

## i—t ДИАГРАММА ДЛЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ

Г. И. ФУКС

Имеющиеся  $i-t$  диаграммы можно разбить на две группы:

1. Специальные диаграммы, например, предназначенные для подсчетов с определенным топливом.

2. Универсальные диаграммы.

Предлагаемая диаграмма относится к последнему типу. Она строится по соотношению

$$iV_{\Gamma} = i_2V_2 + i_{\text{CO}_2}V_{\text{CO}_2} + i_{\text{H}_2\text{O}}V_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (1)$$

где  $i, i_2, i_{\text{CO}_2}$  и  $i_{\text{H}_2\text{O}}$  — энтальпии  $\text{нм}^3$  продуктов горения, двухатомных газов,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  соответственно,  $V_{\Gamma}, V_2, V_{\text{CO}_2}$  и  $V_{\text{H}_2\text{O}}$  — объем в  $\text{нм}^3$  общий, двухатомных газов,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  соответственно. Так как

$$V_{\Gamma} = V_2 + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (2)$$

то

$$iV_{\Gamma} = i_2V_2 + (i_{\text{CO}_2} - i_2)V_{\text{CO}_2} + (i_{\text{H}_2\text{O}} - i_2)V_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (3)$$

Если учесть, что

$$\frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\Gamma}} = r_{\text{CO}_2}, \quad (4)$$

$$\frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\Gamma}} = r_{\text{H}_2\text{O}},$$

то можно получить

$$i = i_2 + r_{\text{CO}_2}(i_{\text{CO}_2} - i_2) + r_{\text{H}_2\text{O}}(i_{\text{H}_2\text{O}} - i_2). \quad (5)$$

Основную роль играют двухатомные газы. Численные значения энтальпии двухатомных газов в функции от температуры отложены на горизонтальной прямой. Значения величин

$$i_{\text{CO}_2} - i_2$$

и

$$i_{\text{H}_2\text{O}} - i_2$$

отложены кверху и книзу от основной прямой на соответственных абсциссах температур. Точки с одинаковыми значениями  $r_{\text{CO}_2}$  и  $r_{\text{H}_2\text{O}}$  соединены кривыми с соответствующими надписями. Суммирование согласно соотношению (5) проводится помощью прямых с наклоном в  $45^\circ$  (см. расчетный пример 1, нанесенный на диаграмме).

Решение обратной задачи, т. е. определение температуры газа по заданной энтальпии и составу, может быть произведено на универсальной диаграмме только подбором. В данном случае применяется метод постепенного приближения, который заключается в совокупности построений *abcdefghit* (см. расчетный пример 2, нанесенный на диаграмме). При этом каждый раз, когда ось температур пересекается вертикалью, отсчитывается все более точное значение искомой температуры газа.

Правильность этого приема можно доказать следующим образом. Если положить, что в том интервале температур, где производится построение

$$i_{\text{H}_2\text{O}} - i_2 = idem, \quad (a)$$

Линия с соответствующей надписью  $r_{H_2O}$  пойдет горизонтально. В этом случае уже первое построение даст возможность отсчитать искомую температуру, как это непосредственно следует из прямой задачи. Так как в действительности

$$i_{H_2O} - i_2$$

увеличивается с температурой, то указанное построение даст несколько заниженное значение. Продолжая это построение в виде совокупности линий  $abcefg$ , мы также получили бы истинное значение искомой температуры, если бы в интервале температур от прежде определенной до истинной соблюдалось условие (а). В действительности же, вследствие увеличения  $i_{H_2O} - i_2$  с температурой, отсчитывается несколько более высокая температура. Дальнейшее построение  $ghit$  дает опять несколько заниженную температуру и т. д. Но в то же время последующие отсчеты все более сближаются, так что дальнейшие построения становятся ненужными.

Для составления диаграммы были использованы таблицы теплоемкостей, составленные В. Н. Тимофеевым [1]. Обработка этих таблиц с помощью метода наименьших квадратов привела к следующим формулам для средней теплоемкости от  $0^\circ$  до  $t^\circ C$  при неизменном давлении в интервале  $0^\circ - 2000^\circ C$ .

1. Двухатомные газы:

$$c = 0,310 + 0,0000241 t \frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3 \text{град.}} \quad (6)$$

с максимальной погрешностью — 1%.

2.  $CO_2$ :

$$c = 0,430 + 0,0000769 t \frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3 \text{град.}} \quad (7)$$

с максимальной погрешностью — 4%.

3.  $H_2O$ :

$$c = 0,354 + 0,0000572 t \frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3 \text{град.}} \quad (8)$$

с максимальной погрешностью — 1,3%.

