

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

В.В. Андреев, Ю.В. Казанцев, Ю.И. Козлов,
Ю.А. Кошмаров, В.Г. Лимонов, С.В. Пузач

ЗАДАЧНИК ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

Часть III. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ
ТЕПЛОМАССООБМЕНА

Под редакцией заслуженного деятеля науки Российской Федерации
доктора технических наук, профессора, академика НАНПБ
Ю.А. КОШМАРОВА

*Допущено Министерством Российской Федерации по делам
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий в качестве учебного пособия
для высших образовательных учреждений МЧС России*

Москва 2005

УДК – 536,7 + 536,24: 614,84 (076)

ББК – 536.7 + 536.24: 614.84 (076)

А – 65

Андреев В.В., Казанцев Ю.В., Козлов Ю.И. и др.

Задачник по термодинамике и теплопередаче. Ч.Ш. Нестационарные процессы тепломассообмена: Учеб. пособие / Под ред. д-ра техн. наук, проф., акад. НАНПБ Ю.А. Кошмарова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 140 с.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Г.А. Дрейцер (кафедра теплотехники Московского авиационного института); Е.П. Шастико (ГУГПС МЧС России)

Приведены примеры решения задач и задачи для самостоятельных занятий. Рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением условий, предупреждающих пожары, и безопасной работы на пожарах. Каждая глава содержит теоретическую часть с расчетными формулами.

Предназначен в качестве учебного пособия для слушателей и курсантов высших пожарно-технических заведений.

ПРЕДИСЛОВИЕ

По термодинамике и теплопередаче опубликовано значительное количество различных задачников для студентов энергетических, инженерно-физических, авиационных и других вузов России, но ни один из них не отражает специфических проблем обеспечения противопожарной защиты объектов народного хозяйства и безопасности людей на пожарах. Данный задачник написан применительно к современным задачам в области противопожарной защиты.

Настоящий задачник существенно отличается от предшествующего 1979 г. Необходимость обновления издания была обусловлена тем, что за последние годы появилось немало новых теоретических и экспериментальных разработок в области термодинамики пожаров. Введение нового материала вызвало определенные изменения структуры книги.

Задачник состоит из трех частей: первая часть – техническая термодинамика, вторая – стационарные процессы тепломассообмена и третья – нестационарные процессы тепломассообмена. Выделение нестационарных процессов в отдельную часть обусловлено методической целесообразностью и опытом преподавания дисциплины.

Большинство разработанных задач профессионально ориентированы. Следует отметить, что при подборе материалов использован опыт написания предыдущего издания, основным автором которого был канд. техн. наук доц. М.П. Башкирцев.

Задачник снабжен необходимым для решения задач справочным материалом.

1. ТЕРМОГАЗОДИНАМИКА ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

1.1. Расчет среднеобъемных параметров состояния среды в помещении при пожаре

При решении многих нормативно-технических и оперативно-тактических задач пожарной безопасности (например, связанных с обеспечением безопасной эвакуации людей из помещения в случае возникновения пожара, разработкой дымозащиты, планированием средств и тактики тушения, оценкой фактической огнестойкости зданий, проведением пожарно-технической экспертизы) необходимо уметь рассчитывать параметры газовой среды (температуру, давление, концентрацию кислорода, концентрацию опасных для человека продуктов горения и т. д.) в помещении при возникновении и развитии пожара, а также потоки поступающего через проемы холодного воздуха и уходящих из помещения горючих газов.

Изменение среднеобъемных параметров состояния газов в помещении описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

дифференциальное уравнение материального баланса в помещении:

$$V \left(\frac{d\rho_m}{d\tau} \right) = G_b + \Psi - G_r,$$

где G_b и G_r – расходы поступающего в помещение воздуха и уходящих из помещения газов; Ψ – массовая скорость выгорания; V – объем помещения; τ – время; ρ_m – среднеобъемная плотность газа в помещении;

уравнение кислородного баланса в помещении:

$$\rho_m V \frac{dx_1}{d\tau} = G_b (x_{1b} - x_1) + G_r x_1 (1 - n_1) - \Psi (x_1 + \eta L_1),$$

где L_1 – масса кислорода, необходимого для сгорания единицы массы горючего материала; n_1 – коэффициент, учитывающий отличие концентрации кислорода в уходящих газах x_{1yx} от среднеобъемного значения концен-

трации x_1 , $n_1 = \frac{x_{1yx}}{x_1}$;

уравнение баланса продуктов горения:

$$\rho_m V \frac{dx_2}{d\tau} = \Psi (L_2 - x_2) - x_2 G_b - x_2 G_r (n_2 - 1),$$

где L_2 – количество продукта, образующегося при сгорании единицы массы пожарной нагрузки; n_2 – коэффициент, учитывающий отличие концен-

трации продукта горения в уходящих газах x_{2yx} от среднеобъемного значения x_2 , $n_2 = \frac{x_{2yx}}{x_2}$;

уравнение баланса инертного газа (азота):

$$\rho_m V \frac{dx_3}{d\tau} = G_B (x_{3B} - x_3) - x_3 \Psi - G_\Gamma x_3 (n_3 - 1),$$

где x_{3B} – концентрация инертного газа в окружающей атмосфере; n_3 – отличие концентрации инертного газа в уходящих газах x_{3yx} от среднеобъемного значения x_3 , $n_3 = \frac{x_{3yx}}{x_3}$;

уравнение энергии:

$$\frac{d}{d\tau} \left(\frac{p_m V}{k-1} \right) = \Psi \eta Q_H + c_{pB} T_B G_B + J_n \Psi - m c_{pm} T_m G_\Gamma - Q_w,$$

где Q_H – теплота сгорания; J_n – энтальпия газифицированного горючего вещества; Q_w – тепловой поток в ограждающие конструкции; η – коэффициент полноты сгорания; m – коэффициент, учитывающий отличие среднеобъемной температуры T_m и среднеобъемной теплоемкости c_{pm} от температуры T_{yx} и теплоемкости c_{pyx} уходящих газов, $m = \frac{c_{pm} T_m}{c_{pyx} T_{yx}}$.

Среднеобъемная температура T_m связана со среднеобъемными давлением p_m и плотностью ρ_m усредненным уравнением состояния

$$T_m = \frac{p_m}{\rho_m R_m}.$$

Для искомым функций $T_m(\tau)$, $p_m(\tau)$, $\rho_m(\tau)$, $x_1(\tau)$, $x_2(\tau)$, $x_3(\tau)$ начальные условия представляют собой данные о параметрах состояния перед пожаром.

