

Лекция «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЗРЫВА И ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ ВЗРЫВА»

1. Определение температуры взрыва

Температура взрыва может быть вычислена по формуле

$$t = \frac{Q_V'}{(\sum n_i C_{Vi})}, \text{ град. С} \quad (1)$$

где C_{Vi} – мольная теплоемкость газов взрыва, кДж/(кмоль $^{\circ}$ С);

n_i – число грамм-молекул соответственно всех газов взрыва.

Малляр и Ле-Шателье предложили для определения мольной теплоемкости следующее уравнение

$$C_{Vi} = C_{oi} + \Delta C_{oi} \cdot t, \text{ кДж/моль}^{\circ}\text{С} \quad (2)$$

где C_o – мольная теплоемкость при 0 $^{\circ}$ С (273 $^{\circ}$ К), Дж/моль $^{\circ}$ С;

ΔC_{oi} – приращение величины мольной теплоемкости при повышении температуры на 1 $^{\circ}$, Дж/моль $^{\circ}$ С;

t – температура взрыва, $^{\circ}$ С.

Подставив значение C_{Vi} в формулу (10), найдем температуру взрыва по выражению

$$t = \frac{-\sum n_i C_{oi} + \sqrt{(\sum n_i C_{oi})^2 + 4(\sum n_i \Delta C_{oi}) \cdot Q_V'}}{2(\sum n_i \Delta C_{oi})}, ^{\circ}\text{С} \quad (3)$$

где $(\sum n_i C_{oi})$ – суммарная мольная теплоемкость всех газов взрыва при 0 $^{\circ}$ С, кДж/моль, т.е.

$$(\sum n_i C_{oi}) = n_1 C_1 + n_2 C_2 + n_3 C_3 + \dots + n_i C_i; \quad (4)$$

$n_i \Delta C_{oi}$ – суммарное приращение мольной теплоемкости газов при повышении температуры на 1 $^{\circ}$,

$$n_i \Delta C_{oi} = n_1 \Delta C_{oi} + n_1 \Delta C_{oi} + n_1 \Delta C_{oi} + \dots + n_i \Delta C_{oi} \quad (5)$$

Значения мольной теплоемкости при 0 $^{\circ}$ С (C_{oi}), Дж/моль $^{\circ}$ С и приращений мольной теплоемкости (ΔC_o), Дж/моль $^{\circ}$ С приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Мольная теплоемкость продуктов взрыва (C_o)

и ее приращение (ΔC_{oi})

Продукт взрыва	Мольная теплоемкость при 0°С (C_{oi}), Дж/моль	Приращение мольной теплоемкости, (ΔC_{oi}), Дж/моль·°С
Двухатомные газы (O_2, N_2, CO)	20,1	0,00188
Трехатомные газы (CO_2)	37,7	0,00243
Многоатомные газы (CH_4)	41,9	0,00188
Пары воды (H_2O)	16,76	0,009
Твердые продукты	26,8	-

Пример: определить температуру взрыва гексогена.

Вначале определяем значение $\sum n_i C_{oi}$ по формуле (4)

$$(\sum n_i C_{oi}) = n_1 C_1 + n_2 C_2 + n_3 C_3 + n_4 C_4 = 0,5 \cdot 37,7 + 2,5 \cdot 20,1 + 3 \cdot 16,16 + 3 \cdot 20,1 = 179,68 \text{ Дж/моль}^\circ\text{С};$$

Затем определяем по выражению (5)

$$\begin{aligned} n_i \Delta C_{oi} &= n_1 \Delta C_{o1} + n_2 \Delta C_{o2} + n_3 \Delta C_{o3} + n_4 \Delta C_{o4} \\ &= 0,5 \cdot 0,00243 + 2,5 \cdot 0,00188 + \\ &+ 3 \cdot 0,009 + 3 \cdot 0,00188 = 0,038555 \text{ Дж/моль}^\circ\text{С}; \end{aligned}$$

