Лекция № 7

1. Трех зонная модель развития пожара для случая $Q_{пож.=}$const и $F_г$ = const.

2. Динамика развития припотолочной зоны.

3. Анализ параметров **состояния** горячего газа и ОФП.

1. В данном рассматриваемом случае $Q_{пож.=}$const и $F_г$ = const. Схема трех зонной модели пожара в помещении выглядит также как и в общем случае, только y_0 = const и поэтому уравнение динамики развития 2ой зоны приобретает более простой вид:

$$-\frac{dy_к}{dt} = C_1 + C_2\ (У_к + У_0)^{5/3} \qquad (1)$$

$$C_1=\frac{(1-\varphi)\eta\ Q_н^p\ \ \psi_{у.д.}\ F_г}{\rho_o C_p\ T_o\ F_{пот.}}=const.;$$

$$C_2=\frac{0{,}21}{\rho_o\ F_{пот.}}\left[\frac{g\rho_{o(1-\chi)\eta}^2\ Q_н^p\ \ \psi_{у.д.}\ F_г}{C_p\ T_o}\right]^{1/3}=const$$

$$У_o=1{,}5\sqrt{F_{г.}}=const.$$

При ведение уравнение (1) к безразмерному виду в данном случае имеет особенность, так как отсутствует величина скорости распространения пламени по Г.М. Ил.

Безразмерную координату, $\overline{У_к}$ введём по старому, $\overline{У_к} = \frac{у_к}{h}$; Введём также параметр $\varepsilon = \frac{F_г}{F_{пот}}$; Этот параметр характеризует размер зоны горения относительно размеров потолка , и кроме того он является критерием применяемости развиваемой модели. При условии

$$\sqrt{\varepsilon} < \frac{1}{1+\frac{h}{y_o}} = \frac{1}{1+\frac{h}{1{,}5\sqrt{F_{г.}}}}; \qquad (2)$$

Рассматриваемая модель применима.

Величина $\frac{Q_{н}^{р}\ \psi_{у.д.}}{\rho_{о}\ c_{р}\ Т_{о}}$ имеет размерность $^{м}/_{сек.}$ поэтому для обезразмеривания уравнение (1) необходимо поделить его на этот комплекс и в результате получится:

$$-\frac{d\,\overline{y_{к}}}{d\bar{t}} = (1-\varphi)\eta\varepsilon + 0{,}21(1-\chi)^{\frac{1}{3}}\eta^{\frac{1}{3}}\varepsilon^{\frac{1}{3}}\left[\frac{h^{\frac{2}{3}}}{F_{пот}^{\frac{1}{3}}}\right]^{2}\left[\frac{\rho_{о}C_{р}T_{о}h^{\frac{1}{2}}g^{\frac{1}{2}}}{Q_{н}^{р}\psi_{уд}}\right]^{\frac{2}{3}}(\overline{y_{к}}+\overline{y_{о}})^{\frac{5}{3}} \quad (3)$$

$$\text{или } -\frac{d\,\overline{y_{к}}}{d\bar{t}} = \varepsilon a_{1} + \varepsilon^{\frac{1}{3}} - b_{1}B^{2}F_{1}^{\frac{2}{3}}(\overline{y_{к}}+\overline{y_{о}})^{\frac{5}{3}} \quad (4)$$

где $\varepsilon = \frac{F_{г}}{F_{пот}}$; $a_{1=\eta(1-\varphi)}$; $b_{1} = 0{,}21(1-\chi)^{\frac{1}{3}}\eta^{\frac{1}{3}}$; B=$\left[\frac{h^{\frac{2}{3}}}{F_{г}^{\frac{1}{3}}}\right]$; F_{1}=$\frac{\rho_{о}\ C_{р}T_{о}\ h^{\frac{1}{2}}g^{\frac{1}{2}}}{Q_{н}^{р}\ \psi_{уд}}$

$$\text{тогда } \overline{y_{о}} = 1{,}5\sqrt{\varepsilon}\ B^{\frac{-3}{2}} \quad (5)$$

Рассматривая совместно (2) и (5) получаем вместо (2) более конкретное выражение для применимости зонной модели, а именно:

$$\varepsilon < \left(1 - \frac{h}{1{,}5\sqrt{F_{пот}}}\right)^{2} \quad (6)$$

В рассматриваемом примере из предыдущей лекции первая фаза развития $2^{ой}$ зоны закончилась на секунде, что при $U_{л}$ = 0,015 $^{м}/_{сек}$ и $F_{пот} = 500\ м^{2}$ соответствует величине $\varepsilon = 0{,}03265,$ что заведомо удовлетворяет (6).