Они записываются следующим образом:
при времени $\tau = 0$

$$p_m = p_{0m}; T_m = T_{0m}; \rho_m = \rho_{0m}; \\ x_1 = x_{01}; x_2 = x_{02}; x_3 = x_{03}.$$

Индексом 0 отмечены величины, относящиеся к условиям перед пожаром.

Система уравнений решается численными методами с использованием ЭВМ.

Перед тем как приступить к численному решению системы уравнений, описывающих пожар, целесообразно привести уравнения пожара к безразмерному виду.

Упомянутые выше уравнения в безразмерном виде будут следующими:

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{d\bar{\tau}} &= \gamma_{\text{в}} + \bar{\Psi} - \gamma_{\text{г}}; \\ \beta \left(\frac{dx_1}{d\bar{\tau}} \right) &= (0,23 - x_1)\gamma_{\text{в}} - (1 - n_1)x_1\gamma_{\text{г}} - (x_1 + \eta L_1)\bar{\Psi}; \\ \beta \left(\frac{dx_2}{d\bar{\tau}} \right) &= (\eta L_2 - x_2)\bar{\Psi} - x_2\gamma_{\text{в}} - (n_2 - 1)x_2\gamma_{\text{г}}; \\ \beta \left(\frac{dx_3}{d\bar{\tau}} \right) &= (\eta L_3 - x_3)\bar{\Psi} - (x_3 - x_{03})\gamma_{\text{в}} - (n_3 - 1)x_3\gamma_{\text{г}}; \\ \frac{1}{k-1} \frac{d\pi}{d\bar{\tau}} &= (\eta L_3 - x_3)\bar{\Psi} + \gamma_{\text{в}} - m \frac{c_{p_{\text{г}}}}{c_{p_{\text{в}}}} \gamma_{\text{г}} \Theta - q_w; \\ 1 + \pi &= \beta. \end{aligned}$$

Начальные условия в принятых обозначениях будут при $\bar{\tau} = 0$, $\beta = 1$, $\pi = 0$, $\theta = 1$, $x_1 = 0,23$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0,77$.

При приведении уравнений пожара к безразмерному виду были приняты следующие обозначения:

$$\beta = \frac{\rho_m}{\rho_{0m}}; \quad \pi = \frac{p_m - p_{0m}}{p_{0m}}; \quad \Theta = \frac{T_m}{T_{0m}}; \quad m = \frac{T_{\text{г}}}{T_m},$$

где $\bar{\Psi}$ – безразмерная скорость выгорания пожарной нагрузки; L_3 – стехиометрическое соотношение по воде;

$$\bar{\Psi} = \frac{\Psi}{G_0}; \quad \gamma_{\text{в}} = \frac{G_{\text{в}}}{G_0}; \quad \gamma_{\text{г}} = \frac{G_{\text{г}}}{G_0}; \quad \bar{\tau} = \frac{\tau G_0}{\rho_{0m} V}; \quad q_w = \frac{Q_w}{c_{p_{\text{в}}} G_0 T_{0m}};$$

$K_1 = Q_{\text{н}} / c_{p_{\text{в}}} T_{0m}$ – безразмерный комплекс, представляющий собой отношение теплоты сгорания горючего материала к энтальпии поступающего воздуха;

$K_2 = \alpha_0 F_{\Sigma} / (c_{p_{\text{в}}} G_0)$ – безразмерный комплекс, характеризующий влияние потерь теплоты в ограждающие конструкции;

$K_3 = J_{\text{н}} / (c_{p_{\text{в}}} T_{0m})$ – безразмерный комплекс, представляющий собой отношение энтальпии поступающего в зону горения газа к энтальпии воздуха;

$$K_4 = p_{0m} / \rho_{0m} gh,$$

где α_0 – эмпирический коэффициент, $\alpha_0 = 11,63 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{К)}$; F_Σ – суммарная площадь теплообмена; $G_0 = \xi b h \rho_{0m} \sqrt{2gh}$ – масштаб для определения расходов воздуха и газов; ξ – коэффициент расхода; b – ширина проема; c_{pv} – теплоемкость воздуха в помещении; c_{pg} – теплоемкость уходящих из помещения газов; g – ускорение свободного падения; h – половина высоты помещения.

Для того чтобы получить замкнутое описание процесса развития пожара, необходимо дополнить систему уравнений формулами для определения расходов уходящих газов G_r и поступающего воздуха G_b , а также формулой для определения потоков тепла в ограждения Q_w .

В случае, когда в помещении имеется лишь один прямоугольный проем, формулы для определения расходов имеют следующий вид:

при $\bar{Y}_1 \geq \bar{Y}_*$

$$\gamma_b = 0,$$

$$\gamma_r = \frac{2}{3} \sqrt{\beta(1-\beta)} \left[(\bar{y}_2 - \bar{y}_*)^{3/2} - (\bar{y}_1 - \bar{y}_*)^{3/2} \right],$$

при $\bar{y}_1 < \bar{y}_* < \bar{y}_2$

$$\gamma_b = \frac{2}{3} \sqrt{1-\beta} (\bar{y}_* - \bar{y}_1)^{3/2}, \quad \gamma_r = \frac{2}{3} \sqrt{\beta(1-\beta)} (\bar{y}_2 - \bar{y}_*)^{3/2},$$

при $\bar{y}_* \geq \bar{y}_2$

$$\gamma_r = 0,$$

$$\gamma_b = \frac{2}{3} \sqrt{1-\beta} \left[(\bar{y}_* - \bar{y}_1)^{3/2} - (\bar{y}_* - \bar{y}_2)^{3/2} \right],$$

где \bar{Y}_1 , \bar{Y}_2 – безразмерные координаты нижнего и верхнего края проема:

$$\bar{y}_1 = y_1 / h; \bar{y}_2 = y_2 / h;$$

\bar{Y}_* – безразмерная координата плоскости равных давлений:

$$\bar{y}_* = y_* / h$$

Для расчетов Q_w используется эмпирическая формула, приведенная в учебнике [1].

1.1.1. Подготовительный цех текстильного предприятия высотой 4,48 м имеет размеры в плане 47×29 м и открытый технологический проем высотой 2 м и шириной 2,3 м. Температура воздуха в помещении перед началом пожара составляла 20 °С, а атмосферное давление было 760 мм рт.ст. Определить температурный режим при пожаре в помещении, если массо-

вая скорость выгорания составляла на 1-й секунде – 0,01 кг/с, на 300-й – 2 кг/с, на 600-й – 5 кг/с.

