

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: Расчет материального баланса горения.

Цель работы: закрепить необходимые навыки для выполнения данных практических занятий.

Результат выполнения практической работы №2 - овладение умениями при проведении расчетов материального баланса горения:

Содержание работы:

1. Расчет теоретического и действительного объема расхода воздуха на горение при заданных условиях.
2. Расчет объема продуктов горения с учетом избытка воздуха при заданных условиях.

ОПИСАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Материальный баланс процесса горения выражает количественные соотношения между исходными веществами (топливо, воздух) и конечными продуктами (дымовые газы, зола, шлак). Для твердого и жидкого топлива материальный баланс составляют на 1 кг топлива, для газообразной фазы — на 1 м³ сухого газа при нормальных условиях (101,325 кПа, 0°C). Материальный баланс позволяет расчетным путем определить количество воздуха, необходимого для горения, объем и состав продуктов полного горения, температуру горения и иные параметры, которые будут определять характер развития пожара в тех или иных условиях.

Минимальное количество воздуха, необходимого для полного сгорания единицы массы (кг) или объема (м³) горючего вещества, называется теоретически необходимым (V^0).

Различают объем воздуха теоретически необходимый для горения ($V^{\text{теор.}}$) и объем воздуха действительно (практически) израсходованный на горение

Объем воздуха, поступившего на горение, может быть больше теоретического. Поэтому вводится понятие действительного объема воздуха ($V^{\text{действ.}}$). При этом:

$$V_{\text{в}}^{\text{действ.}} = \alpha \cdot V_{\text{в}}^0$$

где α – **коэффициент избытка воздуха.**

Разность между действительным и теоретически необходимым количеством воздуха называется **избытком воздуха** ($\Delta V_{\text{в}}$).

$$\Delta V_{\text{в}} = V_{\text{в}}^{\text{действ.}} - V_{\text{в}}^{\text{теор.}}$$

Порядок расчета материального баланса зависит от **вида топлива.**

Если **горючее вещество — индивидуальное химическое соединение:**

Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания при нормальных условиях 1 кг конденсированного вещества равен

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{22,4 n_{\text{возд}}}{n_{\text{гор}} M}$$

Если объем воздуха необходимо привести к иным условиям, то

пользуются формулой, которая получится, если воспользоваться уравнением Клапейрона:

$$V_{\text{в}}^{\text{теор}} = \frac{V_{\text{в}}^0 \cdot T \cdot 101325}{273p}$$

где T — заданная температура газов, К; p — заданное давление, Па.

Для газообразных индивидуальных горючих веществ расчёт объёмов воздуха и продуктов горения проводят в $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания 1 м^3 горючих газов определяется по формуле

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{n_{\text{возд}}}{n_{\text{гор}}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Если горючее вещество — сложная смесь химических соединений:

Таковыми веществами являются древесина, торф, каменный уголь и др. Для определения теоретически необходимого объема воздуха нужно знать элементный состав горючего вещества, выраженный в массовых процентах, т. е. содержание С, Н, О, S, N, золы (A), влаги (W).

Если горючее вещество — смесь газов:

$$V_{\text{в}}^0 = 0,269 \left(\frac{[C]}{3} + [H] + \frac{[S]}{8} - \frac{[O]}{8} \right)$$

Состав горючих газов обычно выражают в объемных процентах. Для вывода формулы расчета также нужно написать уравнение реакции горения наиболее распространенных газов и выполнить соответствующие вычисления. После всех преобразований получим:

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{\sum \varphi_{\text{Г}i} n_{\text{O}_2i} - \varphi_{\text{O}_2}}{21} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$\varphi_{\text{Г}i}$ - концентрация i -го горючего компонента, % об.;

φ_{O_2} - концентрация кислорода в составе горючего газа, % об.;

n_{O_2} - количество кислорода, необходимое для окисления одного кмоль i -го горючего компонента, кмоль.

Знание количества и состава **продуктов горения** необходимо для расчета важнейших характеристик процесса горения – температуры горения, температуры взрыва, давления при взрыве. Состав продуктов сгорания выражается либо в объемных процентах, либо в $\text{м}^3/\text{кг}$, если горючее вещество находится в конденсированном состоянии, либо в $\text{м}^3/\text{м}^3$, если горючее вещество находится в газообразном состоянии.

Горючее вещество – индивидуальное химическое соединение

В этом случае состав и содержание продуктов полного сгорания можно определить непосредственно по уравнению реакции горения.

а) Индивидуальное химическое соединение – газообразное вещество.

$$V_{\text{пг}}^0 = \frac{\sum n_{\text{пг}}}{n_{\text{гор}}}$$

б) *Индивидуальное химическое соединение – конденсированное вещество.*

$$V_{\text{пг}}^0 = \frac{\sum n_{\text{пг}} \cdot V_t}{n_{\text{гор}} \cdot M_{\text{гор}}}$$

Горючее вещество — сложная смесь химических соединений.

$$V_{\text{пг}}^0 = 0,01 \left(1,86[\text{C}] + 11,2[\text{H}] + 1,24[\text{W}] + 0,7[\text{S}] + 7[\text{C}] + \right. \\ \left. + 21[\text{H}] - 2,63[\text{O}] + 2,63[\text{S}] + 0,8[\text{N}] + [\text{A}] \right)$$

