

Семькин В.С., Дрозд Е.Г. (ДонНТУ)

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗНАНИЙ ПО ХИМИИ СТУДЕНТАМИ-ТЕПЛОТЕХНИКАМИ В ДИСЦИПЛИНАХ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

*Знания по химии, получаемые студентами-теплотехниками ДонНТУ на первом курсе, не только расширяют представления студентов об окружающем мире, но и способствуют решению многих специальных задач, с которыми будущий инженер-теплотехник сталкивается на старших курсах.*

*В данной статье это показано на примере расчёта объёма кислородоносителя, одной из многих задач расчёта процесса горения топлива, решаемых студентами-теплотехниками при выполнении курсовых и дипломных проектов по промышленным печам.*

В [1] нами показана роль знаний по химии для студентов-теплотехников при решении некоторых специальных задач, связанных с расчётом процесса горения газообразного топлива, а именно, определения рабочего состава топлива, расчёт его теплотворной способности и др.

Представляет интерес показать эту роль на примере важного раздела расчёта процесса горения топлива — расчёта объёма кислородоносителя, необходимого для сжигания  $1\text{ м}^3$  рабочего газообразного топлива.

Задаёмся составом этого топлива [2].

**Таблица 1.** Рабочий состав газообразного топлива

Компоненты	Объёмное содержание, %
CO	22,42
CH <sub>4</sub>	5,58
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,34
H <sub>2</sub>	11,72
N <sub>2</sub>	45,59
CO <sub>2</sub>	10,35
H <sub>2</sub> O	4,00
Σ	100

В учебном пособии [3] и методических указаниях [2], изданных кафедрой «Техническая теплофизика» ДонНТУ, предлагается готовая, довольно сложная, формула для расчёта теоретического объёма кислородоносителя ( $L_0$ ), необходимого для сжигания  $1\text{ м}^3$  заданного газообразного топлива:

$$L_0 = \frac{1 + K_v}{100} (0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 2 \cdot CH_4 + 3 \cdot C_2H_4) \cdot \left(1 + \frac{0,1244 \cdot d_e^c}{100}\right), \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

где  $K_v$  — коэффициент, показывающий, во сколько раз объём азота в сухом кислородоносителе больше объёма кислорода. Поскольку кислородоносителем в нашем случае является воздух, обогащенный кислородом (25% об. O<sub>2</sub>), то, естественно,  $K_v = 3,0$ ;

CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> — объёмное содержание горючих компонентов (%) рабочей газовой смеси (см. табл.1);

$d_6^c$  — влажность сухого кислородоносителя, г/м<sup>3</sup>, равная 18,9 г/м<sup>3</sup> [2].

Конечно, студенту достаточно подставить в эту формулу исходные данные и получить необходимый результат. Но каково «происхождение» этой формулы? Нельзя ли её вывести, исходя из стехиометрических соотношений, известных студенту-теплотехнику из курса общей химии? Оказывается, можно [4]. Попробуем сделать это.

В общем, объём кислородоносителя на 1 м<sup>3</sup> рабочей газовой смеси складывается из объёма сухого кислородоносителя ( $V_K^C$ ) и объёма водяных паров ( $V_{ВП}$ ) с учётом заданной влажности кислородоносителя, т.е.

$$L_O = V_K^C + V_{ВП}$$

В свою очередь, объём сухого кислородоносителя должен состоять из объёма кислорода, необходимого для сжигания газовой смеси ( $V_{O_2}^C$ ) и объёма азота ( $V_{N_2}^C$ ), содержащегося в кислородоносителе, т.е.

$$V_K^C = V_{O_2}^C + V_{N_2}^C$$

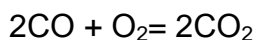
Объём азота в  $K_v$  раз больше, чем объём кислорода, значит:

$$V_{N_2}^C = V_{O_2}^C \cdot K_v$$

Тогда  $V_K^C = V_{O_2}^C + V_{O_2}^C \cdot K_v = (1 + K_v) \cdot V_{O_2}^C$  и  $L_O = (1 + K_v) \cdot V_{O_2}^C + V_{ВП}$

Как видно, стал понятен смысл выражения  $(1 + K_v)$ , содержащегося в выводимой формуле.