При расчете температурного режима использовать программу для ПЭВМ, текст которой приведен на рис. 1.

```

                                * P O J A R */

#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <mem.h>
#include <dos.h>
#include <string.h>
#include <conio.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <io.h>
#include <graphics.h>
    void p3000(void);
    void p6000(void);
    void p6600(void);
    void p7000(void);
    void p8000(void);
    void p9500(void);
    void grafik(void);
void writef(int col, int row, int color, int width, va_list arg_list, ...);
    void punchf(va_list arg_list, ...);
    union REGS reg;
    double ARGF, ARGH;
    float M[30];
    float AM, AS;
    float BM, BT, CM, CP, D3, DF, DU, DY;
    float EB, F1, FQ, GO, GG, GV, HP, HQ;
    float K0, K1, K2, K3, K4, K5, P3, P4, PD, QW;
    float R1, R2, SB, SE, SP, TE, TT, TZ, UT;
    float XK, XQ, Y1, Y2, YQ, YZ, Z0, Z1;
    float WP, WS[30], WT[30], WY;
    float KK0, KK2, KK3, FFQ, YYQ;
    int npt, ptxy[20][2];
    int i, j;
    int cursor;
    int JP, JR, JS, NJ, NS, NW;
```

Рис. 1. Программа расчета на ЭВМ температурного режима при пожаре в помещении (1-й фрагмент, продолжение и окончание на с. 9-16)


```

struct text_info ti;
char *STR, O1 = 'T', O2 = 'P';
void main ()
gettextinfo(&ti);
if (ti.currenmode == MONO) cursor = 0x090C;
else cursor = 0x0507;
reg.h.ah = 1;
reg.x.cx = cursor;
int86(0x10, &reg, &reg);
textbackground(LIGHTGREEN);
textcolor(BLACK);
window(1, 1, 80, 25);
/* ОСНОВНОЙ ЦИКЛ */

p6000();
for (JS = 1; JS <= NS; JS++) { /* ***** */
XQ = (JS - 1.) * HQ;
p7000();
JP = JS / NJ;
if (JP * NJ == JS) p3000();
} /* ЭТО КОНЕЦ MAIN */
/*****
/* P 3 0 0 0 */
*****/

void p3000(void) {
/* ***** ЗДЕСЬ БУДЕТ ВЫВОД ***** */
BT = Z0;
EB = 1.0 - BT;
if (JR == 1) p9500();
if (JR == 2) YZ = Y1+DY*CP*CP;
P4 = EB*(1.0-YZ);
PD = P4 / K4;
clrscr();
writef(36, 2, BLACK, 16, "Шаг N %d", JS);
writef(20, 4, BLACK,60,"Время : %f [C], %f", (XQ+HQ)*TZ, XQ+HQ);
writef(20, 6, BLACK,60,"Температура : %f [Град], %f", TE*M[6]-273.0, TE);
writef(20, 8, BLACK,60,"Давление : %f [Па], %f, %f", PD*1.0e5, PD, P4);
writef(20, 10, BLACK,60,"Расход воздуха : %f [Кг/с], %f", GV*GO, GV);
writef(20, 12, BLACK,60,"Расход газа : %f [Кг/с], %f", GG*GO, GG);
writef(20, 14, BLACK,60,"Тепл.поток : %f [Дж/кв.м], %f",
QW*M[8]*M[6]*GO, QW);
writef(20, 16, BLACK,60,"Координата Y*: %f [M], %f", YZ * HP, YZ);
writef(20, 18, BLACK,60,"V выгорания : %f [Кг/с], %f", WP * GO, WP);
writef(20, 20, BLACK,60,"Режим пожара : %d", JR);
getch();

```

Рис.1. Продолжение

```

        clrscr();
/*****
punchf("\tВремя : %f [C], %f\n", (XQ+HQ)*TZ, XQ+HQ);
punchf("\tТемпература : %f [Град C], %f\n", TE*M[6]-273.0, TE);
punchf("\tДавление : %f [Па], %f, %f\n", PD*1.0e5, PD, P4);
punchf("\tРасход воздуха : %f [Кг/с], %f\n", GV*GO, GV);
punchf("\tРасход газа : %f [Кг/с], %f\n", GG*GO, GG);
punchf("\tТепл.поток : %f [Дж/с], %f\n", QW*M[8]*M[6]*GO, QW);
punchf("\tКоордината Y*: %f [M], %f\n", YZ * HP, YZ);
punchf("\tV выгорания : %f [Кг/с], %f\n", WP * GO, WP);
punchf("\tРежим пожара : %d\n\n", JR);

/*****
/*
                E N D O F P 3 0 0 0                */
/*****
/*****
/*
                P 6 0 0 0                */
/*****

void p6000()
    M[0] = 9.81;          /* g */
    M[1] = 2. / 3.;
WY = M[1];              /* скорость выгорания */
                        clrscr();

    WS[0] = 0.;
    WT[0] = 0.;
writef(30, 1, BLACK + BLINK, 21, "%s", "В В Е Д И Т Е :");
writef(10, 2, BLACK, 41, "%s", "длину помещения :");
scanf("%f", &M[2]);
writef(50, 2, BLACK, 10, "%f", M[2]);
writef(10, 3, BLACK, 41, "%s", "ширину помещения :");
scanf("%f", &M[3]);
writef(50, 3, BLACK, 10, "%f", M[3]);
writef(10, 4, BLACK, 41, "%s", "высоту помещения :");
scanf("%f", &M[4]);
writef(50, 4, BLACK, 10, "%f", M[4]);
M[5] = M[4] / 2.;
HP = M[5];
M[6] = 293.;
M[7] = 1.2;            /* P O o m */
M[8] = 1003.;
M[9] = 1.5E7;
writef(10, 5, BLACK, 41, "%s", "координату проема Y1 :");
scanf("%f", &M[10]);

