

МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**“ Расчет температурного режима и газообмена при пожаре в  
ограждении”**

Для курсантов учебных заведений МВД Украины

УТВЕРЖДЕНО  
оперативно- тактической кафедрой .  
Протокол № от октября 1996г.

Харьков -1996

**Методические указания “Расчет температурного режима и газообмена при пожаре в ограждении”.** Для курсантов учебных заведений МВД Украины / Сост. И.Г.Дервянко, Ю.Н. Сенчихин. - Харьков: ХИПБ МВД Украины, 1996. - 24с.

### **Издание учебное**

Составители: И.Г.Дервянко  
Ю.Н. Сенчихин

Отв. за выпуск: Мамон В.П.

Расчет возможного температурного режима при пожаре в помещении выполняется с целью установления:

1. Действительного предела огнестойкости строительных конструкций.
2. Расчета сил и средств при организации тушения пожара.
3. Расчета времени срабатывания датчиков пожарной автоматики.

Среднеобъемная температура среды в помещении при пожаре в любой момент времени определяют по формуле

$$T_{\tau} = 0.66 T_{\text{ад}} \left( \frac{\eta S_{\text{пож}} u_m C_p V_{\text{пг}}}{60 \sigma_0 \varepsilon_{\text{пр}} S_{\text{огр}} T_{\text{ад}}^3} \right)^{0.17}, \quad (1)$$

где  $T_{\tau}$  - адиабатическая температура горения, К;

$S_{\text{пож}}$  - площадь пожара, м<sup>2</sup>;

$u_m$  - приведенная массовая скорость выгорания вещества, кг/(м<sup>2</sup> мин);

$\eta$  - коэффициент химического недожога вещества;

$C_p$  - удельная теплоемкость продуктов горения при заданной температуре, кДж/(м<sup>3</sup> К);

$\varepsilon_{\text{пр}}$  - приведенная степень черноты системы "пламя — ограждающая поверхность";

$S_{\text{огр}}$  - общая площадь ограждающих поверхностей, м<sup>2</sup>;

$\sigma_0$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела, 5\*10<sup>-11</sup> кВт/(м<sup>2</sup> К<sup>4</sup>);

$V_{\text{пг}}$  - удельный фактический объем продуктов горения, образующийся при сгорании одного килограмма горючего вещества, м<sup>3</sup>/кг.

Адиабатическую температуру горения можно рассчитать по формуле

$$T_{\text{ад}} = \frac{\eta Q_n^p}{C_p V_{\text{пг}}} + 273, \quad (2)$$

где  $Q_n^p$  - низшая теплота сгорания вещества, которая рассчитывается или принимается для горючего материала по таблицам 1.5 и 1.6 стр. 23-24 [1], кДж/кг.

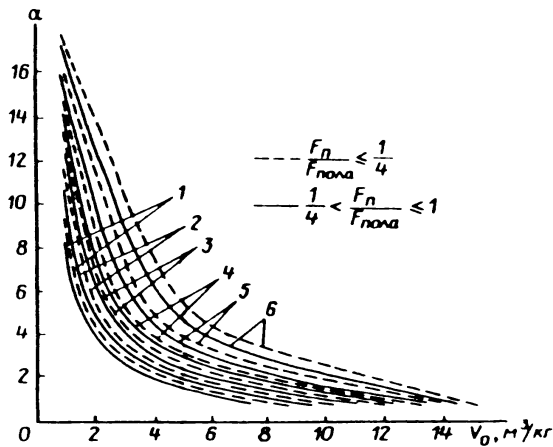
Удельный фактический объем продуктов горения определяется в зависимости от коэффициента избытка воздуха

$$V_{\text{пр}} = v_{\text{пр}}^0 + v_{\text{в}}^0(\alpha - 1), \quad (3)$$

где  $v_{\text{пр}}^0$  - удельный теоретический объем продуктов сгорания для горючего вещества, который определяется расчетом или принимается по таблице 1.3 стр. 21 [1] м<sup>3</sup>/кг;

$v_{\text{в}}^0$  - удельный теоретический расход воздуха для полного сгорания вещества, который определяется расчетом или принимается по таблице 1.3 стр. 21 [1] м<sup>3</sup>/кг;

$\alpha$  - коэффициент избытка воздуха.



**Рисунок 1. Номограмма для определения коэффициента избытка воздуха.**

Коэффициент избытка воздуха можно определить по номограмме (см. рис. 1) в зависимости от удельного теоретического расхода воздуха и отношения площади приточных проемов к площади пожара в указанные периоды его развития.

Номер кривой принимается в зависимости от  $S_{\text{прит}}/S_{\text{пож}}$

- При отношении до 1/24 или 0.042 кривая 1
- При отношении от 1/24 до 1/18 или 0.056 кривая 2
- При отношении от 1/18 до 1/10 или 0.1 кривая 3
- При отношении от 1/10 до 1/6 или 0.167 кривая 4

При отношении от 1/6 до 1/4 или 0.25 кривая 5

При отношении от 1/4 до 1/3 или 0.33 кривая 6.

Кривая может быть пунктирной при отношении  $S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}}$  - до 1/4 или до 0.25. При большем отношении площади пожара к площади пола помещения принимается сплошной вид кривой.

При определении площади проемов, через которые осуществляется воздухообмен в помещении считается, что полностью вскрываются проемы попавшие в зону горения, при этом на приток  $S_{\text{прит}}$  работает одна треть площади открытых проемов  $S_{\text{пр}}$ .

$$S_{\text{прит}} = \frac{S_{\text{пр}}}{3}, \quad (4)$$

Массовая скорость выгорания вещества изменяется в зависимости от фазы развития пожара. Массовую скорость выгорания можно определить по формуле

$$u_m = u_m^0 \left( 0.3 + 0.7 \sqrt{\frac{\tau_{\text{пож}}}{30}} \right), \quad (5)$$

где  $u_m^0$  - массовая скорость выгорания, которая определяется по таблице 1.5 или 1.6 стр. 23-24 [1] кг/(м<sup>3</sup> мин);

$\tau_{\text{пож}}$  - время развития пожара, с.