Очевидно, фрагмент этой формулы  $(0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 2 \cdot CH_4 + 3 \cdot C_2H_4) / 100$  должен показывать объём кислорода, необходимый для сжигания 1 м<sup>3</sup> газовой смеси ( $V_{O_2}^C$ ). Этот объём определяется на основании стехиометрических соотношений реакций горения каждого компонента газообразного топлива. Выясним смысл коэффициентов, стоящих в этом фрагменте перед CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, на примере CO:



Как видно из уравнения, для сжигания двух молей CO необходимо использовать один моль O<sub>2</sub>. Естественно, объём кислорода будет в два раза меньше, чем объём CO. Поэтому в данном фрагменте формулы перед CO стоит коэффициент 0,5. Аналогичные стехиометрические расчёты продуктов горения H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, подтверждают коэффициенты перед этими веществами в данном фрагменте формулы.

Остаётся невыясненным смысл числа 100, стоящего в знаменателе этого фрагмента. Поясним это. Процентное содержание каждого компонента в горючей смеси показывает объём (м<sup>3</sup>) в 100 м<sup>3</sup> смеси. Поскольку расчёт  $L_O$  производится на 1 м<sup>3</sup> смеси, то необходимо деление на 100.

Рассмотрим оставшийся фрагмент выводимой формулы, а именно:

$$1 + \frac{0,1244 \cdot d_6^c}{100}$$

Очевидно, он связан с необходимостью учёта объёма водяных паров, содержащихся во влажном кислородоносителе. Обратим внимание на заданную влажность кислородоносителя ( $d_g^c$ ). Её размерность: г/м<sup>3</sup>. Это означает, что 1 м<sup>3</sup> этого носителя содержит  $d_g^c$  г водяных паров.

Рассчитаем объём этой массы воды:

$$\begin{aligned} 18 \text{ г H}_2\text{O (1 моль)} &— 22,4 \text{ л, т.е. } 0,0224 \text{ м}^3(\text{н.у.}) \\ d_g^c \text{ г H}_2\text{O} &— X \text{ л} — X \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \\ X &= 0,001244 \cdot d_g^c, \text{ или } X = 0,1244 \cdot d_g^c / 100, \text{ м}^3/\text{м}^3. \end{aligned}$$

Итак, 1 м<sup>3</sup> сухого кислородоносителя содержит  $0,1244 \cdot d_g^c / 100$  м<sup>3</sup> водяных паров, а в  $V_K^C$  м<sup>3</sup>, соответственно:

$$V_{ВП} = V_K^C \cdot 0,1244 \cdot d_g^c / 100, \text{ м}^3$$

Тогда:

$$L_o = V_K^C + V_{ВП} = V_K^C + V_K^C \cdot 0,1244 \cdot d_g^c / 100 = V_K^C (1 + 0,1244 \cdot d_g^c / 100)$$

или

$$L_o = \frac{1 + K_v}{100} (0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 2 \cdot CH_4 + 3 \cdot C_2H_4) \cdot \left(1 + \frac{0,1244 \cdot d_g^c}{100}\right), \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Рассчитываем теоретически необходимый объём влажного кислородоносителя для сжигания 1 м<sup>3</sup> заданного газообразного топлива:

$$L_o = \frac{1 + 3,0}{100} (0,5 \cdot 22,45 + 0,5 \cdot 11,72 + 2 \cdot 5,58 + 3 \cdot 0,34) \cdot \left(1 + \frac{0,1244 \cdot 18,9}{100}\right) = 1,18 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Как видно, использование довольно простых в данном случае химических знаний позволяет студенту-теплотехнику «вдохнуть жизнь» в, казалось бы, сложную формулу расчёта объёма кислородоносителя, выяснить смысл этой формулы. Да и не только этой.

### Литература

1. Семькин В.С., Дрозд Е.Г. Некоторые вопросы химии в дисциплинах специализации для студентов-теплотехников // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія, 2004. — Вип. 77. — С. 116–118.
2. Курбатов Ю.Л., Гинкул С.И. Задание и методические указания к домашним расчётным работам по промышленным печам. — Донецк, ДПИ, 1980. — 52 с.
3. Парахін М.Ф., Шелудченко В.І., Кравцов В.В. Поточні процеси та пристрої. — Севастополь: «Вебер», 2003. — 181 с.
4. Приседский В.В., Виноградов В.М., Ожерельев Д.И., Семькин В.С. Курс общей химии в примерах. Ч1.-К:ИСДО, 1995. — 142 с.

Ó Семькин В.С., Дрозд Е.Г., 2006