```

Рис. 1. Продолжение

```

writef(50, 5, BLACK, 10, "%f", M[10]);
writef(10, 6, BLACK, 41, "%s", "координату проема Y2 :");
scanf("%f", &M[11]);
writef(50, 6, BLACK, 10, "%f", M[11]);
writef(10, 7, BLACK, 41, "%s", "ширину проема      :");
scanf("%f", &M[12]);
writef(50, 7, BLACK, 10, "%f", M[12]);

/*..... объем помещения .....*/
M[13] = M[2] * M[3] * M[4];
/*..... площадь поверхности помещения .....*/
M[14] = 2. * (M[2] * M[3] + M[4] * M[2] + M[4] * M[3]);
/*..... площадь проема .....*/
M[15] = (M[11] - M[10]) * M[12];
M[16] = M[12] * M[7] * M[5] * sqrt((double)(2.01 * M[0] * M[5]));
GO = M[16];
M[17] = M[13] * M[7] / M[16];           /* T*           */
TZ = M[17];
/*.....*/
    clrscr();
    M[18] = 55.29;
    writef(10, 4, BLACK, 41, "ВВЕДИТЕ K1:");
    scanf("%f", &M[18]);
K1 = M[18];
    M[19] = 0.146565;
    writef(10, 6, BLACK, 41, "ВВЕДИТЕ K2:");
    scanf("%f", &M[19]);
K2 = M[19];
    M[20] = 1.25;
    writef(10, 8, BLACK, 41, "ВВЕДИТЕ K3");
    scanf("%f", &M[20]);
K3 = M[20];
    M[21] = 4767.0;
    writef(10, 10, BLACK, 41, "ВВЕДИТЕ K4");
    scanf("%f", &M[21]);
K4 = M[21];
K5 = 2.0938E-4;
    M[22] = 0.;
DU = K1 + K3;
Y1 = M[10] / HP;
Y2 = M[11] / HP;
DY = Y2 - Y1;
D3 = DY * sqrt((double)DY);
writef(10, 12, BLACK, 60, "%s", "Введите шаг по времени [с] :");
scanf("%f", &M[23]);

```

Рис. 1. Продолжение

```

/*..... нормализованный временной шаг .....*/
    HQ = M[23] / TZ;
    writef(10,13, BLACK, 60, "%s", "Введите число шагов расчета [с]:");
    scanf("%d",&NS);
    writef(10,14, BLACK, 60, "%s", "Введите число шагов до печати [с]:");
    scanf("%d",&NJ);
/*..... нормализованное число шагов .....*/
    M[24] = HQ * NS;
    writef(26,16,WHITE + BLINK,40,"%s", "НАЖМИТЕ ЛЮБУЮ КЛАВИШУ");
    getch();
    MTF:
writef(20,18,BLACK, 60, "\"T\" - задать скорость выгорания таблицей,");
writef(20,20,BLACK, 60, "\"F\" - задать скорость выгорания функцией");
    gotoxy(40, 11);
    O1 = getch();
    i = 1;
    if (O1 != 'T' && O1 != 'F' && O1 != 't' && O1 != 'f') goto MTF;
    if (O1 == 'T' || O1 == 't')    p6600();
        clrscr();
    writef(10, 1, WHITE + BLINK, 40, "%s", "ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА
:");
    writef(20, 4, BLACK , 60, "%s=%f", "GO", GO);
    writef(20, 5, BLACK , 60, "%s=%f", "T*", TZ);
    writef(20, 6, BLACK , 60, "%s=%f", "K1", K1);
    writef(20, 7, BLACK , 60, "%s=%f", "K2", K2);
    writef(20, 8, BLACK , 60, "%s=%f", "K3", K3);
    writef(20, 9, BLACK , 60, "%s=%f", "K4", K4);
    writef(20, 10, BLACK , 60, "%s=%f", "K5", K5);
    writef(20, 11, BLACK , 60, "%s=%f", "Y1", Y1);
    writef(20, 12, BLACK , 60, "%s=%f", "Y2", Y2);
    writef(26,13,WHITE + BLINK,40,"%s", "НАЖМИТЕ ЛЮБУЮ КЛАВИШУ\a");
        getch();
    if (O1 == 'F' || O1 =='f')    goto M6342;
/*..... при вводе ТАБЛИЦЕЙ .....*/
    for(i=0; i <= NW; i++)    {
        WT[i] /= TZ;
        WS[i] /= GO;
    writef(20, i + 1, BLACK, 50, "T..WT(%d)= %f, PSI.WS(%d)= %f",i,
    WT[i],i,WS[i]);
        };
    writef(26,NW + 2,WHITE + BLINK,40,"%s", "НАЖМИТЕ ЛЮБУЮ
КЛАВИШУ");
        getch();
        M6342:
        clrscr();

```

Рис. 1. Продолжение

```

        for(i=0, j=4; i<30; i+=2, j++)          {
writef(20, j, BLACK, 20, "M[%d]=%f", i, M[i]);
writef(40, j, BLACK, 20, "M[%d]=%f", i+1, M[i+1]);

                                                                 };
writef(10,19, BLACK, 70, "WY=%f, GO=%f, TZ=%f, D3=%f, HQ=%f",
      WY, GO, TZ, D3, HQ);
writef(10,20, BLACK, 70, "DU=%f", DU);
Z0 = 1.;
Z1 = 0.;
writef(10, 21, BLACK, 40, "Z0..ВЕТТА=%f, Z1..РІК4=%f", Z0, Z1);
writef(26,23, WHITE + BLINK, 40, "%s", "НАЖМИТЕ ЛЮБУЮ КЛАВИШУ\a");
      getch();
                                                                 }
/*****
/*          END OF P 6 0 0 0          */
/*****
/*          P 6 6 0 0          */
/*****
void p6600(void)          {
      clrscr();
writef(10, 8, BLACK+BLINK, 48, "%s", "ВВЕДИТЕ ТАБЛИЦУ СКОРОСТИ ВЫГО-
РАНИЯ:");
writef(10, 10, BLACK, 48, "%s", "ЧИСЛО УЗЛОВ ТАБЛИЦЫ:");
scanf("%d", &NW);
      for (i=1; i <= NW; i++)
      {
writef(1, i+11, BLACK, 10, "TAU(%d)= ", i);
scanf("%f", &WT[i]);
writef(24, i+11, BLACK, 10, "PSI(%d)= ", i);
scanf("%f", &WS[i]);
      };
                                                                 }
/*****
/*          END OF P 6 6 0 0          */
/*****
/*          P 7 0 0 0          */
/*****
void p7000(void) {
/* ***** СХЕМА РУНГЕ - КУТТА - МЕРСОНА ***** */
      TT = XQ;
      YYQ = Z0;
      p8000();
      КК0 = HQ * FFQ;
      YYQ = Z0 + КК0 / 3.0;