Удельная объемная теплоемкость продуктов горения зависит от их состава и температуры. Для определения удельной теплоемкости продуктов горения необходимо предварительно задаться температурой пожара на выбранные моменты его развития. Значение температуры пожара выбирается исходя из опыта работы или предварительного расчета по методике стандартного температурного режима пожара. Удельная объемная теплоемкость продуктов горения определяется по формуле

$$C_p = 1.25 + \left( 0.12 + \frac{0.1}{0.25 + \alpha} \right) \frac{T_i}{1000}, \quad (6)$$

Приведенная степень черноты системы "пламя — ограждающая поверхность" определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{1 + 0.0022(T_r - 273)}, \quad (7)$$

Полная поверхность ограждающих конструкций  $S_{\text{отр}}$  определяется как сумма поверхности стен, пола и потолка, которые воспринимают

тепловой поток. Площадь ограждающих конструкций можно определить по формуле

$$S_{\text{огр}} = 2(A \cdot B + A \cdot H + B \cdot H), \quad (8)$$

где  $A$ ;  $B$  и  $H$  - длина, ширина и высота помещения, м.

После определения среднеобъемной температура пожара на заданные моменты его развития необходимо сравнить полученные результаты с предварительно заданными значениями температуры.

Если выбранное значение отличается от рассчитанного более чем на 10 процентов, то проводят повторный расчет, используя полученное значение среднеобъемной температуры пожара для определения теплоемкости и приведенной степени черноты.

Температура в заданной точке помещения в любой момент развития пожара определяется как

$$T_{x,y,\tau} = T_{\tau} \left( 0.8 + 0.2 \frac{y}{y_0} \right) \left( 1.33 - \frac{x}{2x + x_0} \right), \quad (9)$$

где  $x$  и  $y$  - координаты точки, в которой определяется температура пожара в метрах. Начало отсчета принимается в геометрическом центре пожара.

$x_0$  и  $y_0$  - условные координаты, принимаемые как половина высоты помещения и половина расстояния от центра пожара до ограждающих конструкций. При развитии пожара в центре помещения  $y_0 = 0.5 H$ , а  $x_0 = 0.25 A$ .

#### Порядок решения задачи:

1. Для горючего вещества выписать из справочника РТП [1] значения массовой скорости выгорания, нижней массовой теплоты сгорания, удельный теоретический расход воздуха, удельный объем продуктов сгорания и коэффициент полноты сгорания.

2. Рассчитать площадь пожара на заданные периоды его развития

3. Определить общую площадь открытых проемов и площадь проемов работающих на приток.

4. Определяется коэффициент избытка воздуха по номограмме рисунок 1.

5. Рассчитывается фактический удельный объем продуктов сгорания.

6. Рассчитывается приведенная массовая скорость выгорания вещества.

7. Рассчитывается объемная теплоемкость среды в помещении при пожаре.

8. Рассчитывается значение приведенной степени черноты системы "пламя — ограждающая поверхность" и полную поверхность теплообмена.

9. Рассчитывается значение среднеобъемной температуры пожара в помещении на заданные моменты его развития.

Сравнивая полученные расчетом среднеобъемные температуры пожара в помещении с принятыми значениями температуры для определения величин теплоемкости и приведенной степени черноты.

При расхождении более 10 % следует задаться новым значением температуры и повторить расчет.

10. Определяются координаты заданной в условиях задачи точки помещения.

11. Рассчитывается значение температуры в заданных точках помещения на указанные моменты развития пожара.

По результатам расчетов строятся графики изменения среднеобъемной температуры и температуры в заданных точках во времени.

### Пример 1

Рассчитать площадь пожара, среднеобъемную температуру, температуру над очагом пожара и на уровне 1.7 метра у двери помещения библиотеки на 5, 15 и 20 минутах с момента его возникновения. Размеры помещения 48x24x4.2 м, оконные проемы имеют размеры 3x1.8 м, дверной проем размерами 1.8x2.2 м. Расположение проемов на плане.

1. Из справочника РТП [1] для книг в стеллажах выписываем:

$u_m^0$  - массовая скорость выгорания 0.438 кг/(м<sup>2</sup> мин);

$Q_n^p$  - массовая теплота сгорания 13400 кДж/кг;

$V_b^0$  - удельный теоретический расход воздуха для полного сгорания 3.95 м<sup>3</sup>/кг;

$V_{пг}^0$  - удельный теоретический объем продуктов сгорания 4.64 м<sup>3</sup>/кг;

$\eta$  - коэффициент химического недожога 0.97;

$u_1$  - линейная скорость распространения горения от 1 до 1.5 м/мин, принимаем среднее значение (1+1.5)/2=1.25 м/мин.

2. Рассчитываем площадь пожара на 5, 15, 15 минуте его развития.

2.1 Радиус развития пожара на 5 минуте

$$R_1 = 0.5u_1\tau_1 = 0.5*1.25*5 = 3.125 \text{ м}$$

Фронт пламени не дошел до стен, значит форма развития пожара

круговая.

2.2 Площадь пожара на 5 минуте

$$S_{\text{пож1}} = \pi R_1^2 = 3.14 * 3.125^2 = 30.7 \text{ м}^2$$

2.3 Радиус развития пожара на 15 минуте

$$\begin{aligned} R_2 &= 0.5u_1\tau_2 + u_1(\tau_2 - 10) = \\ &= 0.5 * 1.25 * 10 + 1.25 * (15 - 10) = 12.5 \text{ м.} \end{aligned}$$

Фронт пламени дошел до стен помещения, значит форму развития пожара принимаем прямоугольной.