Температуру взрыва определяем по выражению (3):

$$\begin{aligned} t &= \frac{-\sum n_i C_{oi} + \sqrt{(\sum n_i C_{oi})^2 + 4(\sum n_i \Delta C_{oi}) \cdot Q_V'}}{2(\sum n_i \Delta C_{oi})} = \\ &= \frac{-179,68 + \sqrt{(179,68)^2 + 4(0,038555) \cdot 1319,22}}{2 \cdot 0,038555} = 3867, ^\circ\text{С} (4140 \text{ К}) \end{aligned}$$

2. Определение давления газов взрыва

В момент взрыва в зарядной камере (шпуре, скважине и т.п.) возникает очень высокое давление, при котором плотность газов взрыва близка к плотности жидкости.

На основании этого, давление газов взрыва (P) определяют с помощью уравнения Ван-дер-Ваальса

$$P = \frac{P_0 V_0' T}{(V_k - \alpha) \cdot 273}, \text{ н/м}^2 \text{ (Па)}, \quad (6)$$

где P_0 – нормальное атмосферное давление, равное $101,34 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2 \text{ (Па)}$;

V_0' – объем газов взрыва 1 кг ВВ при нормальных условиях, м^3 ;

T – температура взрыва, $^\circ\text{К}$;

V_k – объем зарядной камеры, м^3 ;

α – коэф. газов взрыва, выражающий неупругий и не сжигаемый объем, занятый самими молекулами.

Объем зарядной камеры (V_k) удобнее выразить через плотность заряжения (Δ_z):

$$\Delta_z = Q_z / V_k, \text{ кг/м}^3, \quad (7)$$

где Q_z – масса заряда ВВ, кг.

Если принять массу заряда ВВ равной 1 кг, тогда

$$\Delta_z = 1,0 / V_k, \text{ кг/м}^3 \text{ и } V_k = 1,0 / \Delta_z, \text{ м}^3. \quad (8)$$

Окончательно получаем уравнение для расчета давления газов взрыва

$$P = \frac{P_0 V_0' T \Delta_z}{(V_k - \alpha \Delta_z) \cdot 273} \quad (9)$$

Величину плотности заряжения (Δ_z) определяют из выражения

$$\Delta_z = \frac{\Delta_{\text{ВВ}} \cdot V_z}{V_k}, \text{ кг/м}^3, \quad (10)$$

где $\Delta_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ в заряде, кг/м^3 ;

V_z – объем зарядной камеры (шпур, скважина и т.д.), м^3 .

При взрывании шпуровых зарядов можно принять

$$\Delta_3 = \frac{\Delta_{\text{п}} d_{\text{п}}^2}{d_{\text{ш}}^2}, \text{ кг/м}^3, \quad (11)$$

где $\Delta_{\text{п}}$ – плотность патронирования ВВ, кг/м³;

$d_{\text{п}}$ – диаметр патронов ВВ, м;

$d_{\text{ш}}$ – диаметр шпура, м.

При плотности заряжания $\Delta_3 > 1000 \text{ кг/м}^3$ коволюм $\alpha = 0,0006 \cdot \Delta V_0'$,

при $\Delta_3 \leq 1000 \text{ кг/м}^3$ коволюм $\alpha = 0,001 \cdot \Delta V_0'$.

Пример: определить давление газов взрыва гексогена.

Определяем давление газов взрыва по формуле (9), принимая объем зарядной камеры равным объему заряда. Тогда $\Delta_3 = \Delta_{\text{в}} = 1700, \text{ кг/м}^3$

$$P = \frac{P_0 V_0' T \Delta_3}{((V_{\text{к}} - \alpha \Delta_3) \cdot 273)} = \frac{101,34 \cdot 10^3 \cdot 0,908 \cdot 4140 \cdot 1700}{(1 - 0,0006 \cdot 0,908 \cdot 1700) \cdot 273} =$$

$19,98 \cdot 10^9 \text{ Па}$ или $19,98 \cdot 10^3 \text{ МПа}$.

Практическое занятие.

Задание: «Определить температуру взрыва нитроглицерина, гремучей ртути, гексогена, аммонита 6ЖВ, аммонала и гранулита АС-8».