```

Рис. 1. Продолжение

```

TT = XQ + HQ / 3.0;
p8000();
YYQ = Z0 + (KK0 + HQ * FFQ) / 6.0;
p8000();
KK2 = HQ * FFQ;
YYQ = Z0 + 0.125 * KK0 + 0.375 * KK2;
TT = XQ + HQ / 2.0;
p8000();
KK3 = HQ * FFQ;
YYQ = Z0 + 0.5 * KK0 - 1.5 * KK2 + 2.0 * KK3;
TT = XQ + HQ;
p8000();
Z0 = Z0 + (KK0 + 4.0 * KK3 + HQ * FFQ) / 6;
}
/* ***** КОНЕЦ P / K / M ***** */
/*****
/*
                                END OF P 7 0 0 0
*/
/*****
void p8000(void) {
BT = YYQ;          /* betta */
EB = 1.0 - BT;
writef(24,20,BLACK,20,"%f !!!! %f", BT, EB);
/* if (BT >= 0.)  !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!*/
SB = sqrt((double)BT);
TE = 1.0 / BT;
/* if (EB >= 0.)  !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!*/
SE = sqrt((double)EB);
QW = K2*(TE-1)*(0.8-0.19045*(TE-1))*exp((double)(0.6739*(TE-1)));
JR = 2;
P3 = M[1] * D3 * SE / SB + QW;
                /***** 6 7 0 0 *****/
                /* ЛИНЕЙНАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ */
if (O1 == 'T' || O1 == 't')
    {
    for (i=0; i < NW; i++)
        {
        if ((TT >= WT[i]) && (TT < WT[i + 1]))
            WP = WS[i] + (WS[i + 1] - WS[i]) * (TT - WT[i]) / (WT[i + 1] - WT[i]);
        };
    };
if (O1 == 'F' || O1 == 'f')
    { /* PSI */
if (TT <= 123.434)
    WP = K5*TT;
if ((TT>123.434)&&(TT<=758.239)) WP = K5*(123.434 - 0.011*(TT-123.434));
if (TT>758.239)
    WP = 0.;
    };
if (WP*DU >= P3)  {

```

Рис. 1. Продолжение

```

        JR = 1;
        goto SWCH;
    };
if (WP*DU <= (QW-M[1]*D3*SE)) JR = 3;
    SWCH:
if (JR == 1)    {
    GV = 0.;
    GG = BT*(WP*DU-QW);
    FFQ = WP - GG;
    };
if (JR == 2)    {
if (fabs((double)SE) > 0.0000001) AM = 1.5*(WP*DU-QW)*SB/D3/SE;
/* if (SE != 0.0) AM = 1.5*(WP*DU-QW)*SB/D3/SE; */
    BM = SB;
    UT = M_PI - 0.5;
                                m8050:
    SP = sin((double)UT);
    CP = cos((double)UT);
        /****** 8 0 9 6 *****/
    AS = SP*SP*SP + BM*CP*CP*CP - AM;
    DF = 3*SP*CP*(SP-BM*CP);
    F1 = AS/DF;
    if (fabs((double)F1) < 0.01) goto m8078;
    UT -= F1;
                                goto m8050;
                                m8078:
    GV = -M[1]*D3*SE*CP*CP*CP;
    GG = BT*(WP*DU-QW+GV);
    FFQ = (1.0-BT*DU)*WP+BT*QW+EB*GV;
    };
if (JR == 3)    {
    GG = 0.0;
    GV = -WP*DU+QW;
    FFQ = (1.0-DU)*WP+QW;
    };
}
/******
/*          END OF P 8 0 0 0          */
/******
/*          P 9 5 0 0          */
/******
/* ***** ЭТО НЬЮТОН ***** */
void p9500(void)    {
XK = 1.0;
ARGF = BT;
ARGH = 1.0 - BT;

```

Рис. 1. Продолжение

```

/*      if ((ARGF >= 0.) && (ARGH >= 0.)) !!!!!!!!!!!!!!! */
CM = 3.0 * sqrt(2.0) * (GG - sqrt(ARGF) * GV) / D3 / sqrt(ARGF) / sqrt(ARGH);
      m9506:
      ARGF = XK + 1.0;
      ARGH = XK - 1.0;
/*      if (ARGF >= 0.) !!!!!!!!!!!!!!! */
      R1 = sqrt(ARGF);
/*      if (ARGH >= 0.) !!!!!!!!!!!!!!!*/
      R2 = sqrt(ARGH);
      /* .....M[1] = 2/3..... */
F1 = M[1] * (R1 * R1 * R1 - R2 * R2 * R2 - CM) / (R1 - R2);
if (fabs((double)F1) < 0.01)          goto m9514;
XK -= F1;
goto m9506;

      m9514:
      YZ = (Y1 + Y2) / 2.0 - DY * XK;
      }
/*****/
/*      END OF P 9 5 0 0      */
/*****/
/*      ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА      */
/*****/
void grafik(void)
{
int graphdriver = DETECT , graphmode;
initgraph (&graphdriver, &graphmode, "");
drawpoly(npt, ptxy);
outtextxy(10,10,"abc");
getch();
closegraph();
/*****/
/*      END OF GRAPHICS      */
/*****/
#include      "writef.c"
#include      "punchf.c"

```

Рис. 1. Окончание

Решение

Подготовка исходных данных для ведения расчетов на ПЭВМ включает предварительный расчет безразмерных комплексов K_1 , K_2 , K_3 и K_4 .

$$K_1 = \frac{Q_H}{c_{pB} T_{0m}}.$$

Теплота сгорания хлопка равна $Q_H = 17200$ кДж/кг, теплоемкость воздуха при $t = 20$ °С $c_{pB} = 1,004$ кДж/(кг·К), тогда $K_1 = \frac{17200}{1,004 \cdot 293} = 58,47$;

$$K_2 = \frac{\alpha_0 F_\Sigma}{c_{pB} G_0}.$$

Коэффициент теплообмена равен $\alpha_0 = 11,63$ Вт/(м²·К).
Суммарная площадь теплообмена будет равна:

$$F_\Sigma = 2(ab + aH + bH) = 2(47 \cdot 29 + 47 \cdot 4,48 + 29 \cdot 4,48) = 3406,96 \text{ м}^2.$$

Плотность воздуха перед пожаром $\rho_{0m} = 1,25$ кг/м³, тогда

$$K_2 = \frac{11,63 \cdot 3406,96}{1004 \cdot 1,25 \cdot 2,3 \cdot 2,24 \sqrt{2} \cdot 9,81 \cdot 2,24} = 0,92;$$

$$K_3 = \frac{J_n}{c_{pB} T_{0m}}.$$

Для хлопка $J_n = 333,6$ кДж/кг.

Тогда
$$K_3 = \frac{333,6}{1,004 \cdot 293} = 1,1;$$

$$K_4 = \frac{P_{0m}}{\rho_{0m} g h} = \frac{101000}{1,25 \cdot 9,81 \cdot 2,24} = 3683,71.$$

Массовая скорость выгорания задается таблицей. Число узлов таблицы равно числу данных по скорости выгорания. Для нашей задачи число узлов равно 3.

Шаг расчета должен быть выбран из соображений получения достаточной точности (чем меньше шаг расчета, тем точнее значения среднеобъемных параметров) и минимальным временем использования ЭВМ. Опыт использования программы показывает, что достаточную точность расчетов можно получить при шаге по времени, равном 1 с.