1. Рассмотрим динамику развития припотолочной зоны для случая $F_{г} = const$ при $\varepsilon = 0{,}01633,$ что соответствует $F_{пот} = 500м^{2}.$ площади горения $F_{г}$ = 8,16 $м^{2}$ то есть как раз половине площади горения в момент времени t^{*}= 15,2 сек., когда закончилась первая фаза при $y_{к}$ = $y_{д.п.}$;

Остальные величины необходимые для решения задачи о динамике развития при потолочной зоны возьмём из уже рассмотренного примера. Оценим необходимые параметры:

a_{1}= (1-$\varphi)\eta$= (1-0,55)0,9=0,405; b_{1}=$0{,}21(1-\chi)^{\frac{1}{3}}\eta^{\frac{1}{3}} = 0{,}21(1-0{,}06)^{\frac{1}{3}}0{,}9^{\frac{1}{3}}$ =0,198

ε=0,01633; h=6м;

$B=\frac{h^{\frac{2}{3}}}{F_{г}^{\frac{1}{3}}}=\frac{6^{\frac{2}{3}}}{500^{\frac{1}{3}}}$=0,416; $F_1=\frac{\rho_о\, C_р\, T_о\, h^{\frac{1}{2}}\, g^{\frac{1}{2}}}{Q_н^р \psi_{уд.}}=\frac{1{,}2*1000*293*6^{\frac{1}{2}}*9{,}81^{\frac{1}{2}}}{14000*10^3*0{,}0137}$=14,064

$\overline{y_о}$=1,5$\sqrt{\varepsilon}B^{-\frac{3}{2}}$=1,5$\sqrt{0{,}01633}*(0{,}416)^{-\frac{3}{2}}$=0,715;

$\varepsilon * а_1$=0,01633*0,405=0,0066; $\varepsilon^{\frac{1}{3}}*b_1=(0{,}01633)^{\frac{1}{3}}$*0,1986=0,05;

$B^2=(0{,}416)^2$=0,173; $F_1^{\frac{2}{3}}=[14{,}064]^{\frac{2}{3}}$=5,826.

Уравнение (3) для рассматриваемого случая перепишется в виде:

$$-\frac{d\overline{y_к}}{d\,t}=0{,}0066+0{,}05(\overline{y_к}+0{,}715)^{\frac{5}{3}} \qquad (7)$$

$$\overline{y_к}=1 \text{ при } \bar{t}=0;\ \bar{t}=t^* \text{ при } \overline{y_к}=\overline{y_{д.п.}}=0{,}33$$

В предыдущем примере задача была решена за 10 шагов, при чём последние шаги из-за увеличения площади горения давали более значительный вклад, что вполне объяснимо.

В рассматриваемом случае приращение будет определяться нами выбором шага Δt.

При $\bar{t}$=0; $\overline{y_к}$=1; $\overline{y_о}$=0,715 $\rightarrow$ $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_1$ = 0,066+0,05$(1{,}715)^{\frac{5}{3}}$ =

=0,0066+0,1229=0,1295; $\Delta\overline{t_1}$ =0,03; $\overline{y_к}$=1-0,03*0,1229=0,9963

$2^{ой}$ шаг. $\overline{y_{к_1}}$; $\overline{y_о}$ =0,715 $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_2$ = 0,0066+0,05*$(0{,}9963+0{,}715)^{\frac{5}{3}}$ = 0,129

$\Delta\overline{t_2}$=0,3 $\overline{y_{к_2}}$=0,9963-0,129*Δt_2=0,9963-0,129*0,3=0,9594;

$3^{ий}$шаг. $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_3=0{,}1246;\ \Delta t_3=0{,}5;\ \overline{y_к}\Big|_3=0{,}9594-0{,}1246*0{,}5=0{,}8971$

Шаги $\Delta\bar{t}$=0,5

$4^{ый}$шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_4$=0,1174; $\overline{y_{к_4}}$=0,8971-0,5*0,1174=0,8384

$5^{ый}$ шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_5$=0,1108; $\overline{y_{к_5}}$= 0,8384-0,5*0,1108=0,783

$6^{ой}$ шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_6$=0,1047; $\overline{y_{к_6}}$=0,783-0,1047*0,5=0,7307

$7^{ой}$ шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_7$ =0,099; $\overline{y_{к_7}}$=0,7307-0,099*0,5=0,7257

Следующие шаги берём $\Delta\bar{t}$=1

$8^{ой}$ шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_8$ =0,09849; $\overline{y_{к_8}}$=0,7257-0,09849*1=0,6272

$9^{ый}$шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_9$ =0,0883; $\overline{y_{к_9}}$=0,6272-0,0883*1=0,5389

