



**ФГБОУ ВО СИБИРСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ ГПС МЧС РОССИИ**



Кафедра пожарно-технических экспертиз

Лабораторное занятие

**по дисциплине «Физико-химические основы развития
и тушения пожаров»**

по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность»

**Тема № 5.1 «Тепловой баланс газообмен внутреннего
пожара»**

Цель

Определить основные параметры
внутреннего пожара.

Учебные вопросы

1. Полученные текущие значения m_i и l_i в масштабе нанести на графики и провести сглаженные линии.
2. **Найти** значения массовой скорости выгорания, линейной скорости распространения пламени и площади пожара.
3. Результаты обработки данных занести в таблицу.
4. По данным таблицы построить графики зависимостей приведенных в ней параметров от времени. На каждом графике привести соответствующие зависимости для двух опытов.

Рекомендуемая литература

1. Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Миронов М.П., Паздникова С.Н. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России/ под ред.В.Ф. Маркова. Екатеринбург: УрО РАН. 2009. 274 с.
2. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров/Пер. с англ. К.Г. Бомштейна; Под. Ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.: ил.
3. Молчадский И.С. Пожар в помещении. – М.ВНИИПО, 2005. – 456 с.
4. Кошмаров Ю.А., Рубцов В.В. Процессы нарастания опасных факторов пожара в производственных помещениях и расчет критической продолжительности пожара. - М.:МИПБ МВД России, 1990. - 89 с.

Площадь поверхности горения – **Spг**. Этот параметр характеризует реальную площадь горючего, которая участвует в горении, т.е. выделяет горючие газы при пиролизе или испарении, а также взаимодействует с окислителем в гетерогенном режиме. **Площадь поверхности горения определяет интенсивность выделения тепла на пожаре.**

Линейная скорость распространения пожара – **vл** (м/с, м/мин). Под этим параметром понимают путь, который на данном объекте проходит фронт пламени в единицу времени. Величина **vл** определяет площадь пожара на данный момент. Она зависит от вида горючего, характеристик пожарной нагрузки и ее размещения, вида пожара и др. факторов.

Массовая скорость выгорания - скорость газификации горючего. Он показывает, какая масса вещества при горении переходит в газообразное состояние в единицу времени.

Очевидно, что чем больше площадь поверхности, с которой происходит газовыделение, тем выше потеря массы. Поэтому различают массовую скорость выгорания:

абсолютную – v_m (кг/с, кг/мин);

приведенную –

$$v'_{np} = m / S_n \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}, \frac{\text{кг}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2} \right];$$

удельную –

$$\overline{v_{y\delta}} = v_m / S_{\text{пло.гор.}} \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}, \frac{\text{кг}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2} \right]$$

Теплота пожара – $q_{\text{п}}$ (кВт) показывает какое количество тепла выделяется на пожаре в 1с и определяется выражением:

$$q_{\text{п}} = V v_m Q_{\text{н}} \text{ или } q_{\text{п}} = V v'_m Q_{\text{н}}$$

где: V – коэффициент полноты сгорания;

$Q_{\text{н}}$ - низшая теплота сгорания материала, кДж/кг.

Температура пожара – $T_{\text{п}}$. Температурой открытых пожаров считается температура пламени.

Интенсивность газообмена – J_{Γ} оценивается как отношение расхода воздуха, поступающего через проемы к площади пожара:

$$J_{\Gamma} = G_{\text{В}}/S_{\text{П}}, \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2),$$

где $G_{\text{В}}$ – масса воздуха, проходящего в помещение через проемы в единицу времени, кг/с.

