

Лекция №2

Дифференциальные уравнения пожара.

1. Уравнения материального баланса для смеси и для отдельных компонентов.

2. Уравнение баланса оптического количества дыма.

3. Уравнение энергии пожара.

1. Уравнение материального баланса для газовой среды в помещении вытекает из закона сохранения массы. Применительно к газовой среде, находящейся в помещении, этот закон формулируется так: изменение массы газовой среды в помещении за единицу времени равно алгебраической сумме потоков массы газа через границы рассматриваемой открытой системы. Под границей здесь подразумевается контрольная поверхность, ограничивающая пространство, внутри которого заключена рассматриваемая система, рис.1

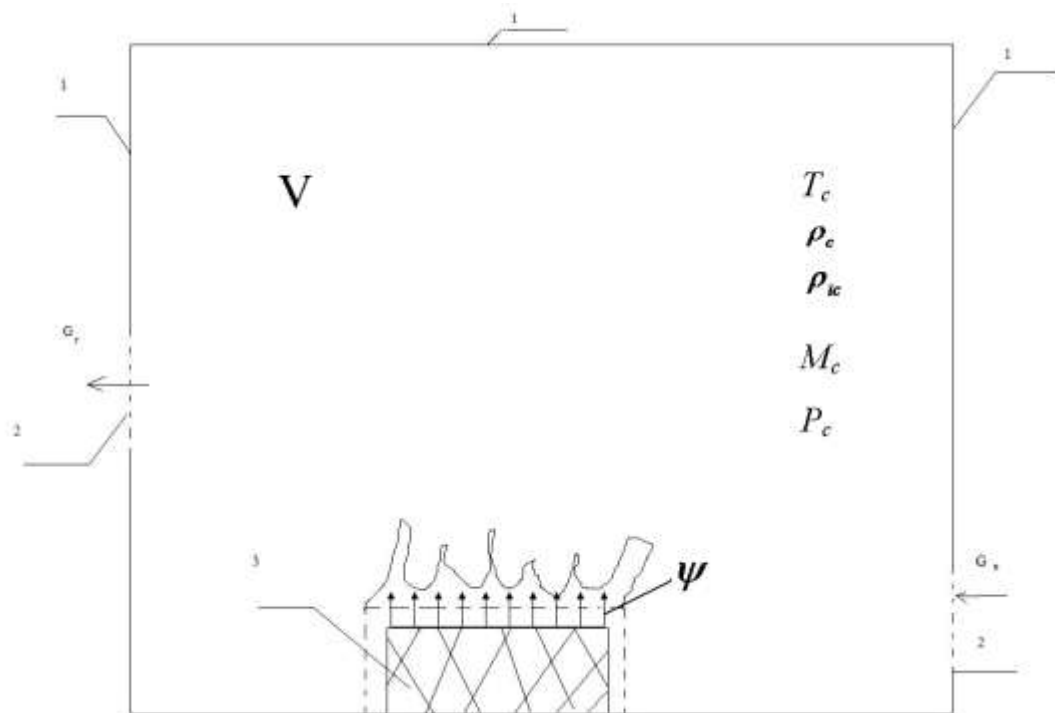


Рис.1 Схема пожара в помещении:

Контрольная поверхность совпадает с внутренней поверхностью ограждающих конструкций, а в местах открытых проемов является продолжением внутренних поверхностей (пунктир) 1 – ограждения; 2 – проемы (окна, двери); 3 – горящий материал; G_g – расход уходящих газов; G_b – расход поступающего холодного воздуха; ψ – скорость выгорания материала (этот поток поступает из конденсированной фазы ГМ).

Объем находящегося газа внутри контрольной поверхности называется свободным объемом помещения V , m^3 .