Число шагов расчета выбирается из условий задачи. В данном случае время расчета равно 600 с. Интервал времени, через который выводятся на печать результаты расчета (число шагов до печати), задается пользователем. Число шагов до печати равно 30 с.

Результаты расчета представлены на рис. 2.

Время : 30.000001 [С], 0.167802
Температура : 27.029464 [Град], 1.023991
Давление : 5.468649 [Па], 0.000055 , 0.201449
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 11.095801 [Кг/с], 0.270725
Тепл.поток : 214914.460455 [Дж/с], 0.017843
Координата Y*: -17.019928 [М], -7.598182
V выгорания : 0.203010 [Кг/с], 0.004953
Режим пожара : 1

Время : 60.000001 [С], 0.335604
Температура : 47.365188 [Град], 1.093397
Давление : 17.741523 [Па], 0.000177 , 0.653546
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 19.255351 [Кг/с], 0.469808
Тепл.поток : 862138.722690 [Дж/с], 0.071578
Координата Y*: -14.898444 [М], -6.651091
V выгорания : 0.402676 [Кг/с], 0.009825
Режим пожара : 1

Время : 90.000001 [С], 0.503406
Температура : 81.316285 [Град], 1.209271
Давление : 30.799990 [Па], 0.000308 , 1.134582
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 23.960533 [Кг/с], 0.584609
Тепл.поток : 2029732.436133 [Дж/с], 0.168515
Координата Y*: -12.445857 [М], -5.556186
V выгорания : 0.602341 [Кг/с], 0.014696
Режим пожара : 1

Время : 120.000006 [С], 0.671207
Температура : 129.412200 [Град], 1.373420
Давление : 39.433345 [Па], 0.000394 , 1.452610
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 25.175006 [Кг/с], 0.614241
Тепл.поток : 3879107.300964 [Дж/с], 0.322057
Координата Y*: -9.727472 [М], -4.342621
V выгорания : 0.802007 [Кг/с], 0.019568
Режим пожара : 1

Рис. 2. Результаты расчета на ЭВМ температурного режима при пожаре в помещении (1-й фрагмент, продолжение и окончание на с. 19–21)

Время : 150.000006 [С], 0.839009
Температура : 191.078466 [Град], 1.583886
Давление : 41.117668 [Па], 0.000411 , 1.514656
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 23.482320 [Кг/с], 0.572942
Тепл.поток : 6605316.910620 [Дж/с], 0.548396
Координата Y*: -6.963605 [М], -3.108752
V выгорания : 1.001672 [Кг/с], 0.024440
Режим пожара : 1

Время : 179.999995 [С], 1.006811
Температура : 263.048553 [Град], 1.829517
Давление : 36.586105 [Па], 0.000366 , 1.347726
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 19.919284 [Кг/с], 0.486008
Тепл.поток : 10321329.514850 [Дж/с], 0.856912
Координата Y*: -4.418259 [М], -1.972437
V выгорания : 1.201338 [Кг/с], 0.029311
Режим пожара : 1

Время : 209.999995 [С], 1.174613
Температура : 338.764877 [Град], 2.087935
Давление : 29.422401 [Па], 0.000294 , 1.083836
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 15.726477 [Кг/с], 0.383708
Тепл.поток : 14876718.928061 [Дж/с], 1.235117
Координата Y*: -2.419353 [М], -1.080068
V выгорания : 1.401003 [Кг/с], 0.034183
Режим пожара : 1

Время : 239.999995 [С], 1.342415
Температура : 410.540133 [Град], 2.332901
Давление : 23.365759 [Па], 0.000234 , 0.860727
Расход воздуха : 0.000000 [Кг/с], 0.000000
Расход газа : 11.983617 [Кг/с], 0.292386
Тепл.поток : 19806047.669258 [Дж/с], 1.644367
Координата Y*: -1.134518 [М], -0.506481
V выгорания : 1.600669 [Кг/с], 0.039054
Режим пожара : 1

Рис. 2. Продолжение

Время : 269.999994 [С], 1.510217
Температура : 472.646392 [Град], 2.544868
Давление : 14.954509 [Па], 0.000150 , 0.550881
Расход воздуха : 0.599223 [Кг/с], 0.014620
Расход газа : 9.587276 [Кг/с], 0.233919
Тепл.поток : 24523259.615441 [Дж/с], 2.036006
Координата Y*: 0.207271 [М], 0.092532
V выгорания : 1.800334 [Кг/с], 0.043926
Режим пожара : 2

Время : 299.999994 [С], 1.678019
Температура : 523.159940 [Град], 2.717269
Давление : 14.585191 [Па], 0.000146 , 0.537276
Расход воздуха : 1.260112 [Кг/с], 0.030745
Расход газа : 8.455788 [Кг/с], 0.206312

Тепл.поток : 28630708.824862 [Дж/с], 2.377020
Координата Y*: 0.335680 [М], 0.149857
V выгорания : 2.000000 [Кг/с], 0.048798
Режим пожара : 2

Время : 329.999994 [С], 1.845820
Температура : 575.206702 [Град], 2.894903
Давление : 15.574807 [Па], 0.000156 , 0.573731
Расход воздуха : 0.959362 [Кг/с], 0.023407
Расход газа : 8.796976 [Кг/с], 0.214636
Тепл.поток : 33062554.050167 [Дж/с], 2.744967
Координата Y*: 0.276626 [М], 0.123494
V выгорания : 2.300000 [Кг/с], 0.056117
Режим пожара : 2

Время : 360.000015 [С], 2.013622
Температура : 631.779896 [Град], 3.087986
Давление : 16.016244 [Па], 0.000160 , 0.589992
Расход воздуха : 1.022208 [Кг/с], 0.024941
Расход газа : 8.592523 [Кг/с], 0.209648
Тепл.поток : 38019306.104783 [Дж/с], 3.156494
Координата Y*: 0.285472 [М], 0.127443
V выгорания : 2.600000 [Кг/с], 0.063437
Режим пожара : 2

Время : 390.000015 [С], 2.181424

Рис. 2. Продолжение

Температура : 688.556093 [Град], 3.281761
Давление : 16.391228 [Па], 0.000164 , 0.603805
Расход воздуха : 1.087345 [Кг/с], 0.026530
Расход газа : 8.385346 [Кг/с], 0.204593
Тепл.поток : 43000858.173502 [Дж/с], 3.570080
Координата Y*: 0.294722 [М], 0.131572
V выгорания : 2.900000 [Кг/с], 0.070757
Режим пожара : 2