Коэффициент избытка воздуха – α характеризует количество воздуха, которое при пожаре не участвует в горении. На внутренних пожарах, при наличии газообмена помещения с окружающей средой α находится как отношение расхода воздуха фактически поступающего через проемы ($G_{\text{В}}$) к теоретически необходимому для сгорания материала с массовой скоростью $v_{\text{м}}$ ($G_{\text{В}0}$):

$$\alpha = G_{\text{В}}/G_{\text{В}0}.$$

Следует иметь в виду, что коэффициент избытка воздуха относится к объему всего помещения. Непосредственно в зоне горения практически всегда недостаток воздуха. По величине α можно оценить концентрацию кислорода ($\varphi_{\text{к}}$) в продуктах горения из выражения:

$$\alpha \approx 21/(21 - \varphi_{\text{к}}) \quad (1.4)$$

При горении штабеля древесины режим пожара можно определить по параметру Φ :

$$\Phi = \frac{p_0 \sqrt{g} \cdot S_{\text{пр}} \cdot H}{\sqrt{S_{\text{пг}}}}$$

где: p_0 – плотность воздуха, кг/м³,

g – ускорение свободного падения, $g=9,8\text{м/с}^2$;

$S_{\text{пр}}$ – площадь проема, м²;

H – высота проема, м;

$S_{\text{пг}}$ – площадь поверхности горения, м².

Если $\Phi < 0,235$ – пожар регулируемый вентиляцией, $\Phi > 0,29$ – пожар регулируемый нагрузкой.

Площадь поверхности горения $S_{\text{пг}}$ в каждый момент времени связана с площадью пожара через коэффициент поверхности $K_{\text{п}}$:

$$S_{\text{пг}} = S_{\text{п}} K_{\text{п}}$$

С учетом того, поверхность брусков в местах их пересечений друг с другом гореть не будет, коэффициент поверхности горения штабеля, выложенного из брусков квадратного сечения ($a \cdot a$), рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{п}} = \frac{N(4ab + 2a^2) - 2a^2(n-1)(N/n)^2}{L \cdot b}$$

где: N – общее число брусков в штабеле; n - число рядов; b – длина бруска, L - длина штабеля.

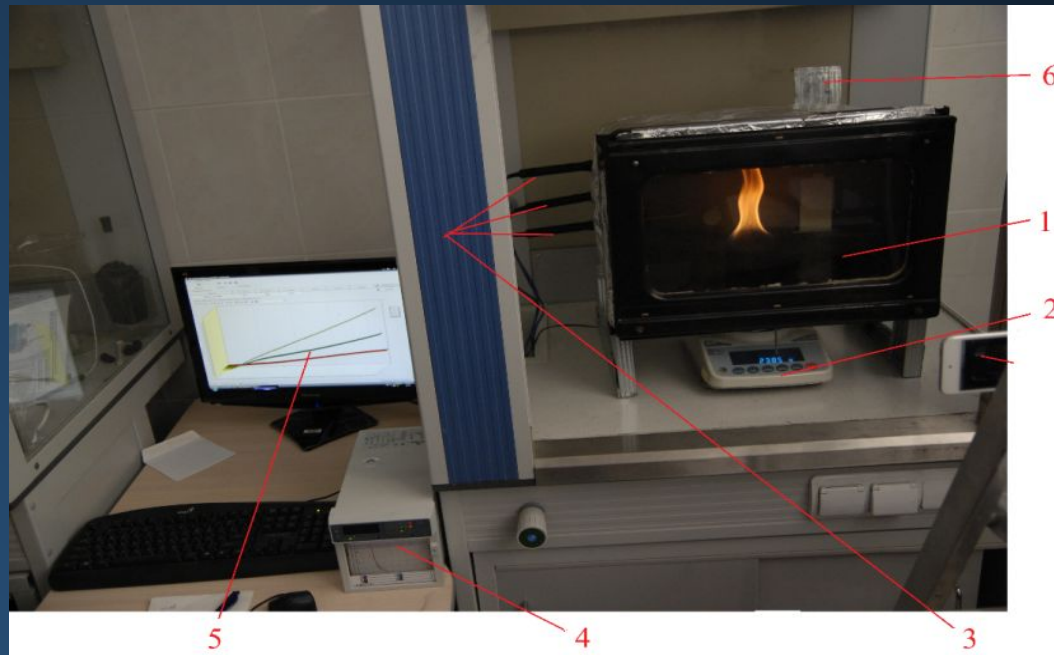
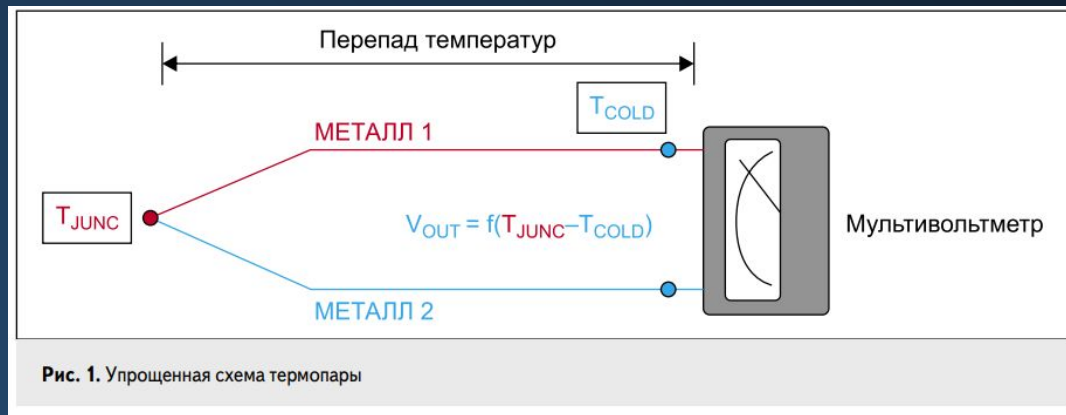