Введем обозначения:

а) G_B – расход поступающего воздуха из окружающей атмосферы в помещение в данный момент времени $\text{кг} \cdot \text{сек}^{-1}$;

б) G_r – расход газов, покидающих помещение через проемы в рассматриваемый момент времени, $\text{кг} \cdot \text{сек}^{-1}$;

в) ψ – скорость выгорания (скорость газификации) горючего материала в рассматриваемый момент времени, $\text{кг} \cdot \text{сек}^{-1}$;

г) $\rho_c V$ – масса газовой среды, заполняющей помещение в рассматриваемый момент времени, кг .

За малый промежуток времени, равный dt , будет иметь место малое изменение массы газовой среды. В тоже время можно считать, что значения G_B , G_r и ψ в течении этого малого промежутка времени остаются практически неизменными. С учетом вышесказанного уравнение материального баланса для газовой системы в помещении записывается следующим образом:

$$d(\rho_c V)/dt = G_B + \psi - G_r \quad (1)$$

где левая часть уравнения есть изменение массы газовой среды за единицу времени в интервале, равном dt . Правая часть есть алгебраическая сумма потоков массы. Уравнение (1) называется уравнением материального баланса пожара.

Уравнение баланса массы кислорода:

$$d/dt(\rho_1 V) = x_{1B} G_B - x_{1n1} G_r - \psi L_1 \eta \quad (2)$$

где x_{1B} – массовая доля кислорода в поступающем воздухе:

$$x_{1B} = 0,21 \cdot 32 / (0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28) = 0,233$$

$x_1 = \rho_1 / \rho_c$ – средняя массовая доля кислорода в помещении.

L_1 – стехиометрический коэффициент для кислорода (количество кислорода, необходимое для сгорания единицы массы горючего материала), $\text{кг}/\text{кг}$; η – коэффициент полноты сгорания; n_1 – коэффициент, учитывающий отличие концентрации кислорода в уходящих газах от среднеобъемной концентрации кислорода.

Уравнение баланса токсического продукта горения:

$$d/dt(\rho_2 V) = \psi L_2 \eta - x_{2n2} G_r \quad (3)$$

L_2 – стехиометрический коэффициент для продукта горения (количество продукта горения, образующегося при сгорании единицы массы горючего материала), $\text{кг}/\text{кг}$; $x_2 = \rho_2 / \rho_c$ – средняя массовая доля токсичного газа в помещении; n_2 – коэффициент, учитывающий отличие концентрации токсичного газа в уходящих газах от среднеобъемной концентрации этого газа.

2. Уравнение баланса оптического количества дыма:

$$d/dt(\mu_c V) = D\psi - \mu_c n_3 / \rho_c \cdot G_r - \kappa_c F_w \quad (4)$$

здесь n_3 – коэффициент, учитывающий отличие оптической концентрации дыма в уходящих газах от среднеобъемной оптической концентрации дыма; F_w – площадь поверхности ограждений (потолка, пола, стекол), m^2 ; k_c – коэффициент седиментации частиц дыма на поверхностях ограждающих конструкций, $H_n \cdot c^{-1}$. Коэффициент седиментации по физическому смыслу есть скорость осаждения частиц дыма.

Необходимо, сделать некоторые разъяснения относительно оптических свойств дыма, который является не чем иным как взвесью мельчайших частиц (их диаметр 0,2-1 мкм).

Среднеобъемная плотность (концентрация) дыма представляет собой отношение оптического количества дыма, находящегося в помещении, к объему помещения:

$$\mu_c = S/V, H_n \cdot m^{-1} \quad (5)$$

Где S – оптическое количество дыма $H_n \cdot m^2$, которое в свою очередь есть произведение средней концентрации твердых частиц, $N(m^{-3})$ на объем V и на эффективное сечение экстинкции $\chi (m^2)$, то есть:

$$S = N \cdot V \cdot \chi \quad (m^2) \quad (6)$$

Соотношение (5) и (6) дает:

$$\mu_c = N \cdot \chi (m^2/m^3) \cdot H_n \cdot m^{-1} \quad (7)$$

Из (7) видно что физический смысл величины H_n определяется долей площади сечения объема перекрытого частицами дыма. Оптическая плотность дыма и дальность видимости $L_{вид}$ связаны между собой соотношением:

$$\mu_c = 2,38/L_{вид} \quad (8)$$

Дымообразующая способность горючего материала есть оптическое количество дыма, образующегося при сгорании единицы массы ГМ

$$D = I \chi \quad (9)$$

D – дымообразующая способность ГМ, $H_n \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$; I – число частиц, образующихся при сгорании единицы массы ГМ, kg^{-1} ; χ – эффективное сечение экстинкции частиц, m^2 .

3. Уравнение энергии пожара или ее баланс выводятся на основе первого закона термодинамики при следующем предположении:

- кинетическая энергия движения газов мала по сравнению с их внутренней энергией

С учетом всего сказанного получается следующее уравнение энергии пожара:

$$1/\tau - 1 \cdot d(\rho_c V)/dt = \eta Q_n^{p*} \psi + i_r \psi + C_{pв} T_{в} G_{в} - C_p T_c m G_r - Q_w \quad (10)$$

Левая часть этого уравнения есть скорость изменения внутренней тепловой энергии газовой среды в помещении за единицу времени в рассматриваемый малый промежуток времени dt :

$$1/\chi - 1 \, d(P_c V)/dt = dU/dt \quad (11)$$

В правой части уравнения (10) первый и последний члены представляют количество тепла, поступающего в систему при горении и уходящих из системы в ограждающие стены. Второй член есть поток энергии, (внутренняя энергия + работа расширения продуктов пиролиза) поступающей в помещение с продуктами газификации ГМ. Здесь i_r – удельная энтальпия этих продуктов.

Третий член представляет собой сумму внутренней тепловой энергии поступающего за единицу времени воздуха и работы проталкивания, которую совершает внешняя атмосфера. Четвертый член есть сумма внутренней тепловой энергии, которую уносят за единицу времени уходящие газы и работы выталкивания, которую совершает данная термодинамическая система.

Представленные выше пять уравнений (1,2,3,4,10) содержат шесть неизвестных дифференциальных функций, $\rho_c(t)$, $P_c(t)$, $T_c(t)$, $\rho_1(t)$, $\rho_2(t)$ и $\mu_c(t)$. Эту систему уравнений замыкает усредненное уравнение состояния:

$$P_c = \rho_c R T_c \quad (12)$$

$R = R_y / \mu R_y$ – универсальная газовая постоянная, μ – средний молекулярный вес газовой среды.

Начальные условия для исходных функций соответствуют их значениям до пожара.

$$\rho_c(t=0) = \rho_{0,в}; \quad P_c(t=0) = P_0 \quad \mu_c(t=0) = 0 \quad (13)$$

$$\rho_1(t=0) = \rho_{01}; \quad \rho_2(t=0) = 0$$

Представленные здесь системы уравнений описывают свободное развитие пожара, то есть без вмешательства тушения.

Подачу огнетушащих веществ в объем помещения можно учесть путем введения в дифференциальные уравнения дополнительных членов. Например, при тушении инертными газами (аргон, азот, диоксид углерода) уравнение материального баланса пожара записывается следующим образом:

$$d/dt(\rho_c V) = G_v + \psi - G_r + G_{ов} \quad (14)$$

где $G_{ов}$ – массовый расход подачи огнетушащего вещества, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$. Соответствующим образом изменяются в этом случае и остальные дифференциальные уравнения пожара.

Отметим, что процесс развития пожара в помещении можно расчленить на ряд характерных временных этапов. Каждому этапу присущи свои характерные законы распределения локальных термодинамических параметров состояния среды. В дальнейшем мы более подробно рассмотрим начальную стадию развития пожара и установим связь осредненных значений параметров состояния среды с локальными их значениями в рабочей зоне.