Время : 420.000015 [С], 2.349226
Температура : 746.031065 [Град], 3.477922
Давление : 16.855329 [Па], 0.000169 , 0.620901
Расход воздуха : 1.062686 [Кг/с], 0.025928
Расход газа : 8.300652 [Кг/с], 0.202526
Тепл.поток : 47848692.333848 [Дж/с], 3.972564
Координата Y*: 0.287896 [М], 0.128525
V выгорания : 3.200000 [Кг/с], 0.078076
Режим пожара : 2

Время : 450.000015 [С], 2.517028
Температура : 807.070613 [Град], 3.686248
Давление : 17.491540 [Па], 0.000175 , 0.644338
Расход воздуха : 0.919108 [Кг/с], 0.022425
Расход газа : 8.373539 [Кг/с], 0.204305
Тепл.поток : 52471264.485589 [Дж/с], 4.356346
Координата Y*: 0.259386 [М], 0.115797
V выгорания : 3.500000 [Кг/с], 0.085396
Режим пожара : 2

Время : 480.000015 [С], 2.684830
Температура : 878.349538 [Град], 3.929521
Давление : 18.637994 [Па], 0.000186 , 0.686570
Расход воздуха : 0.524528 [Кг/с], 0.012798
Расход газа : 8.738730 [Кг/с], 0.213215
Тепл.поток : 56586843.481940 [Дж/с], 4.698035
Координата Y*: 0.177112 [М], 0.079068
V выгорания : 3.800000 [Кг/с], 0.092716
Режим пожара : 2

Рис. 2. Окончание

1.1.2. В цехе мебельной фабрики размерами $a \times l \times H$, равными $15 \times 9 \times 4$ м, имеющем оконный проем с координатами $y_1 = 0,9$ м, $y_2 = 2,5$ м, $b = 2$ м, произошло возгорание ДСП. Скорость выгорания задана таблицей:

τ , с	1	10	30	90	300	600
ψ , кг/с	0,00001	0,003	0,02	0,12	0,8	0,7

Температура среды до пожара была равна 20 °С, а давление 98000 Па. Определить среднеобъемную температуру в помещении цеха, избыточное давление среды, а также расход воздуха и газов через оконный проем через 7 мин после начала пожара. При расчете использовать программу на ЭВМ, приведенную на рис. 1.

Ответ: время – 420 с, температура – $760,6$ °С, избыточное давление – $4,4$ Па, расход воздуха – $2,6$ кг/с, расход газа – $3,3$ кг/с.

1.2. Расчет локальных параметров состояния среды в помещении при пожаре

Результаты экспериментов показали, что при времени пожара $\tau \geq 2$ мин температурное поле в отдельных точках помещения удовлетворительно описывается уравнением

$$\frac{T_{x,y,\tau}}{T_{m,\tau}} = \left[0,8 + 0,2 \left(\frac{y}{h} \right) \right] \left[1,33 - \frac{x}{2x + x_0} \right],$$

где T_m – среднеобъемная температура; x_0 – половина расстояния от очага горения до места выхода газов из помещения; x – координата, отсчитываемая от очага горения по горизонтали; y – координата, отсчитываемая от поверхности пола по вертикали.

Среднеобъемная температура находится так, как показано в предыдущем параграфе.

1.2.1. Цех предприятия имеет высоту 20 м, размеры в плане 60×48 м. Определить температуру в цехе под перекрытием над факелом и у выхода из цеха на высоте $1,5$ м, если среднеобъемная температура в цехе равна 405 К. Очаг горения в центре помещения.

Ответ: $T_{\text{пер}} = 646$ К, $T_{\text{вых}} = 313$ К.

Решение

Температура под перекрытием над факелом

$$T_{x,y,\tau} = 405 \left(0,8 + 0,2 \frac{20}{10} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 15} \right) = 646 \text{ К.}$$

Температура у выхода на высоте 1,5 м от пола

$$T_{x,y,\tau} = 405 \left(0,8 + 0,2 \frac{1,5}{10} \right) \left(1,33 - \frac{30}{2 \cdot 30 + 15} \right) = 313 \text{ К.}$$

1.2.2. При условиях задачи 1.1.1 определить температуру у потолка над факелом через 2 мин после начала пожара и у выхода из помещения через 5 мин.

Ответ: $T_{\text{пот}} = 642,23 \text{ К}$, $T_{\text{вых}} = 691,49 \text{ К}$.

1.3. Расчет теплообмена при пожаре

Восходящий от очага горения поток газа после соударения с поверхностью разворачивается и начинает растекаться под перекрытием, образуя веерную струю с возрастающей толщиной (рис. 3).

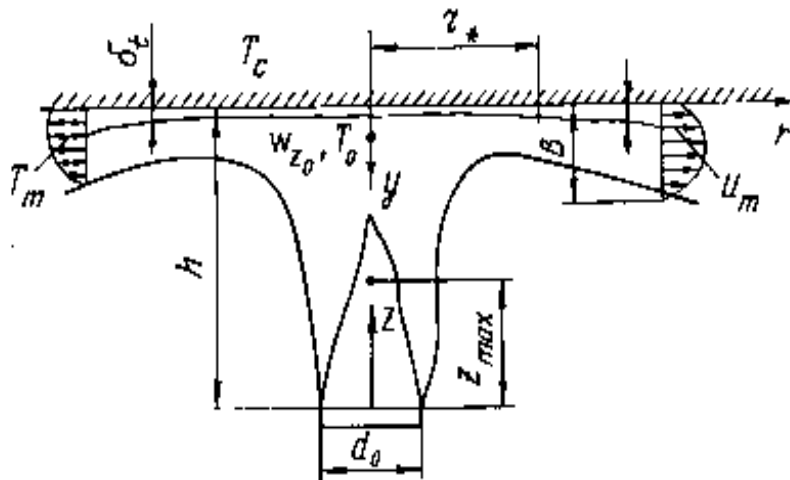


Рис. 3. Схема взаимодействия восходящего потока над очагом горения с горизонтальной поверхностью перекрытия

Коэффициент конвективной теплоотдачи можно найти из критериального уравнения

$$Nu_k = 0,835 Re^{0,5} Pr^{1/3} \left(1 - \frac{\bar{r}}{3} \right)^{1,2} (1 + \bar{r})^{-0,62},$$

где $Nu_k = \frac{\alpha_k r_*}{\lambda}$; $Re = \frac{u_* r_*}{\nu}$; $Pr = \frac{\nu}{a}$; $\bar{r} = \frac{r}{r_*}$ – относительная координата, λ , ν , a – соответственно коэффициенты теплопроводности, кинематической вязкости, температуропроводности набегающего на лобовую точку потока газа, определяемые по средней температуре $T = 0,5 (T_0 + T_c)$; T_c – температура поверхности перекрытия; r_* – координата от оси пламени до точки, в которой скорость растекающегося потока равна максимальной. Координату r_* можно определить по формуле

$$\frac{r_*}{z_{\max}} = 0,51 \left(\frac{h}{z_{\max}} \right)^{0,63},$$

где h – высота от плоскости горения до потолка; z_{\max} – координата точки, в которой температура факела максимальна,

z_{\max} определяется по формуле

$$z_{\max} = C_1 d_{\text{эк}}^{0,67} Q_{\text{H}}^{-3,9};$$

$d_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$ – эквивалентный диаметр очага горения; F – площадь

горения, Q_{H} – теплота сгорания, МДж/кг.