2.4 Площадь пожара на 15 минуте

$$S_{\text{пож2}} = B * 2R_2 = 24 * 2 * 12.5 = 600 \text{ м}^2$$

2.5 Радиус развития пожара на 20 минуте

$$\begin{aligned} R_3 &= 0.5u_1\tau_3 + u_1(\tau_3 - 10) = \\ &= 0.5 * 1.25 * 10 + 1.25 * (20 - 10) = 18.75 \text{ м} \end{aligned}$$

2.6 Площадь пожара на 20 минуте

$$S_{\text{пож3}} = B * 2R_3 = 24 * 2 * 18.75 = 900 \text{ м}^2$$

2.7 Площадь пола помещения

$$S_{\text{пол}} = A * B = 48 * 24 = 1152 \text{ м}^2$$

По результатам расчета строим план развития пожара в помещении (см. рис. 2).

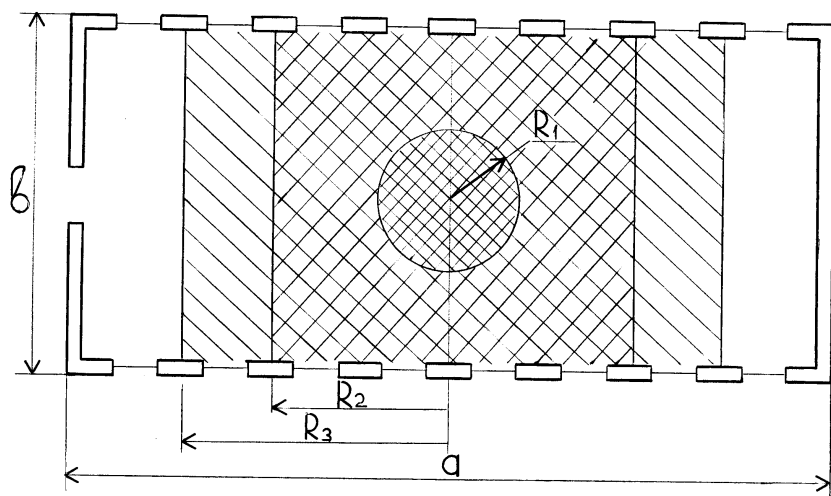


Рисунок 2. План развития пожара

3. Определяем общую площадь открытых проемов и площадь проемов



работающих на приток.

Строим план развития пожара (см. рис. 2) и определяем площадь вскрывшихся проемов.

На 5 минуте фронт пламени не доходит к оконным проемам и воздухообмен осуществляется только через открытую дверь.

Площадь дверного проема равна

$$S_{\text{пр}} = 1.8 * 2.2 = 3.96 \text{ м}^2.$$

Площадь проема, работающего на приток

$$S_{\text{прит1}} = \frac{3.96}{3} = 1.32 \text{ м}^2.$$

На 15 минуте в зоне горения оказалось 8 оконных проемов, общая площадь вскрывшихся проемов равна

$$S_{\text{пр2}} = S_{\text{дв}} + S_{\text{окон}} = 3.96 + 8 * 3 * 1.8 = 47.16 \text{ м}^2.$$

Площадь проема, работающего на приток

$$S_{\text{прит2}} = \frac{47.16}{3} = 15.72 \text{ м}^2$$

На 20 минуте в зоне горения оказалось 12 оконных проемов, общая площадь вскрывшихся проемов равна

$$S_{\text{пр3}} = S_{\text{дв}} + S_{\text{окон}} = 3.96 + 12 * 3 * 1.8 = 68.76 \text{ м}^2.$$

Площадь проема, работающего на приток

$$S_{\text{прит3}} = \frac{68.76}{3} = 22.92 \text{ м}^2$$

4. Определяется коэффициент избытка воздуха по номограмме рисунок 1.

Для удобства все необходимые данные сносим в таблицу 1.

**Таблица 1**

Время, мин	Площадь пожара	Площадь притока	$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож}}$	$S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}}$	$\alpha$
5	30.7	1.32	$1.32:30.7=$ $=0.043$	$30.7:1152=$ $=0.025$	2.5
15	600	15.72	$15.72:600=$ $=0.026$	$600:1152=$ $=0.479$	1.8
20	900	22.92	$22.92:900=$ $=0.0266$	$900:1152=$ $=0.719$	1.8

На рисунке 1 по оси ординат отложены значения коэффициента

избытка воздуха, а по оси абсцисс - удельного теоретического объема воздуха. По величине отношения  $S_{\text{прит}}/S_{\text{пож}}$  выбирается номер кривой на рисунке, а по отношению  $S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}}$  - ее вид.

Для 5 минуты развития пожара получается кривая 2 прерывистого вида. Поэтому значение коэффициента избытка воздуха принимается равным 2.5.

Для 15 минуте развития кривая 1 сплошного типа. Коэффициент избытка воздуха 1.8.

Для 20 минуте развития кривая 1 сплошного типа. Коэффициент избытка воздуха 1.8.

5. Рассчитываем фактический удельный объем продуктов сгорания:

На 5 минуте развития пожара

$$v_{\text{пр1}} = 4.64 + 3.95 \cdot (2.5 - 1) = 10.565 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

На 15 минуте развития пожара

$$v_{\text{пр2}} = 4.64 + 3.95 \cdot (1.8 - 1) = 7.8 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

На 20 минуте развития пожара

$$v_{\text{пр3}} = 4.64 + 3.95 \cdot (1.8 - 1) = 7.8 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

6. Рассчитываем приведенную массовую скорость выгорания вещества.

На 5 минуте развития пожара

$$u_{\text{м1}} = 0.438 \left( 0.3 + 0.7 \sqrt{\frac{5}{30}} \right) = 0.257 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ мин}).$$

На 15 минуте развития пожара

$$u_{\text{м2}} = 0.438 \left( 0.3 + 0.7 \sqrt{\frac{15}{30}} \right) = 0.348 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ мин}).$$

На 20 минуте развития пожара

$$u_{\text{м3}} = 0.438 \left( 0.3 + 0.7 \sqrt{\frac{20}{30}} \right) = 0.382 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ мин}).$$

7. Рассчитываем объемную теплоемкость среды в помещении при пожаре.