$10^{ый}$шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_{10}$ =0,07956; $\overline{y_{к_{10}}}$=0,5389-0,07956*1=0,4593

$11^{ый}$шаг: $-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_{11}$ =0,072; $\overline{y_{к_{11}}}$=0,4593-0,072*1=0,3873

$12^{ый}$шаг: $\Delta t_{12} = 0{,}5; -\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_{12}$ =0,06543; $\overline{y_{к_{12}}}$=0,3873-0,06543*0,5=0,3546

$13^{ый}$шаг: $\Delta t_{13} = 0{,}5; -\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}}\Big|_{13}$ =0,06255; $\overline{y_{к_{13}}}$=0,3546-0,5*0,06255=0,3233≈ $\overline{y_{к_{13}}}$

$\overline{t^*}$=0,03+0,05+5*0,5+4*1+2*0,5=7,88.

Размерное время t^*=$\overline{t^*}$ * $\frac{\rho_о С_р Т_о h}{Q_н^р \psi_{уд}}$=7,88*$\frac{1{,}2*1000*293*6}{14000*10^3*0{,}0137}$=7,88*11≈87 сек.

Таким образом, к моменту времени 87 сек. при потолочный слой опустится до дверного проёма, что примерно в 2 раза быстрее чем в случае кругового расширения очага (152 сек.)

Не следует удивляться тому факту, что безразмерное время конца первой фазы развития $2^{ой}$ зоны $\overline{t^*}$=7,88 в рассматриваемом случае $F_г$=$\varepsilon F_п$=const гораздо больше соответствующего безразмерного времени $\overline{t^*}$=0,28 для случая кругового расширения очага горения $F_г$=$\pi U_л^2 t^2$, в то время как размерное время меньше, примерно, в два раза.

Такое положение есть следствие того факта, что во втором случае выбран существенно меньший масштаб времени:

$$\frac{\rho_о С_р Т_о h}{Q_н^р \psi_{уд}}=11 \text{ сек} < \frac{V_0^{1/3}}{\pi^{1/2} U_л}=540 \text{ сек.}$$

Уравнение (4) при малых величинах ε может быть упрощено, если пренебречь высокими степенями ε. Перепишем его в виде:

$$-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}} = \varepsilon a_1 + \varepsilon^{1/3} * b_2 \left(\overline{y_к} + 1{,}5\varepsilon^{1/2} B^{-3/2}\right)^{5/3} \qquad (8)$$

Первый член в правой части содержит более высокую степень ε, поэтому его опускаем при первом рассмотрении (приближении). Тогда(8) перепишется как:

$$-\frac{d\overline{y_к}}{d\bar{t}} = \varepsilon^{1/3} * b_2 (\overline{y_к} + \overline{y_о})^{5/3} \qquad (9)$$

Интегрирование этого уравнения даёт: в пределах

$$\int_1^{\overline{y_{д.п.}}} \frac{d\overline{y_к}}{(\overline{y_к}+\overline{y_о})^{5/3}} = -\varepsilon^{1/3} * b_2 \int_0^{\bar{t}^*} d\bar{t}:$$

$b_2 = b_1 * B^2 * F_1^{2/3}$=0,2;

$\overline{y_{д.п.}} = 0{,}33;\ \overline{y_0} = 0{,}715$

$$t^* = \frac{(\overline{y_{д.п.}}+\overline{y_0})^{-2/3} - (1+\overline{y_0})^{-2/3}}{\frac{2}{3}\varepsilon^{1/3} b_2} = \frac{(0{,}33+0{,}715)^{-2/3} - (1+0{,}715)^{-2/3}}{0{,}67 * (0{,}01633)^{1/3} * 0{,}2} = 8{,}05.$$

Что всего на 2% отличается от численного решения

$\bar{t}^*$=7,88.

3. Масса припотолочного слоя определяется, как и раньше, интегрированием расхода газа поступающего в припотолочный слой:

$$\mathrm{M}_2 = \int_0^t G_к dt = \mathrm{M}_0\, \varepsilon^{1/3}\, b_1\, B^2\, F_1^{2/3} \int_0^{\bar{t}} (\bar{\mathrm{У}}_к + \mathrm{У}_0)^{5/3} dt; \qquad (9)$$

Здесь $\mathrm{M}_0 = \rho_0 V_0 = \rho_0 h F_{пот}$; $\qquad \varepsilon = \frac{F_г}{F_{пот}}$; $\qquad b_1 = 0{,}21(1-\chi)^{1/3}\, \eta^{1/3}$;

$$\mathrm{B} = \left(\frac{h^{2/3}}{F_{пот}}\right); \qquad F_1 = \left(\frac{C_p\, \rho_0\, T_0\, g^{1/2}\, h^{1/2}}{Q_н^р\, \psi_{уд}}\right);$$