Величина максимальной скорости растекания вдоль горизонтальной поверхности определяется по формуле

$$\frac{u_*}{w_{z0}} = 0,92 \left(\frac{h}{z_{\max}} \right)^{-0,08},$$

где w_{z0} – скорость набегающего на лобовую точку потока, определяемая по формуле

$$\frac{w_{z0}}{w_{\max}} = 1,58 \left(\frac{z}{z_{\max}} \right)^{1,32} \exp \left[-0,69 \left(\frac{z}{z_{\max}} \right) \right],$$

$$w_{\max} = 2,15 \sqrt{g d_{\text{эк}}}.$$

Средние коэффициенты теплоотдачи при сложном радиационно-конвективном теплообмене на вертикальных поверхностях (стенах) при среднеобъемных температурах в помещении $t_m \geq 400$ °С рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$\alpha_c = 0,2 \frac{\lambda}{H} (\text{GrPr})^{1/3} \left[\frac{\text{Pr}^{2/3}}{2,14(1+N) + \text{Pr}^{2/3}} \right] (1+N),$$

где $Gr = \frac{g\beta(T_m - T_c)H^3}{\nu^2}$ – число Грасгофа; $Pr = \frac{\nu}{a}$ – число Прандтля;

N – аналог числа Кирпичева; λ , ν , a – соответственно коэффициенты теплопроводности, вязкости и температуропроводности при температуре $T_{cp} = 0,5(T_m + T_c)$; H – высота стен; T_m – среднеобъемная температура.

Зависимость числа N от температуры t_m для условий пожара была найдена экспериментально и приведена на графике (рис. 4).

При $t_m \geq 400$ °С средний коэффициент теплоотдачи на поверхности горизонтальных перекрытий можно найти по формуле

$$\alpha_{пер} = 1,4 \frac{\lambda}{r_*} Pr^{1/3} Re^{0,5} + 13,3 \frac{\sigma_0 T_c}{B},$$

где $\sigma_0 = 5,7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – константа излучения абсолютно черного тела, B – аналог числа Бугера, характеризующий эффективную оптическую плотность; $Re = \frac{u_* r_*}{\nu}$ – число Рейнольдса.

Зависимость чисел B от среднеобъемной температуры найдена экспериментально и приведена на рис. 4.

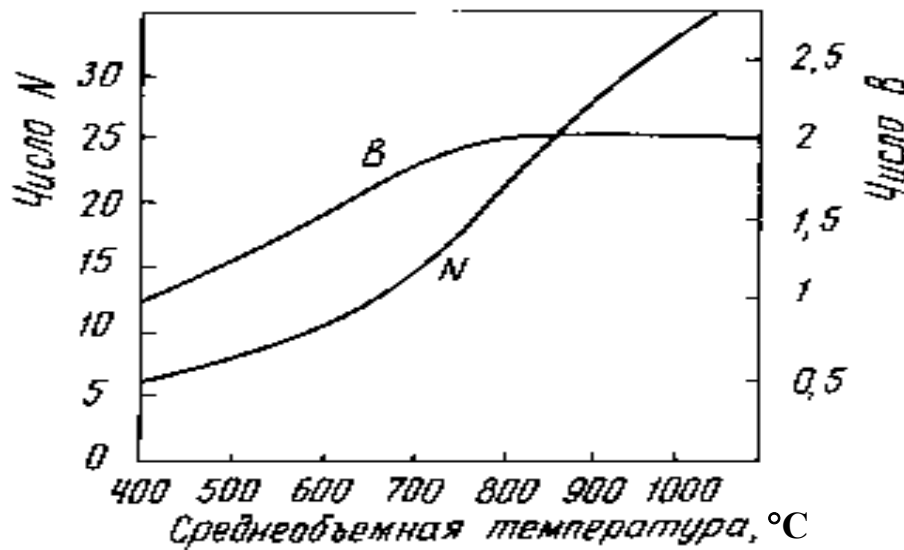


Рис. 4. Зависимость $B = f(t_m)$ и $N = f(t_m)$

Средний коэффициент теплоотдачи на поверхности пола рекомендуется вычислять с помощью соотношения $\alpha_{пер} = 0,7\alpha_c$.

1.3.1. Найти коэффициент теплообмена около потолка при горении ацетона в помещении высотой 4 м на площади 4 м² в точке, где скорость растекающегося потока максимальна.

Ответ: $\alpha = 417$ Вт/(м²·К).

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ТЕРМОГАЗОДИНАМИКА ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ	4
1.1. Расчет среднеобъемных параметров состояния среды в помещении при пожаре	4
1.2. Расчет локальных параметров состояния среды в помещении при пожаре	22
1.3. Расчет теплообмена при пожаре	23
2. НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТЕЛ. ПОСТОЯННЫЕ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ.....	26
2.1. Граничные условия первого рода.....	26
2.2. Граничные условия второго рода.....	32
2.3. Граничные условия третьего рода.....	41
3. НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТЕЛ. ИЗМЕНЯЮЩИЕСЯ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ	57
3.1. Граничные условия первого рода.....	57
3.2. Граничные условия второго рода.....	67
3.3. Граничные условия третьего рода.....	72
4. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ МАССООБМЕНА	87
ПРИЛОЖЕНИЕ	106
ЛИТЕРАТУРА.....	139

**Андреев Владимир Викторович
Казанцев Юрий Владимирович
Козлов Юрий Иванович
Кошмаров Юрий Антонович
Лимонов Вячеслав Григорьевич
Пузач Сергей Викторович**

**ЗАДАЧНИК
ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ
И ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ**

Ч.Ш. Нестационарные процессы тепломассообмена

Учебное пособие

Редактор *Т.В. Чемоданова*
Технический редактор *И.С. Тормозов*
Корректор *Н.В. Федькова*

Подписано в печать 15.07.2005 г. Формат 60×90 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 8,75. Уч.-изд. л. 6,25.
Тираж 1500 экз. Цена договорная. Заказ

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4