Предположительная температура пожара на 5 минуте  $t_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$C_{\text{р1}} = 1.25 + \left( 0.12 + \frac{0.1}{0.25 + 2.5} \right) \frac{(80 + 273)}{1000} = 1.305 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К}).$$

На 15 минуте принимаем предположительную температуру  $t_2 = 400$  °С.

$$C_{p_2} = 1.25 + \left( 0.12 + \frac{0.1}{0.25 + 1.8} \right) \frac{(400 + 273)}{1000} = 1.364 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К}).$$

На 20 минуте принимаем предположительную температуру  $t_3 = 500$ °С.

$$C_{p_3} = 1.25 + \left( 0.12 + \frac{0.1}{0.25 + 1.8} \right) \frac{(500 + 273)}{1000} = 1.381 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К}).$$

8. Рассчитываем значение приведенной степени черноты системы "пламя — ограждающая поверхность".

На 5 минуте развития пожара

$$\varepsilon_{np1} = \frac{1}{1 + 0.0022 * 80} = 0.85.$$

На 15 минуте развития пожара

$$\varepsilon_{np2} = \frac{1}{1 + 0.0022 * 400} = 0.53.$$

На 20 минуте развития пожара

$$\varepsilon_{np3} = \frac{1}{1 + 0.0022 * 500} = 0.476.$$

9. Рассчитываем значение среднеобъемной температуры пожара в помещении на 5, 15 и 20 минуте его развития.

Адиабатическая температура горения на 5 минуте

$$T_{ад1} = \frac{0.97 * 13400}{1.305 * 10.565} + 273 = 1215.7 \text{ К}.$$

Адиабатическая температура горения на 15 минуте

$$T_{ад2} = \frac{0.97 * 13400}{1.364 * 7.8} + 273 = 1494.7 \text{ К}.$$

Адиабатическая температура горения на 20 минуте

$$T_{ад3} = \frac{0.97 * 13400}{1.381 * 7.8} + 273 = 1479.7 \text{ К}.$$

Среднеобъемная температура на 5 минуте

$$T_{r1} = 0.66 * 1215.7 * \left( \frac{0.97 * 30.7 * 0.257 * 1.305 * 10.565}{60 * 5.7 * 10^{-11} * 0.85 * 2908 * 1215.7^3} \right)^{0.17} = 345.6 \text{ К}.$$

Среднеобъемная температура на 15 минуте

$$T_{\tau_2} = 0.66 * 1494.7 * \left( \frac{0.97 * 600 * 0.348 * 1.305 * 7.8}{60 * 5.7 * 10^{-11} * 0.53 * 2908 * 1494.7^3} \right)^{0.17} = 689.2 \text{ К}.$$

Среднеобъемная температура на 20 минуте

$$T_{\tau_3} = 0.66 * 1479.7 * \left( \frac{0.97 * 900 * 0.348 * 1.381 * 7.8}{60 * 5.7 * 10^{-11} * 0.48 * 2908 * 1479.7^3} \right)^{0.17} = 749.9 \text{ К}.$$

Полученные значения среднеобъемной температуры практически не отличаются от предварительно принятых значений, поэтому можно проводить расчет дальше, приняв следующие значение температуры:

на 5 минуте пожара  $T = 345.6 \text{ К}$ ,  $t = 72.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

на 15 минуте пожара  $T = 689.2 \text{ К}$ ,  $t = 416.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

на 20 минуте пожара  $T = 749.9 \text{ К}$ ,  $t = 476.9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

10. Определяем безразмерные координаты заданных точек.

Точка 1  $X_1 = 0 \text{ м}$ ;  $Y_1 = 4.2 \text{ м}$ ;

точка 2  $X_2 = 24 \text{ м}$ ;  $Y_2 = 1.7 \text{ м}$ .

11. Рассчитываем значение температуры в точке  $X_1$   $Y_1$  и точке  $X_2$   $Y_2$  на 5, 15 и 20 минуте развития пожара.

Точка 1 на 5 минуте

$$T_{x_1, y_1, \tau_1} = 345.6 * \left( 0.8 + 0.2 \frac{4.2}{0.5 * 4.2} \right) \left( 1.33 - \frac{0}{0 + 0.25 * 48} \right) = 551.6 \text{ К}.$$

Точка 1 на 15 минуте

$$T_{x_1, y_1, \tau_2} = 689.2 * \left( 0.8 + 0.2 \frac{4.2}{0.5 * 4.2} \right) \left( 1.33 - \frac{0}{0 + 0.25 * 48} \right) = 1099.9 \text{ К}.$$

Точка 1 на 20 минуте

$$T_{x_1, y_1, \tau_3} = 749.9 * \left( 0.8 + 0.2 \frac{4.2}{0.5 * 4.2} \right) \left( 1.33 - \frac{0}{0 + 0.25 * 48} \right) = 1119.6 \text{ К}.$$

На 5 минуте пожара  $t_{x_1, y_1, \tau_1} = 551.5 - 273 = 278.5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

На 15 минуте пожара  $t_{x_1, y_1, \tau_2} = 1099.9 - 273 = 826.9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

На 20 минуте пожара  $t_{x_1, y_1, \tau_3} = 1196.8 - 273 = 923.8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Точка 2 на 5 минуте

$$T_{x_2, y_2, \tau_1} = 345.6 * \left( 0.8 + 0.2 \frac{1.7}{0.5 * 4.2} \right) \left( 1.33 - \frac{24}{24 + 0.25 * 48} \right) = 309.2 \text{ К}.$$

Точка 2 на 15 минуте

$$T_{x_2, y_2, r_2} = 689.2 * \left( 0.8 + 0.2 \frac{1.7}{0.5 * 4.2} \right) \left( 1.33 - \frac{24}{2 * 24 + 0.25 * 48} \right) = 616.5 \text{K}.$$

