

Лекция №1.

1. Основные опасные факторы пожара.
 2. Современные методы изучения ОФП.
 3. Предельно допустимые значения параметров ОФП.
 4. Среднеобъемные и среднемассовые значения параметров газовой среды.
- Уравнения состояния для локальных и средних параметров.

1. Опасными факторами, воздействующими на людей, и материальные ценности являются:

Повышенная температура окружающей среды;

Токсичность продуктов сгорания и термического разложения;

Дым;

Пламя и искры;

Пониженная концентрация кислорода.

Первый опасный фактор – пламя. Пламя – это видимая часть пространства, внутри которой происходит процесс окисления и связанные с ним: тепловыделение, образование продуктов горения, в том числе токсичных. Здесь образуется мелкодисперсная среда (дым) ухудшающая видимость, забирается из окружающего пространства кислород, который расходуется на образование продуктов горения.

Пламя в количественном отношении характеризуется следующими величинами:

Площадь горения (пожара) – $F_r \cdot m^2$;

Количество сгорающего (окисляемого) за единицу времени горючего материала (ГМ) ψ – кг/сек;

Мощность тепловыделения $Q_{\text{пож}} \cdot \text{вт}$; $Q_{\text{пож}} = \psi * Q_n^p$, где Q_n^p – теплота сгорания, дж*кг⁻¹.

Количество генерируемых за единицу времени токсичных газов $\psi * L_i$ – кг*сек⁻¹, где L_i – количество i -го токсичного газа (кг), образующегося при сгорании единицы массы ГМ. Количество кислорода, потребляемого в зоне горения $\psi * L_i$ – кг*сек⁻¹, где L_i – количество кислорода, необходимого для сгорания единицы массы ГМ;

Оптическое количество дыма, образующегося в очаге горения ψD , $\text{непер} * \text{м}^2 * \text{с}^{-1}$, где D – дымообразующая способность горючего материала – $\text{непер} * \text{м}^2 * \text{кг}^{-1}$.

Второй опасный фактор – повышенная температура среды (вне пламени). Он обозначается T , если используется размерность градус Кельвина.

Третий опасный фактор – токсичные продукты горения. Этот фактор количественно характеризуется парциальной плотностью (или концентрацией) каждого токсичного газа. Обозначается ρ_i – кг/м³. Сумма парциальных плотностей всех компонентов газовой среды равна ее плотности ρ . Концентрация i -го токсичного газа X_i определяется как:

$$X_i = \rho_i / \rho$$

Если умножить X_i на 100, то получается значение концентрации в %.

Четвертый опасный фактор – дым. Этот фактор количественно характеризуется оптической концентрацией дыма μ (мю), его размерность – непер*м⁻¹. Расстояние видимости в дыму $L_{\text{вид}}$ и оптическая концентрация дыма связаны соотношением:

$$L_{\text{вид}} = 2,38 / \mu.$$

Пятый опасный фактор – пониженная концентрация кислорода в помещении. Этот фактор характеризуется парциальной плотностью кислорода ρ_1 или его концентрацией (массовой):

$$X_i = \rho_1 / \rho;$$

2. Все приведенные выше величины: температура среды, концентрации токсичных газов и кислорода, оптическая плотность являются параметрами состояния газовой среды, заполняющей помещение при пожаре. Начиная с возникновения пожара, в процессе его развития эти величины непрерывно изменяются как в пространстве так и во времени, т.е.:

$$T = f_1(t, x, y, z); \rho_1(t, x, y, z) = f_2(t, x, y, z); \mu = f_3(t, x, y, z); \rho_2 = f_4(t, x, y, z);$$

Определение поля распределения величины этих параметров составляет суть изучения динамики ОФП.

Такая постановка задачи характерна для полевых моделей развития пожара, и она основана на совместном решении уравнений переноса импульса, вещества и энергии (при пожаре – это теплоперенос). Задачи в такой постановке трудоемки и эта методика далека от своего завершения.

Другой подход основан на выделении в пространстве помещения характерных (обособленных) зон, где параметры среды осредняют по объему каждой зоны. Такой подход принят в зонных моделях описания развития пожара во времени.