Сопоставляя уравнения (4) и (9) можно получить, что:

$$\mathrm{M}_2 = \mathrm{M}_0 \left(\int_0^{\bar{t}} \left(-\frac{d\bar{y}_к}{d\bar{t}}\, dt\right) - \int_0^{\bar{t}} \varepsilon\, Q_1\, d\bar{t}\right) = \mathrm{M}_0 (1 - \mathrm{У}_к - \varepsilon\, Q_1 \bar{t}); \qquad (10)$$

Для окончания первой фазы имеем:

$$\text{М}_2 = \text{М}_0\left(1 - \overline{\text{У}}_{\text{д.п.}} - \varepsilon\, Q_1 \bar{t}\ \ \right); \qquad (11)$$

Здесь $\overline{\text{У}}_{\text{д.п.}} = \frac{\text{у}_{\text{д.п.}}}{h}$; $\bar{t}$ - безразмерное время завершения первой фазы.

Плотность горячего газа к концу первой фазы:

$$\rho_2{}^* = \frac{\text{М}_2}{V_2} = \frac{\text{М}_0\left(1 - \overline{\text{У}}_{\text{д.п.}} - \varepsilon\, Q_1 \bar{t}\ \ \right)}{F_{\text{пот}} h\left(1 - \overline{\text{У}}_{\text{д.п.}}\right)} = \rho_0 \left(1 - \frac{\varepsilon\, Q_1 \bar{t}}{1 - \overline{\text{У}}_{\text{д.п.}}}\right); \qquad (12)$$

Температура горячего газа к моменту t^*:

$$T_2^* = T_0 \frac{\rho_0}{\rho_2{}^*} = T_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{\varepsilon\, Q_1 \overline{t^*}}{1 - \overline{\text{У}}_{\text{д.п.}}}}\right); \qquad (13)$$

Масса сгоревшего вещества (ГМ) к моменту времени t^* :

$$\text{М}_\tau = F_{\text{г}}\, \psi_{\text{уд}}\, t^*; \qquad (14)$$

Парциальная плотность токсичных газов к концу первой фазы:

$$\rho_i = \frac{\text{М}_\tau L_i}{V_2} \qquad (15)$$

Оптическая плотность дыма:

$$\mu = \frac{\text{М}_\tau\, D}{V_2} \qquad (16)$$

Парциальная плотность кислорода определяется по схеме.

Масса воздуха поступившего в припотолочную зону равна:

$$\text{М}_b = \text{М}_2 - \text{М}_\tau$$

Масса кислорода затраченная при горении:

$$\text{М}_- = \text{М}_\tau L_{\text{O}_2}$$

Парциальная плотность кислорода:

$$\rho_{\text{O}_2} = \frac{(\text{М}_2 - \text{М}_\tau) * 0{,}233 - \text{М}_-}{V_2};$$

Для рассматриваемого случая получаются следующие результаты:

$$M_\tau = 0{,}01633 * 500 * 0{,}0137 * 87 = 9{,}732 \text{ кг}$$

$$M_2 = 1{,}2 * 3000 * (1 - 0{,}33 - 0{,}01633 * 0{,}405 * 7{,}88) = 2224{,}4 \text{ кг}$$

$$\rho_2 = \frac{2224{,}4}{2000} = 1{,}1122 \, {}^{\text{кг}}/_{\text{м}^3}$$

$$T_2 = 293 \frac{1{,}2}{1{,}1122} = 316{,}13^0\text{К}$$

Парциальные плотности диоксида углерода, оксида углерода, хлористого углерода и кислорода соответственно равны:

$$\rho_{CO_2} = \frac{9{,}732 * 1{,}478}{2000} = 0{,}0072 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} < \text{П.Д.З.}$$

$$\rho_{CO} = \frac{9{,}732 * 0{,}03}{2000} = 0{,}00014 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} < \text{П.Д.З.}$$

$$\rho_{HCl} = \frac{9{,}732 * 0{,}0058}{2000} = 2{,}7 * 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{кг}} > \text{П.Д.З.}$$

$$\rho_{O_2} = \frac{(2224{,}4 - 9{,}372) * 0{,}233 - 9{,}732 * 1{,}369}{2000} = 0{,}2516 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} < \text{П.Д.З.}$$

Оптическая плотность дыма:

$$\mu = \frac{9{,}732 * 47{,}7}{2000} = 0{,}2235 \frac{\text{Нп}}{\text{м}}$$

Предельная допустимая дальность видимости:

$$l^* = \frac{2{,}38}{\mu} = 10{,}62 \text{ м}$$