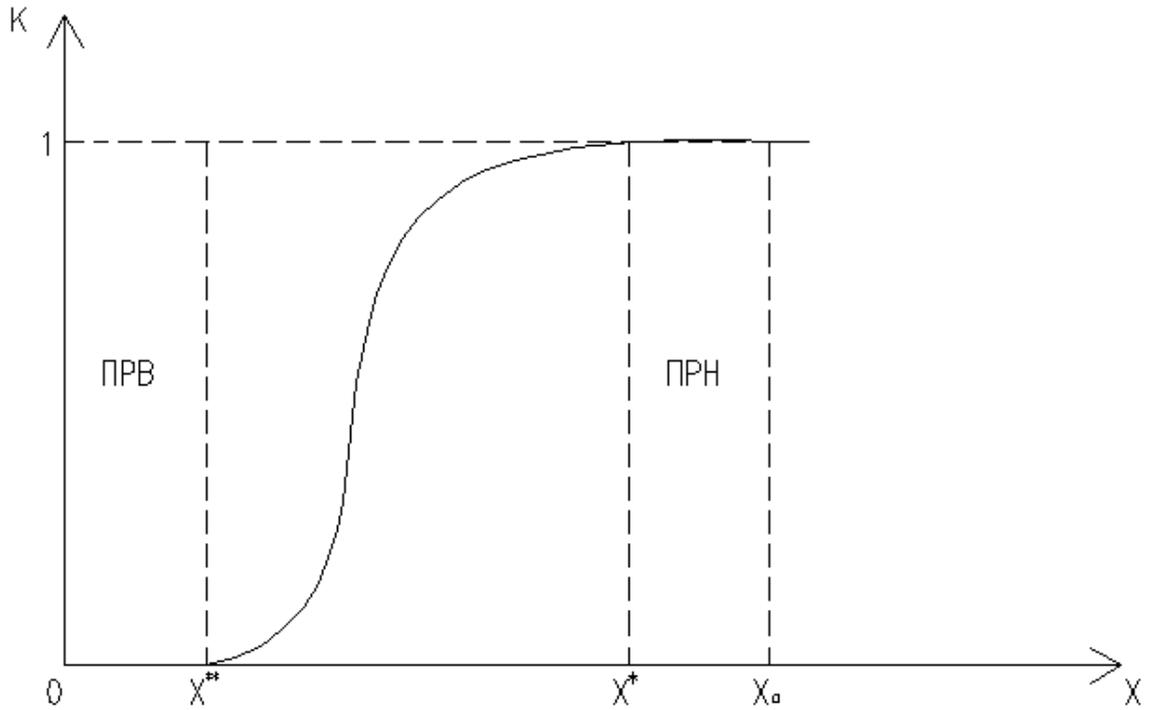
где K - функция, зависящая от среднеобъемной концентрации кислорода в помещении. На рис.2 представлено графическое изображение этой функции.

Рис.2 Функция режима пожара:

x^* - начало перехода от ПРН к режиму ПРВ;

x^{**} - конец этого перехода;

x_{α} - концентрация кислорода во внешней атмосфере.



В качестве интегральной зависимости, описывающей функцию K , можно использовать выражения:

$$z = \frac{x - x^{**}}{x^* - x^{**}} \quad (21)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{При } z \geq 1 \quad k = 1 \\ \text{При } 0 \leq z \leq 1 \quad k = ze^{(1-z)} \\ \text{При } z < 0 \quad k = 0 \end{array} \right\} \quad (22)$$

Коэффициент η , учитывающий полноту сгорания, обладает свойством $\eta \leq 1$ и также зависит от режима пожара: при ПРН он больше, при ПРВ-меньше, и определяется экспериментально также как и величины x^* и x^{**} . Формулы (21)-(22) могут применяться на стадиях пожара, следующих за начальной, и в зонной модели после первой фазы.