Точка 2 на 20 минуте

$$T_{x_2, y_2, r_3} = 749.9 * \left( 0.8 + 0.2 \frac{1.7}{0.5 * 4.2} \right) \left( 1.33 - \frac{24}{2 * 24 + 0.25 * 48} \right) = 670.8 \text{K}.$$

На 5 минуте пожара  $t_{x_2, y_2, r_1} = 309.2 - 273 = 6.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

На 15 минуте пожара  $t_{x_2, y_2, r_2} = 616.5 - 273 = 343.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

На 20 минуте пожара  $t_{x_2, y_2, r_3} = 670.8 - 273 = 397.8 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Строим график изменения среднеобъемной температуры и температуры в указанных точках помещения

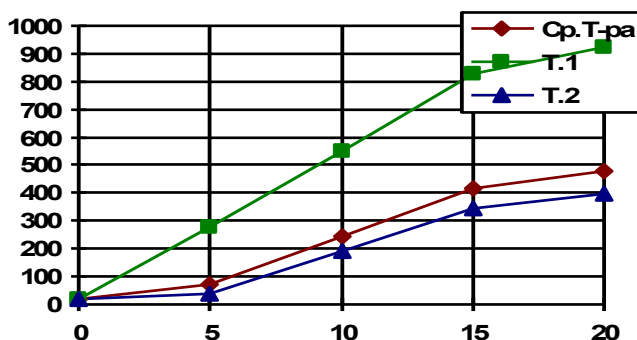


Рисунок 3. График изменения среднеобъемной температуры

Определение температурного режима пожара может проводиться и с использованием номограмм. Для этого необходимо провести расчеты в следующем порядке:

1. Для горючего вещества определяем по справочнику РТП [1] значения массовой скорости выгорания, нижней массовой теплоты сгорания, удельный теоретический расход воздуха, удельный объем продуктов сгорания и коэффициент полноты сгорания.
2. Рассчитать площадь пожара на заданные периоды его развития.
3. Определить общую площадь открытых проемов и площадь проемов работающих на приток.
4. Определяется коэффициент избытка воздуха по номограмме

рисунок 1.

5. Рассчитать тепловой поток, попадающий на единицу площади поверхности ограждающих конструкций по уравнению

$$q = \frac{\eta S_{\text{пож}} Q_n^p u_m^0}{60 F_{\text{огр}}}, \quad \text{кВт/м}^2 \quad (10)$$

где  $\eta$  - коэффициент химического недожега вещества;

$S_{\text{пож}}$  - площадь пожара, м<sup>2</sup>;

$Q_n^p$  - низшая теплота сгорания вещества, которая рассчитывается или принимается для горючего материала по таблицам 1.5 и 1.6 стр. 23-24 [1], кДж/кг;

$u_m^0$  - массовая скорость выгорания, которая определяется по таблице 1.5 или 1.6 стр. 23-24 [1] кг/(м<sup>2</sup> мин);

$S_{\text{огр}}$  - общая площадь ограждающих поверхностей, м<sup>2</sup>.

Полученные результаты для удобства использования лучше занести в таблицу

6. Пользуясь номограммой, рисунок 4, по полученным значениям теплового потока, коэффициента избытка воздуха определяется среднеобъемная температура пожара в указанные промежутки времени.

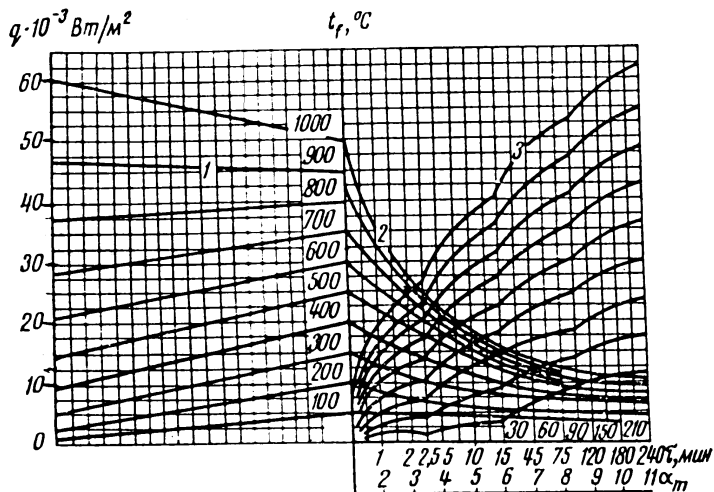


Рисунок 4. Определение среднеобъемной температуры

Определение среднеобъемной температуры производится следующим образом.

На левой оси координат находится значение теплового потока и проводится прямая на ось температур. Затем равноудалено от ближайшей кривой избытка воздуха  $t = f(\alpha)$  опускаемся до пересечения с перпендикуляром, восстановленным из точки, соответствующей коэффициенту избытка воздуха  $\alpha$ . Из полученной точки параллельно оси абсцисс перемещаемся до перпендикуляра, восстановленного из точки, соответствующей 30 минутам. Затем равноудалено от ближайшей кривой времени  $t = f(\tau)$  перемещаемся до перпендикуляра, восстановленного из точки соответствующей времени развития пожара. Если время развития пожара меньше 30 минут, то перемещение будет вниз и влево, если больше, то вверх и вправо.

Полученное значение от точки пересечения кривой с перпендикуляром из точки, соответствующей времени развития пожара, переносим параллельно оси абсцисс на ось температур и определяем температуру пожара в градусах Цельсия.