При третьем подходе игнорируют разницу в пространственном распределении параметров состояния газовой среды и оперируют средними величинами по объему или по массе.

Осреднение ведется по всему помещению, а модели, развитые на основе такого подхода, называются интегральными. Современные методы изучения ОФП основываются на математическом моделировании, то есть на математических моделях пожара. Математическая модель пожара описывает в самом общем виде изменение параметров состояния среды в помещении в течении времени, а также изменение параметров состояния строительных конструкций этого помещения и различных элементов технологического оборудования. Методы прогнозирования ОФП различают в зависимости от вида математической модели пожара. Математические модели пожара в помещении условно делятся на 3 класса: интегральные, зонные, полевые (дифференциальные).

При описании состояния строительных конструкций и их взаимодействия с газовой средой широко используются экспериментальные методы и методы Теории подобия и размерностей.

3. При рассмотрении воздействия ОФП на людей используются так называемые предельно допустимые значения (ПДЗ) параметров состояния среды в зоне пребывания людей – в рабочей зоне. Предельно допустимые значения ОФП получены в результате медико-биологических исследований, в процессе которых установлен характер воздействия ОФП на людей в зависимости от значений их количественных характеристик.

ПДЗ ОФП указаны в ГОСТ 12.1.004.91. ниже они представлены в виде таблицы.

Предельно допустимые значения ОФП

ОФП, обозначение, размерность	ПДЗ
Температура, t°С	70
Парциальная плотность, кг/м ³	
Кислорода ρ ₁	0,226
Оксида углерода ρ ₂	0,00116
Диоксида углерода ρ ₃	0,11
Хлористого водорода ρ ₄	23*10 ⁻⁶
Оптическая плотность дыма, μ, немер*м ⁻¹	2,38L _{пдв} ⁻¹

L_{пдв} – предельно допустимая дальность видимости, м.

4. Состояние рассматриваемой газовой системы при пожаре в помещении постоянно меняется, но тем не менее с большой точностью можно считать, что газовая среда внутри помещения есть смесь идеальных газов;

В каждой точке пространства внутри помещения в любой момент времени реализуется локальное термодинамическое равновесие. Это, означает, что локальные значения основных термодинамических параметров состояния связаны между собой уравнением Клапейрона, т.е.

$$P = \rho RT \quad (1)$$

В (1) все параметры локальные: P-локальное давление, Н*м⁻², ρ-локальная плотность, кг*м⁻³, R=R_y/μ_v→R=R_y/μ-газовая постоянная, дж*кг⁻¹*К⁻¹, T- локальная температура, К. R_y=8,314 дж/моль*К; - универсальная газовая постоянная, μ – средний молекулярный вес газовой среды в помещении.

Особенностью рассматриваемой термодинамической системы является то, что объем газовой среды в помещении не изменяется. В связи с этим целесообразно для описания системы использовать среднеобъемные значения параметров.

Среднеобъемные значения газовой среды в помещении:

$$\rho_c = M/V \quad (2)$$

Где M- масса газа, заполняющего помещение, кг, V – свободный объем помещения, м³.

Следует отметить, что:

$$M = \int_V \rho dV \quad (3)$$

Таким образом, среднеобъемная плотность есть результат осреднения по объему всех значений локальной плотности:

$$\rho_c = 1/V \int_V \rho dV \quad (4)$$

Среднеобъемная парциальная плотность i -го компонента соответственно определяется как:

$$P_{ci} = M_i/V \quad (5)$$

Где M_i – масса i -го компонента в помещении, кг

Далее формальное осреднение плотности по объему для i -го компонента дает:

$$\rho_{ci} = \int_V \rho_i dV / V \quad (6)$$

Где ρ_i – локальная парциальная плотность i -го компонента.

Среднеобъемное давление

$$P_c = \int_V P dV / V \quad (7)$$

Где P – локальное давление в помещении $H \cdot m^{-2}$.