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

- корпус камеры;
- весы лабораторные AND DL-2000;
- термопары Type K -50 to 1000 (3 шт);
- регистратор бумажный на 6 каналов PMT 39D;
- компьютер;



Томас Зеебек открыл принцип работы термопары в 1822 году. Термопара — это простое устройство для измерения температуры, которое состоит из двух металлических проводников, «Металл 1» и «Металл 2», соединенных между собой (рис. 1).

Зеебек обнаружил, что разные металлы создают разные электрические потенциалы, зависящие от приложенного к ним перепада температур. Если соединить одни концы проводников из разных металлов и расположить точку соединения в месте измерения температуры (T_{JUNC} , или горячий спай), то между оставшимися концами, которые находятся при постоянной температуре (T_{COLD} , постоянная опорная температура), появится напряжение V_{OUT} . Оно прямо пропорционально разности температур T_{JUNC} и T_{COLD} .

Таким образом, термопара — это устройство, генерирующее напряжение/заряд без внешнего источника возбуждения.

РМТ-39D/39DM РЕГИСТРАТОР БУМАЖНЫЙ ШЕСТИКАНАЛЬНЫЙ

Регистраторы бумажные РМТ-39D/39DM (6 каналов) предназначены для измерения, регулирования и регистрации температуры и других неэлектрических величин (частоты, давления, расхода, уровня и др.), преобразованных в электрические сигналы силы, напряжения постоянного тока и активное сопротивление постоянному току. Значения измеряемых величин отображаются на цифровом индикаторе прибора и на бумажной диаграммной ленте в виде графика.

- Древесные бруски размером 5x5x100 мм, с нанесенными на них отсечками (10 мм) для контроля пройденного огнем пути.



Рис. Образец деревянного бруска

Исходные данные

Таблица 1.1

Общее число брусков N	Число рядов n	Начальная масса поддона и штабеля m_0 , кг	Проем		Кп коэффициент поверхности и горения штабеля
			ширина B , м	высота H , м	
			0,1 м		

Результаты измерений

Таблица 1.2

Время, сек	Масса поддона и штабеля, m_i , кг	Путь фронта пламени, l_i , м	Высота ПРД, h_0 , м	Температура, T_i , °C
20				$T_1, T_2, T_3, \dots T_n$
40				$T_1, T_2, T_3, \dots T_n$

Примечание. $T_1, T_2, T_3, \dots T_n$ – показания 1-й, 2-й, 3-й ... n -й термопар в данный момент времени.