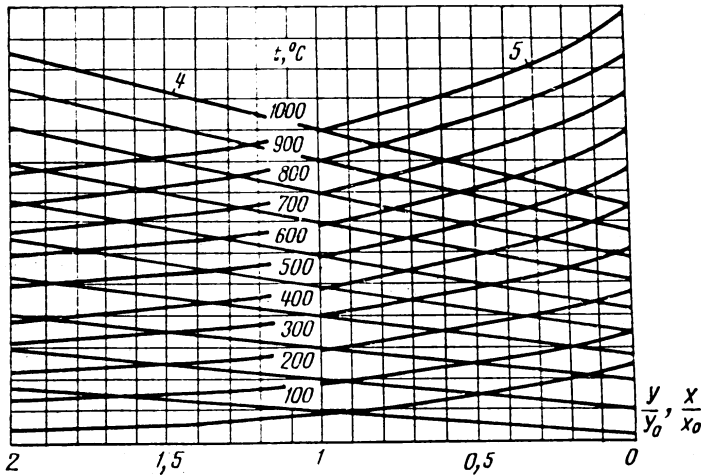


Рисунок 5. Номограмма для определения температуры в заданной точке помещения

7. Находим безразмерные координаты  $x/x_0$  и  $y/y_0$  заданной в условиях

задачи точки помещения из условия, что  $X_0$  и  $Y_0$  - условные координаты принимаемые как половина высоты помещения и половина расстояния от центра пожара до ограждающих конструкций. При развитии пожара в центре помещения  $y_0 = 0.5 H$ , а  $x_0 = 0.25 A$ .

8. Определение температуры в заданной точке помещения используя номограмму рисунок 5.

Температура в заданной точке определяется следующим образом - по кривой 4 -  $y/y_0$  перемещаемся до пересечения с перпендикуляром, восстановленным к оси абсцисс в точке "у"; параллельно оси абсцисс возвращаемся на ось температур; по кривой 5 -  $x/x_0$  перемещаемся до пересечения с перпендикуляром, восстановленным к оси абсцисс в точке "х"; сносим полученную точку пересечения параллельно оси абсцисс на ось температур, где получаем окончательный ответ.

По результатам расчетов строятся графики изменения среднеобъемной температуры и температуры в заданных точках во времени.

### Пример 2

В центре помещения насосной станции размерами 18x12x3 м, происходит горение мазута в лотке размерами 2x2 м .

Воздухообмен осуществляется через открытый дверной проем размерами 2 на 2,5 м. Определить, пользуясь номограммой среднеобъемную температуру и температуру у входа в помещении на высоте 1.5 м на 5 и 15 минутах развития пожара.

1. Из (1) для мазута выписываем:

$u_m^0$  - массовая скорость выгорания 2.1 кг/(м<sup>2</sup> мин);

$Q_n^p$  - массовая теплота сгорания 39800 кДж/кг;

$V_v^0$  - удельный теоретический расход воздуха для полного сгорания 11.30 м<sup>3</sup>/кг;

$V_{пт}^0$  - удельный теоретический объем продуктов сгорания, 11.86 м<sup>3</sup>/кг;

$\eta$  - коэффициент химического недожога 0.87.

2. Рассчитываем площадь пожара на заданные периоды его развития

$$S_{п.ож} = 2*2 = 4\text{м}^2 .$$

3. Определяем общую площадь вскрытых проемов и площадь проемов работающих на приток.

Площадь проема



$$S_{\text{пр}} = 2 \cdot 2.5 = 5 \text{ м}^2.$$

Площадь проема, работающего на приток воздуха

$$S_{\text{прит1}} = \frac{5}{3} = 1.67 \text{ м}^2.$$

4. Определяем коэффициент избытка воздуха по номограмме (см. рис. 1).

Площадь пола помещения

$$S_{\text{пол}} = A \cdot B = 18 \cdot 14 = 216 \text{ м}^2$$

Для удобства все необходимые данныеносим в таблицу.

**Таблица 2**

Время, мин	Площадь пожара	Площадь притока	$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож}}$	$S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}}$	$\alpha$
5	4	1.67	$1.67:4=$ $=0.418$	$4:216=$ $=0.0185$	1.9
15	4	1.67	$1.67:4=$ $=0.418$	$4:216=$ $=0.0185$	1.9

Для 5 минуты развития пожара получается кривая 6 прерывистого вида. Поэтому значение коэффициента избытка воздуха принимается равным 1.9

Для 15 минуте развития пожара значение коэффициента избытка воздуха не изменилось, так как площадь горения и воздухообмена остались неизменными.

5. Рассчитываем тепловой поток, попадающий на единицу площади поверхности ограждающих конструкций

$$q = \frac{0.87 \cdot 4 \cdot 39800 \cdot 2.1}{60 \cdot (2 \cdot (18 \cdot 12 + 18 \cdot 3 + 12 \cdot 3))} = 7.92 \text{ кВт/м}^2$$

6. Пользуясь номограммой (см. рис. 4), по полученным значениям теплового потока, коэффициента избытка воздуха определяем среднеобъемную температуру пожара на 5 и 15 минутах.

На левой оси координат находим значение теплового потока равное 7.92 кВт/м<sup>2</sup> и проводим прямую на ось температур. Затем равноудалено от ближайшей кривой избытка воздуха  $t = f(\alpha)$  опускаемся до пересечения с перпендикуляром, восстановленным из точки, соответствующей коэффициенту избытка воздуха. Из полученной точки параллельно оси абсцисс перемещаемся до перпендикуляра,

восстановленного из точки, соответствующей 30 минутам. Затем равноудалено от ближайшей кривой времени  $t = f(\tau)$  перемещаемся до перпендикуляра, восстановленного из точки соответствующей времени развития пожара равного 5 минутам. Полученное значение от точки пересечения кривой с перпендикуляром из точки, соответствующей времени развития пожара 5 минут, переносим параллельно оси абсцисс на ось температур и получаем температуру 270 °С. Для 15 минуты развития пожара повторяем все действия и получаем значение 310 °С.