Полный, действительный объём продуктов горения находится с учётом избытка воздуха:

$$V_{\text{пг}}^{\text{действ}} = V_{\text{пг}}^{\text{теор}} + \Delta V_{\epsilon} = V_{\text{пг}}^{\text{теор}} + (\alpha - 1) \cdot V_{\epsilon}^{\text{теор}}.$$

Процентный **состав продуктов горения** рассчитывается исходя из количества молей продуктов горения. Например, процентное содержание паров воды в продуктах горения составит:

$$\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 100\%}{\sum n_{\text{пг}}}$$

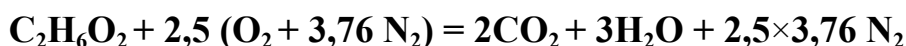
Пример расчета материального баланса

Провести расчет материального баланса процесса горения 1 кг этиленгликоля ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$), если горение проходило при температуре окружающей среды 10°C , давлении воздуха **100,0 кПа**, с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,8$.

Решение.

Этиленгликоль – жидкость, конденсированное вещество

1. Составляем уравнение реакции горения.



2. Рассчитываем молярную массу горючего вещества **М** и теоретический объём расхода воздуха $V_{\text{в}}^0$:

$$M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = 2 \times 12 + 6 \times 1 + 2 \times 16 = 62 \text{ кг/кмоль}.$$

Определяем количество кмоль воздуха:

$$n_{\text{в}} = 2,5 + 2,5 \times 3,76 = 11,9 \text{ кмоль}.$$

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{22,4 \cdot \sum n_{\text{в}}}{n_{\text{гор}} \cdot M} = \frac{22,4 \cdot 11,9}{1 \cdot 62} = 4,3 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

3. Определяем объём расхода воздуха $V_{\text{в}}$ при заданных условиях

$$V_B^{\text{теор}} = \frac{101325 \cdot V_B^0 \cdot T}{273 \cdot p} = \frac{101325 \cdot 4,3 \cdot (273 + 10)}{273 \cdot 100000} = 4,52 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

4. Определяем действительный объем воздуха $V_B^{\text{дейст.}}$:

$$V_B^{\text{дейст.}} = \alpha \times V_B^{\text{теор}} = 1,8 \times 4,52 = 8,14 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

5. Находим избыток воздуха:

$$\Delta V = V_B^{\text{дейст.}} - V_B^{\text{теор}} = 8,14 - 4,52 = 3,62 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

6. Определяем теоретический объем продуктов горения $V_{\text{пг}}^0$:

$$V_{\text{пг}}^0 = \frac{22,4 \cdot \sum n_{\text{пг}}}{n_{\text{гор}} \cdot M} = \frac{22,4 \cdot (2 + 3 + 2,5 \cdot 3,76)}{1 \cdot 62} = 5,2 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

7. Находим объем продуктов горения $V_{\text{пг}}^{\text{теор}}$ при заданных условиях:

$$V_{\text{пг}}^{\text{теор}} = \frac{101325 \cdot V_{\text{пг}}^0 \cdot T}{273 \cdot p} = \frac{101325 \cdot 5,2 \cdot (273 + 10)}{273 \cdot 100000} = 5,46 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$V_{\text{пг}}^{\text{полн}} = V_{\text{пг}}^{\text{теор}} + \Delta V_B = V_{\text{пг}}^{\text{теор}} + (\alpha - 1) \cdot V_B^0$$

Обязательно учитываем заданные условия, поэтому вместо V_B^0 берем $V_B^{\text{теор}}$

$$V_{\text{пг}}^{\text{полн}} = V_{\text{пг}}^{\text{теор}} + \Delta V_B = 5,46 + 3,62 = 9,08 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

8. Определяем действительное число кмоль продуктов горения с учетом избытка воздуха:

Определяем количество кмоль продуктов горения:

$$n_{\text{пг}} = 2 + 3 + 2,5 \times 3,76 = 14,4 \text{ кмоль.}$$

Полное количество кмоль продуктов горения с учетом избытка кислорода:

$$n_{\text{пг}}^{\text{дейст}} = n_{\text{пг}} + (\alpha - 1)n_{\text{возд}} = 14,4 + (1,8 - 1)11,9 = 23,9 \text{ кмоль}$$

9. Определяем состав продуктов горения:

$$\varphi_{\text{CO}_2} = \frac{2 \cdot 100}{23,9} = 8,36, \%$$

9.1. содержание CO_2 :

$$\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{3 \cdot 100}{23,9} = 12,55 \%$$

9.2. содержание H_2O :

$$\varphi_{\text{O}_2} = \frac{(1,8 - 1) \cdot 2,5 \cdot 100}{23,9} = 8,36, \%$$

9.3. содержание O_2 в продуктах горения:

$$\varphi_{N_2} = \frac{1,8 \cdot 2,5 \cdot 3,76 \cdot 100}{23,9} = 70,8, \%$$

9.4. содержание N_2 :

Ответ: для полного сгорания 1 кг этиленгликоля при заданных условиях действительный расход воздуха составит $V_{в}^{действ.} = 8,14 \text{ м}^3/\text{кг}$ воздуха, при этом образуется $V_{шт}^{полн.} = 9,08 \text{ м}^3/\text{кг}$ продуктов горения. Содержание в продуктах горения $\varphi_{CO_2} = 8,36 \%$, $\varphi_{H_2O} = 12,55 \%$, $\varphi_{O_2} = 8,36 \%$, $\varphi_{N_2} = 70,8 \%$.