Обработка результатов

1. Полученные текущие значения m_i и l_i в масштабе наносятся на графики и проводятся сглаженные линии.
2. Значения массовой скорости выгорания, линейной скорости распространения пламени и площади пожара находятся по сглаженным кривым для каждого отрезка времени Δt .

Например. За первые 20 секунд масса поддона уменьшилась с m_0 до m_1 , за вторые – с m_1 до m_2 . Фронт пламени за первые 20 секунд переместился на расстояние l_1 от края штабеля, за вторые – на l_2 .

Массовая скорость выгорания равна:

- 1 отрезок времени $v_m^1 = \frac{m_0 - m_1}{20}, \text{кг/с}; \frac{\Delta m}{\Delta t}$

- 2 отрезок времени $v_m^2 = \frac{m_1 - m_2}{20}, \text{кг/с};$ и т.д. $\frac{\Delta m}{\Delta t}$

Линейная скорость:

- 1 отрезок времени $v_l^1 = \frac{l_1}{20}, \text{м/с}; \frac{\Delta l}{\Delta t}$

- 2 отрезок времени $v_l^2 = \frac{l_2 - l_1}{20}, \text{м/с}$ и т.д. $\frac{\Delta l}{\Delta t}$

Площадь пожара:

- 1 отрезок времени $S_n^1 = l_1 \cdot b, \text{м}^2;$

где b – ширина штабеля (длина бруска), м.

- 2 отрезок времени $S_n^2 = l_2 \cdot b, \text{м}^2$

и т.д.

$$K_n = \frac{N(4ab + 2a^2) - 2a^2(n-1)(N/n)^2}{L \cdot b}$$

Площадь поверхности горения находится по формуле ранее

Приведенную и удельную массовую скорость выгорания получают делением V_m на S_i и Sp_i соответственно.

Температура пожара в каждый момент времени рассчитывается как среднеарифметическое значение показаний термопар $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$. Теплоту пожара q_p рассчитывают по выражению:

$$\alpha \approx 21 / (21 - \varphi_k)$$

Фактический расход воздуха находится по формуле:

$$V = 4,2 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\rho_v = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$G_{\varepsilon} = \frac{2}{3} \mu B h_0 \sqrt{2 g h_0 \rho_{\varepsilon} (\rho_{\varepsilon} - \rho_{nз})}, \text{ кг} / \text{с} \quad (1.8)$$

где: μ – коэффициент аэродинамического сопротивления проема, $\mu = 0,65$;
 B – ширина проема, м; h_0 – высота плоскости равных давлений относительно нижней отметки проема, м; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; ρ_{ε} – плотность воздуха, принимается $\rho_{\varepsilon} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho_{nз}$ – плотность продуктов горения при температуре пожара $T_{п}$, находится по рис. 1.3.

Теоретически необходимый расход воздуха рассчитывается по формуле:

$$G^0_{\varepsilon} = v_m V^0_{\varepsilon} \rho_{\varepsilon} \quad (1.9)$$

где: V^0_{ε} – теоретический объем воздуха, $\text{м}^3/\text{кг}$; ρ_{ε} – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Интенсивность газообмена $\underline{J}_Г$ и коэффициент избытка воздуха α находятся по формулам (1.3) и (1.4).