7. Находим безразмерные координаты точки находящейся у дверного проема на высоте 1.5 метра

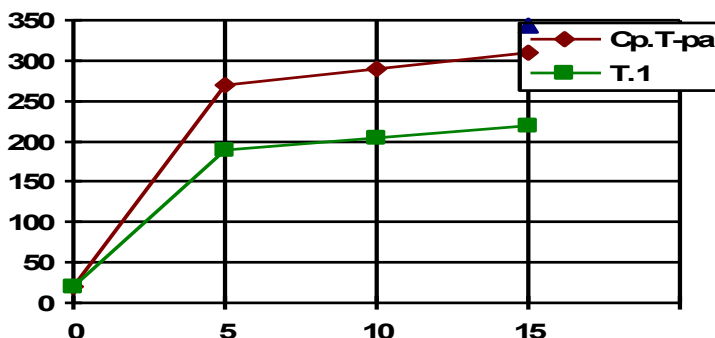
$$\frac{y}{y_0} = \frac{1}{0.5 \cdot H} = \frac{1.5}{0.5 \cdot 3} = 1$$

$$\frac{x}{x_0} = \frac{9}{0.25 \cdot A} = \frac{9}{0.25 \cdot 18} = 2$$

8. Определяем температуру в заданной точке помещения, используя номограмму рисунок 5.

По кривой  $X/X_0$  перемещаемся до пересечения с перпендикуляром, восстановленным к оси абсцисс в точке 2, параллельно оси абсцисс возвращаемся на ось температур и получаем температуру на 5 минуте 190 °С. На 15 минуте определяем температуру тем же способом и получаем температуру равную 220 °С.

Строим график изменения среднеобъемной температуры и температуры у входа в здание.



**Рисунок 6. График изменения среднеобъемной температуры**

На основании полученных данных по изменению температуры как в

целом в помещении, так и в отдельных его точках можно делать практические выводы о поведении строительных конструкций в условиях пожара, времени срабатывания датчиков систем пожарной автоматики и другие практические выводы. Расчет температурного режима пожара в ограждении может быть основой при прогнозировании условий развития пожара и разработки тактического замысла при проведении практических занятий пожарных подразделений на объектах. Используя результаты расчета среднеобъемной температуры можно определить положение области равных давлений при воздухообмене.

Температура газов при пожаре существенно изменяется по объему помещения: она выше среднеобъемной над очагом горения и ниже в нижней зоне вдали от очага горения.

При пожаре в помещениях можно выделить зоны с повышенной температурой, где она равна или выше среднеобъемной температуры пожара и зону с пониженной температурой, где она равна температуре окружающей среды.

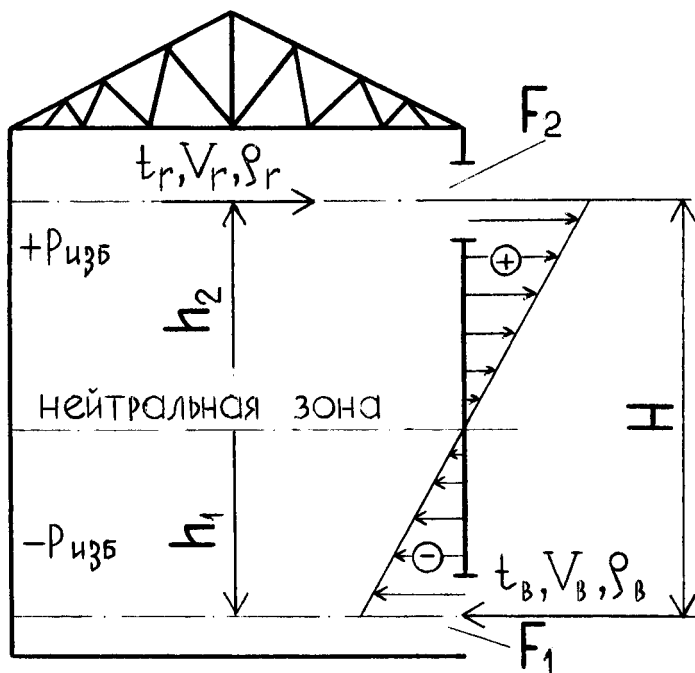
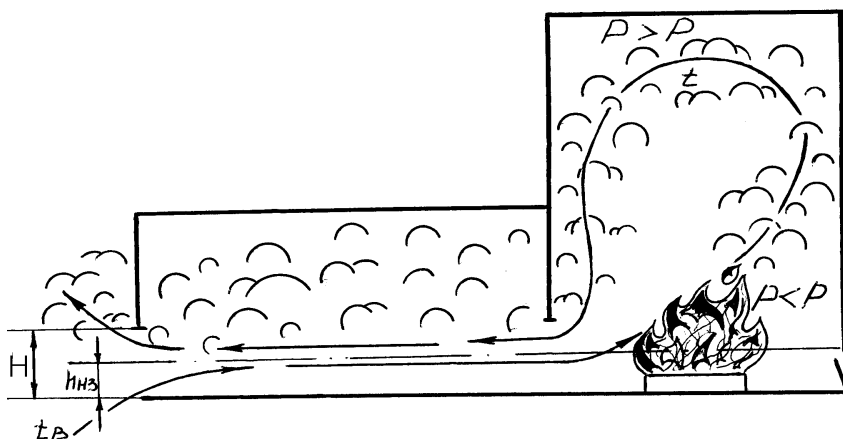


Рисунок 7. Схема воздухообмена при пожаре в помещении

Между зоной с высокой температурой (область высокого давления)  $P_{пр} > P_0$  и зоной с низкой температурой (область разряжения)  $P_{пр} < P_0$  образуется зона равных давлений, где давление  $P_{пр} = P_0$  равно атмосферному.

Положение зоны равных давлений определяет область помещения заполненного свежим воздухом где работа личного состава может осуществляться без использования индивидуальных средств защиты органов дыхания.

Воздухообмен может осуществляться через один или несколько проемов находящихся на одном уровне или через несколько проемов, но расположенных в разных уровнях. В первом случае приток свежего воздуха происходит в нижней части проема, а удаление продуктов горения в его верхней части. Зона равных давлений проходит непосредственно по сечению проема.