Среднеобъемная (удельная) внутренняя энергия представляет собой отношение внутренней тепловой энергии всего газа, заполняющего объем помещения к самому объему помещения.

$$U_c = U/V \quad (8)$$

U – внутренняя энергия (тепловая часть) всей газовой среды, заполняющий помещение, дж.

Формальное осреднение дает:

$$U_c = 1/V \int_V U_v dV \quad (9)$$

Где U_v – локальное значение (удельный объемной) внутренней энергии $дж \cdot m^{-3}$, для которой справедливо соотношение

$$U_v = \rho U \quad (10)$$

Где U – локальное значение удельной массовой энергии, $дж \cdot кг^{-1}$.

Между локальным значением массовой внутренней энергии и локальным значением температуры имеется связь:

$$U = C_v \cdot T \quad (11)$$

C_v – удельная теплоемкость $дж/кг \cdot K$, $дж \cdot кг^{-1} \cdot K^{-1}$; отсчет внутренней энергии от $T=0$ К и $C_v = const$.

Запишем уравнение (9) и преобразуем его с помощью (10) или (11)

$$U_c = 1/V \int_V U \, dV = 1/V \int_V \rho C_v T dV \quad (12)$$

Если теперь вспомнить уравнение состояния и выражение $\gamma = C_p/C_v$, то получим:

$$U_c = 1/V \int_V \frac{1}{\gamma - 1} P dV \rightarrow U_c = 1/(\gamma - 1) * P_c \quad (13)$$

Степень нагретости газовой среды характеризуется в среднем отношением внутренней энергии этой среды к ее массе. Отношение этих физических величин с помощью (2),(8),(13) можно представить в виде:

$$U/M = P_c/(\gamma - 1)\rho_c \quad (14)$$

Если правую и левую части выражения (14) поделить на изохорную массовую удельную теплоемкость C_v , то получится:

$$U/C_v M = P_c/R\rho_c \quad (15)$$

Комплекс в левой части выражения (15) имеет размерность $^{\circ}\text{K}$. Этот комплекс представляет параметр состояния который называется среднемассовой температурой среды:

$$T_{cm} = U/C_v M \quad (16)$$

С помощью выражения (16) выражение (15) приобретает вид:

$$P_c = \rho_c R T_{cm} \quad (17)$$

Это уравнение связывает между собой три параметра состояния, два из которых среднеобъемные величины ρ_c и P_c и одна среднемассовая T_{cm} . В дальнейшем уравнение (17) будем называть усредненным уравнением состояния газовой среды, заполняющей помещение.

Представляется интересным вопросом о том, как выражается среднемассовая температура через локальную температуру.

Чтобы получить формулу, с помощью которой можно определить среднемассовую температуру при известном распределении локальных температур по объему помещения, воспользуемся усредненным уравнением состояния (17), которое с помощью (1) и (4) преобразуем к виду:

$$T_{cm} = P_c/[1/V \int_V R \rho dV] = 1/[1/V \int_V \frac{(\frac{P}{P_c})}{T} dV] \quad (18)$$

Где T – локальная температура, $^{\circ}\text{K}$. Сделаем важное замечание по поводу отношения P/P_c . В случае пожара, когда отсутствуют интенсивные потоки газа, то есть когда скорость газа значительно меньше скорости звука, можно считать, что давление в объеме постоянно, и отношение $P/P_c \approx 1$. С учетом этого замечания получаем, что :

$$T_{cm} = (1/V \int_V dV / T)^{-1} \quad (19)$$

Формальное осреднение локальной температуры по объему дает для среднеобъемной температуры выражение

$$T_{cv} = 1/V \int_V T dV \quad (20)$$

Где T_{cv} = среднеобъемная температура $^{\circ}\text{K}$, которая, вообще говоря, отличается от средне массовой. Это различие тем больше, чем больше неоднородность температурного поля.

При незначительных различиях локальных температур в помещении, это прежде всего имеет место при интенсивном перемешивании среды в помещении, среднеобъемная и среднемассовая температура близки, однако всегда среднемассовая температура меньше среднеобъемной, так высокая температура соответствует меньшей плотности.