$$\underline{J}_Г = G_B / S_{ц}, \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2),$$

$$\alpha = G_B / G_{B0}.$$

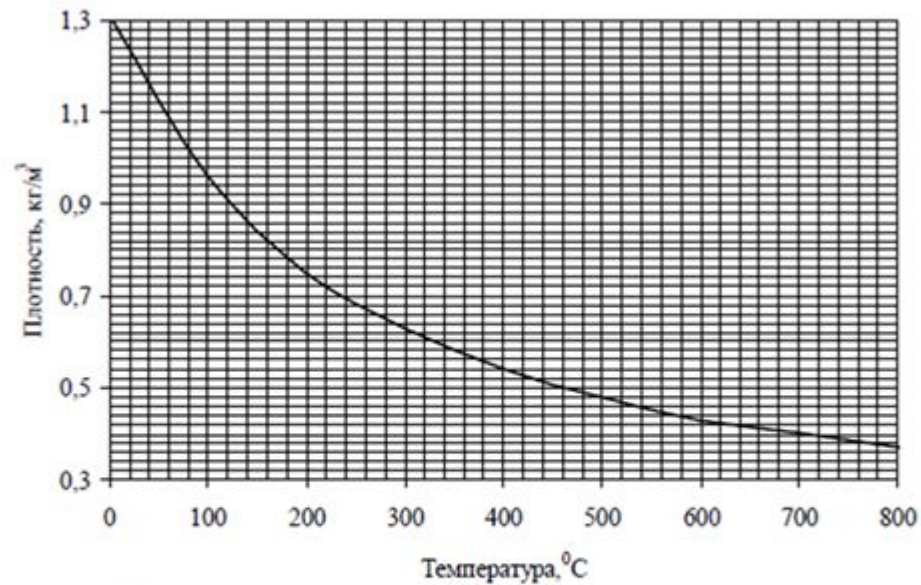


Рис. 1.4. Зависимость плотности продуктов горения от температуры.

Результаты обработки данных заносятся в табл. 1.3.

Результаты обработки данных

Таблица 1.3

Время, \underline{c}	$\underline{v}_г,$ $\frac{\underline{m}}{\underline{c}}$ $\frac{\Delta l}{\Delta t}$	$S_{ц},$ \underline{m}^2	Скорость выгорания			$T_{ц},$ $^{\circ}\underline{C}$ средняя	$Q_{ц},$ кВт	$\underline{J}_Г,$ $\text{кг}/\underline{c} \cdot \underline{m}^2$	α
			$\underline{v}_г$, $\underline{кг}/\underline{c}$	$\underline{v}_г^{уд}$	$\underline{v}_г^{прив}$				

По данным табл. 1.3 строятся графики зависимостей приведенных в ней параметров от времени. На каждом графике приводятся соответствующие зависимости для двух опытов.

Контрольные вопросы

- Какая стадия (или стадии) пожара исследуются в данных опытах?
- Дать определение, объяснить физический смысл основных параметров внутреннего пожара.
- Как зависит скорость распространения пламени от концентрации кислорода в газовой среде?
- Что такое общая вспышка? При каких условиях она происходит?
- Что такое объемная вспышка? При каких условиях она происходит?
- Как зависит теплота пожара от массовой скорости выгорания?
- Как зависит продолжительность начальной стадии пожара от массовой скорости выгорания? Чем объясняется эта зависимость?
- Что такое плоскость равных давлений? Какие параметры влияют на ее положение относительно пола помещения?
- Что означает "пожар, регулируемый нагрузкой"?
- Что означает "пожар, регулируемый вентиляцией"?
- Определить режим пожара на момент времени, указанный преподавателем?
- Какие возможны последствия изменения условий газообмена?

Расчет температуры пожара

Задача 1:

Определить, как может измениться среднеобъемная температура в помещении, если увеличить приток воздуха. Размеры помещения 10x20x3,5 м, число проёмов – 3, размеры одного проёма 2,1x1,6 м, горючий материал – мазут, масса горючего материала равна 40000 кг.