**Рисунок 8. Схема воздухообмена при пожаре в помещении**

Расчетная формула для определения положения зоны равных давлений (нейтральной зоны) имеет вид

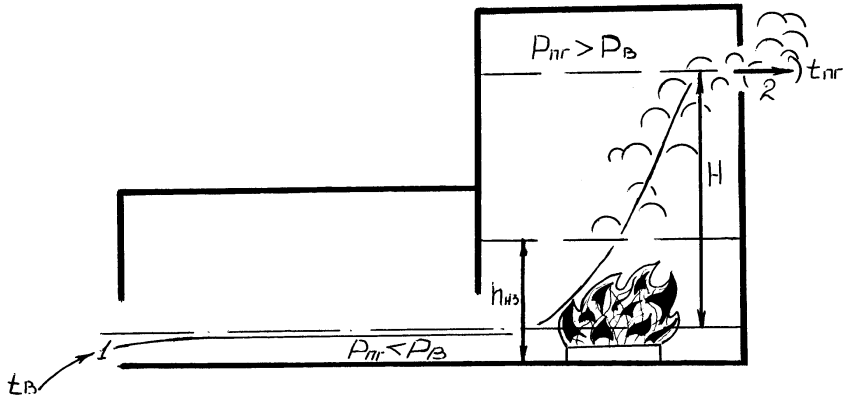
$$h_{нз} = \frac{H}{1 + \sqrt[3]{\frac{T_{пр}}{T_B}}}, \quad (11)$$

где  $H$  - полная высота проема, через которых осуществляется воздухообмен, м;

$T_{пг}$  - температура продуктов горения (среднеобъемная температура пожара), К;

$T_{в}$  - температура воздуха, К.

В тех случаях, когда воздухообмен осуществляется через несколько проемов расположенных в разных уровнях проемы попавшие в область разряжения работают на приток воздуха, а те из них, которые попали в область высокого давления работают на выброс продуктов горения. Область равных давлений при этом будет расположена между центрами проемов. Высота нейтральной зоны при этом будет зависеть от разности температур, площади приточного и вытяжного проемов, геометрического места расположения проемов.



**Рисунок 9. Схема воздухообмена через два проема при пожаре в помещении**

Высота нейтральной зоны при этом определяется по формуле

$$h_{нз} = \frac{H}{\left(\frac{S_{прит}}{S_{вых}}\right)^2 \frac{T_{пг}}{T_{в}} + 1} + 0.5h_{прит}, \quad (12)$$

где  $S_{прит}$  - площадь проемов, работающих на приток, м<sup>2</sup>;

$S_{вых}$  - площадь проемов, работающих на выброс продуктов горения, м<sup>2</sup>;

$H$  - расстояние между центрами приточных и вытяжных проемов, м;

$h_{\text{прит}}$  - высота приточного проема от пола помещения, м.

В тех случаях, когда воздухообмен осуществляется через несколько одинаковых отверстий расположенных на одном уровне площадь их суммируется.

Определение высоты нейтральной зоны производится в следующем порядке:

1. Определяется схема воздухообмена и выбирается расчетная формула для определения высоты нейтральной зоны. Если воздухообмен протекает через одно отверстие, тогда рассчитывают высоту нейтральной зоны по формуле (11). При воздухообмене через два отверстия расположенных на разных уровнях расчет проводят дальше.

2. Определяют площадь приточных и вытяжных проемов.

3. Определяют расстояние между центрами приточных и вытяжных отверстий.

4. Определяют высоту нейтральной зоны по формуле (12).

### Пример 3

Определить высоту нейтральной зоны при пожаре в сценической части театра размерами 18x10x20 метров, на 5 минуте развития пожара, если среднеобъемная температура равна 250 °С, а воздухообмен осуществляется через открытую дверь размером 1.2x2.2 м, на 10 минуте, если среднеобъемная температура равна 320 °С, а воздухообмен осуществляется через открытую дверь и дымовой люк размерами 4.0x1.8 метра расположенного в верхней части помещения. Начальная температура воздуха равна 15 °С .

1. Определяем высоту нейтральной зоны на 5 минуте развития пожара, считая, что воздухообмен осуществляется через один проем.

$$h_{\text{нз}} = \frac{2.2}{1 + \sqrt[3]{\frac{(250 + 273)}{(15 + 273)}}} = 0.99 \text{ , м.}$$

Определяем высоту нейтральной зоны на 10 минуте развития пожара.

В данном случае схема воздухообмена отдельным притоком воздуха через открытую дверь и выбросом продуктов сгорания через дымовой люк, поэтому предварительно определяем:

2. Площадь приточного и вытяжного проема

Площадь приточного проема

$$S_{\text{прит}} = a * h_{\text{прит}} = 1.2 * 2.2 = 2.64 \text{ м}^2$$

Площадь вытяжного проема

$$S_{\text{вых}} = a \cdot h_{\text{вых}} = 4.0 \cdot 1.8 = 7.2 \text{ м}$$

3. Расстояние между центрами проемов

$$H = 20 - \frac{2.2 + 1.8}{2} = 18 \text{ м}$$

4. Определяем высоту нейтральной зоны расчетом

$$h_{\text{нз}} = \frac{18}{\left(\frac{2.64}{7.2}\right)^2 \frac{(320 + 273)}{(15 + 273)} + 1} + 0.5 \cdot 2.2 = 6.74 \text{ м}$$

### Литература

1. Иванников В.П., Клюс П.П. Справочник руководителя тушения пожарам. М: Стройиздат, 1987. - 288с.

2. Романенко И.М., Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле.- М.: ВИПТШ МВД СССР, 1977.- 415 с.

3. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров.- М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. - 255 с.

4. Задачник по термодинамике и теплопередаче в пожарном деле. Под редакцией к.т.н. доцента М.П. Башкирцева.- М.: ВИПТШ МВД СССР, 1979. -318 с.

## Издание учебное

Подп. в печать .96г.

Печать офсетная

Усл.-печ. листов -1.3

Формат 60x84 1/16

Заказ №

Тираж - 300 экз.

Бумага офс.

Изд. № 47

---

ХИПБ МВД Украины, 310023, г. Харьков, ул. Чернышевского, 94