Решение:

1. Рассчитать пожарную нагрузку (P_k), приведённую к древесине для данного помещения:

$$P_k = \frac{\sum P_i Q_{ni}}{(6F_{\text{пола}} - \sum F_{\text{пр}}) \cdot Q_{н.др}};$$

$P_i =$ – общее количество горючего вещества;

$Q_{ni} =$

$F_{\text{пола}} =$

$$\sum F_{\text{пр}} = (h \cdot d) \cdot \text{кол-во}$$

$Q_{н.др} =$

$$P_k = \frac{\quad}{(6 \cdot \quad - \quad)} = \quad \text{кг/м}^2.$$

3. Рассчитать проёмность помещения, учитывая, что $V > 10 \text{ м}^3$:

$$\Pi = \sum F_{\text{инн}} \cdot h_i^{0,5} / F_{\text{пола}} = \quad = \quad \text{м}^{0,5}.$$

3. Рассчитать критическую пожарную нагрузку:

$$P_{к.кр} = \frac{4500\Pi^3}{1 + 500\Pi^3} + \frac{V^{0,333}}{V_e^0},$$

где $V_e^0 = 11,6 \text{ м}^3/\text{кг}$;

$$V = \quad = \quad \text{м}^3;$$

$$P_{к.кр} = \quad + \quad = \quad + \quad = \quad \text{кг/м}^2.$$

4. Сравнить P_k и $P_{к.кр}$:

Ответ:

Низшая теплота сгорания

№	Горючее вещество, материал	Низшая теплота сгорания Q_H^P , кДж/кг
1	2	3
1	Амилацетат	33553,5
2	Амиловый спирт	39046,6
3	Анилин	34777
4	Ацетилен	56000
5	Ацетон	30939
6	Бензин	43576
7	Бензол	40807
8	Битум	40807
9	Бумага, хлопок, хлопчатобумажные ткани	13408
10	Бутан	118300
11	Бутиловый спирт	36144,9
12	Древесина при влажности: 10% 20% 30%	16500 14400 12200
13	Капролактам	29749
14	Каучук натуральный	44833
15	Каучук синтетический	45252
16	Керосин	43157
17	Киноплёнка нитроцеллюлозная	15084
18	Киноплёнка триацетатная	18779,6
19	Мазут	41900
20	Метан	35800
21	Нефть	46090
22	Полистирол	38967
23	Полиэтилен	47137,5
24	Пенополиуретан	24302
25	Резина	33520

Расчет температуры пожара

Задача 1:

Определить, как может измениться среднеобъемная температура в помещении, если увеличить приток воздуха. Размеры помещения 10x20x3,5 м, число проёмов – 3, размеры одного проёма 2,1x1,6 м, горючий материал – мазут, масса горючего материала равна 40000 кг.

Решение:

1. Рассчитать пожарную нагрузку (P_k), приведённую к древесине для данного помещения:

$$P_k = \frac{\sum P_i Q_{ин}}{(6F_{пола} - \sum F_{пр}) \cdot Q_{н,др}};$$

$P_i = 40000$ кг – общее количество горючего вещества;

$Q_{ин} = 41900$ кДж·кг⁻¹; *низкая температура сгорания мазут*

$F_{пола} = 10 \times 20 = 200$ м²;

$\sum F_{пр} = (2,1 \cdot 1,6) \cdot 3 = 10,08$ м²;

$Q_{н,др} = 16500$ кДж·кг⁻¹; *низкая температура сгорания древесины*

10% влажности

$$P_k = \frac{40000 \cdot 41900}{(6 \cdot 200 - 10,08) \cdot 16500} = 85,4 \text{ кг/м}^2.$$

3. Рассчитать проёмность помещения, учитывая, что $V > 10$ м³:

$$\Pi = \sum F_{ин} \cdot h_i^{0,5} / F_{пола} = \frac{10,08 \cdot 2,1^{0,5}}{200} = 0,07 \text{ м}^{0,5}.$$

3. Рассчитать критическую пожарную нагрузку:

$$P_{к,кр} = \frac{4500 \Pi^3}{1 + 500 \Pi^3} + \frac{V^{0,333}}{V_e^0},$$

где $V_e^0 = 11,6$ м³/кг;

$$V = 10 \cdot 20 \cdot 3,5 = 700 \text{ м}^3;$$

$$P_{к,кр} = \frac{4500 \cdot 0,07^3}{1 + 500 \cdot 0,07^3} + \frac{700^{0,333}}{11,60} = \frac{15435}{1+1,1715} + \frac{8,86}{11,60} = 0,57 + 0,76 = 1,33 \text{ кг/м}^2$$

4. Сравнить P_k и $P_{к,кр}$:

$P_k > P_{к,кр}$ т.к. $85,4 \text{ кг/м}^2 > 1,33 \text{ кг/м}^2$, следовательно, в помещении пожар, регулируемый вентиляцией, среднеобъемная температура в помещении будет возрастать.

Ответ:

Среднеобъемная температура в помещении будет возрастать.

Задача 2:

Рассчитать значение среднеобъёмной температуры в помещении на 25 минуте с начала пожара, если известно, что размер помещения 15x32x4 м, размеры проемов 1,6x2,0 м, число проёмов – 3, горючее вещество – бумага разрыхлённая в количестве 10000 кг, низшая теплота сгорания – 13400 кДж/кг, объём воздуха, необходимый для сгорания 1кг бумаги равен 3,95м³/кг, массовая скорость выгорания древесины равна 0,08 кг/м²·с.

Решение:

1. Определить режим пожара в помещении, для этого надо рассчитать:

а) Прѐмность помещения, т.к. $V = \dots = \dots \text{ м}^3$, что $\dots 10 \text{ м}^3$.

$$\Pi = \sum F_{i, np} \cdot h_i^{0,5} / F_{пола}$$

$$\sum F_{np} = \dots = \text{ м}^2,$$

$$F_{пола} = \dots = \text{ м}^2,$$

$$\Pi = \sum F_{i, np} \cdot h_i^{0,5} / F_{пола} \cdot \text{ м}^{0,5}.$$

б) Рассчитать критическую пожарную нагрузку:

$$P_{к,кр} = \frac{4500\Pi^3}{1 + 500\Pi^3} + \frac{V^{0,333}}{6V_g^0} = \dots = \text{ кг/м}^2.$$

в) Рассчитать пожарную нагрузку приведѐнную к древесине, отнесенную к площади тепловоспринимающих поверхностей:

$$P_k = \frac{\sum P_i Q_{Hi}}{(6F_{пола} - \sum F_{np}) \cdot Q_{H,др}} = \dots = \text{ кг/м}^2.$$

г) Сравнить P_k и $P_{к,кр}$:

$P_k < P_{к,кр}$, значит в помещении будет пожар регулируемый, тогда:

$$t_{max} = \dots = \dots = \text{ }^\circ\text{C}.$$

д) Рассчитать время достижения максимального значения температуры:

$$\tau = \dots = \dots = \text{ мин}.$$

Следовательно, среднеобъёмная температура к 25 минуте \dots

е) Рассчитать температуру в помещении на 25 минуте с начала развития пожара:

$$\frac{t_{25} - t_0}{t_{max} - t_0} = 115,6 \left(\frac{\tau}{\tau_{max}} \right)^{4,75} \cdot e^{-4,75(\tau / \tau_{max})},$$

$$t_{25} = 115,6 \left(\frac{\tau}{\tau_{max}} \right)^{4,75 - 4,75(\tau / \tau_{max})} \cdot e^{-4,75(\tau / \tau_{max})} \cdot (t_{max} - t_0) + t_0 = \dots = \text{ }^\circ\text{C}.$$

Ответ:

Среднеобъёмная температура в помещении на 25 мин с начала пожара равна \dots °C.

Задача 2:

Рассчитать значение среднеобъёмной температуры в помещении на 25 минуте с начала пожара, если известно, что размер помещения 15x32x4 м, размеры проемов 1,6x2,0 м, число проёмов – 3, горючее вещество – бумага разрыхлённая в количестве 10000 кг, низшая теплота сгорания – 13400 кДж/кг, объём воздуха, необходимый для сгорания 1кг бумаги равен 3,95м³/кг, массовая скорость выгорания древесины равна 0,08 кг/м²·с.

Решение:

1. Определить режим пожара в помещении, для этого надо рассчитать:

а) Проремность помещения, т.к. $V=15 \cdot 32 \cdot 4=1920 \text{ м}^3$, что больше 10 м^3 .

$$\Pi = \sum F_{i,пр} H_i^{0,5} / F_{пола},$$

$$\sum F_{пр} = (1,6 \cdot 2,0) \cdot 3 = 9,6 \text{ м}^2,$$

$$F_{пола} = 15 \cdot 32 = 480 \text{ м}^2,$$

$$\Pi = 9,6 \cdot 2,0^{0,5} / 480 = 0,03 \text{ м}^{0,5}.$$

б) Рассчитать критическую пожарную нагрузку:

$$P_{к.кр} = \frac{4500 \Pi^3}{1 + 500 \Pi^3} + \frac{V^{0,333}}{6V_г^0} = \frac{4500 \cdot 0,03^3}{1 + 500 \cdot 0,03^3} + \frac{1920^{0,333}}{6 \cdot 3,95} = 10,56 \text{ кг/м}^2.$$

в) Рассчитать пожарную нагрузку приведённую к древесине, отнесенную к площади тепловоспринимающих поверхностей:

$$P_k = \frac{\sum P_i Q_{Hi}}{(6F_{пола} - \sum F_{пр}) \cdot Q_{H,др}} = \frac{10000 \cdot 13400}{(6 \cdot 480 - 9,6) \cdot 16500} = 2,82 \text{ кг/м}^2.$$

При пожарах, регулируемых пожарной нагрузкой (ПРН), максимальную среднеобъемную температуру определяют по формуле:

$$t_{\max} - t_0 = 224 P_{\kappa}^{0.528}.$$

Время достижения максимального значения среднеобъемной температуры для ПРН определяют из выражения:

$$\tau_{\max} = 32 - 8,1 \cdot P_{\kappa}^{3.2} \cdot e^{-0.92 P_{\kappa}},$$

г) Сравнить P_{κ} и $P_{\kappa, \text{кр}}$:

$P_{\kappa, \text{кр}} > P_{\kappa}$, т.е. $10,56 > 2,82$, значит в помещении будет пожар регулируемый пожарной нагрузкой (ПРН), тогда:

$$t_{\max} = 224 \cdot P_{\kappa}^{0.528} = 224 \cdot 2,82^{0.528} = 387 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

д) Рассчитать время достижения максимального значения температуры:

$$\tau = 32 - 8,1 P_{\kappa}^{3.2} \cdot e^{-0.92 P_{\kappa}} = 32 - 8,1 \cdot 2,82^{3.2} \cdot e^{-0.92 \cdot 2,82} = 15 \text{ мин.}$$

Следовательно, среднеобъемная температура к 25 минуте понизится.

е) Рассчитать температуру в помещении на 25 минуте с начала развития пожара:

$$\frac{t_{25} - t_0}{t_{\max} - t_0} = 115,6 \left(\frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^{4.75} \cdot e^{-4.75(\tau / \tau_{\max})},$$
$$t_{25} = 115,6 \left(\frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^{4.75 - 4.75(\tau / \tau_{\max})} \cdot e^{-4.75(\tau / \tau_{\max})} \cdot (t_{\max} - t_0) + t_0 = 115,6 \left(\frac{25}{15} \right)^{4.75} \cdot e^{-4.75 \left(\frac{25}{15} \right)} \cdot (387 - 25) + 25 = 204 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Ответ:

Среднеобъемная температура в помещении на 25 мин с начала пожара равна $204 \text{ }^{\circ}\text{C}$.