С такой же погрешностью вычислены значения энтальпии газов. Учитывая, что основную часть продуктов горения составляет азот воздуха, пошедшего на горение, можно показать, что максимальная погрешность при расчете по этим зависимостям, а следовательно, и по диаграмме, не должна превышать 1,5%.

При пользовании диаграммой необходимо учитывать, что состав газов должен быть рассчитан с учетом водяного пара, т. е. для „полных“, а не для „сухих“ газов. Зная объемы сухих газов  $V_{сз}$  и водяного пара  $V_{H_2O}$ , подсчитывается полный объем

$$V_2 = V_{сз} + V_{H_2O}. \quad (9)$$

Если процент содержания  $O_2$  в сухих газах —  $CO_2$  %, то

$$r_{CO_2} = CO_2 \frac{V_{сз}}{V_2}. \quad (10)$$

Для подсчета  $r_{H_2O}$  имеем

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_2}. \quad (11)$$

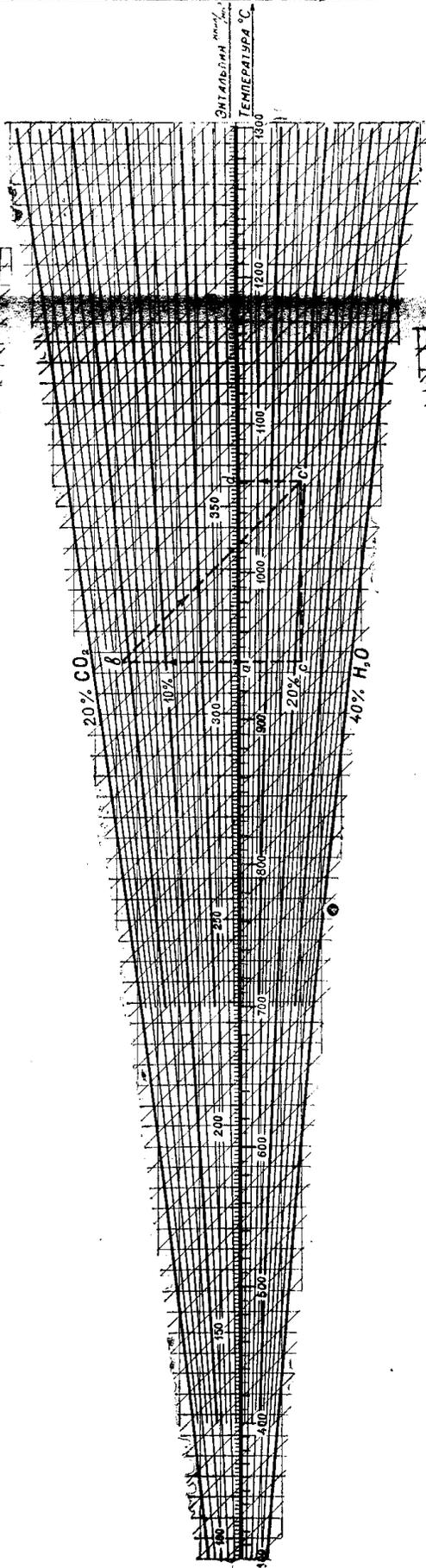
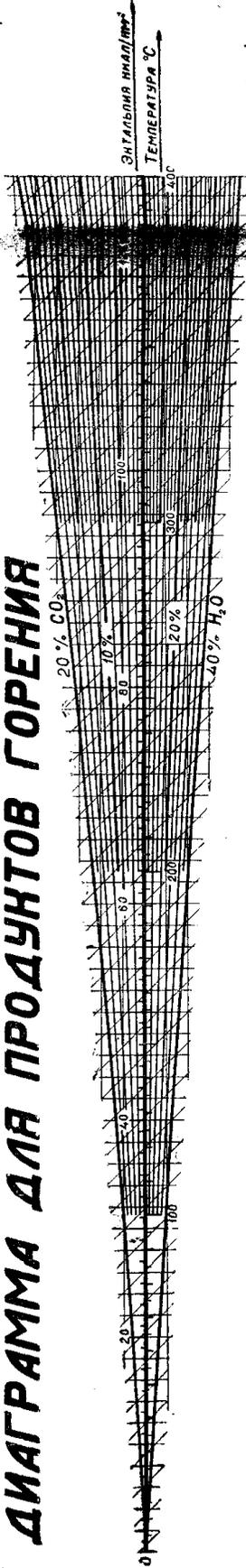
Далее

$$r_2 = 100 - (r_{CO_2} + r_{H_2O}). \quad (12)$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев В. Н. — Физические константы газов, Известия ВТИ, 6, 1946.

# *i-t* ДИАГРАММА ДЛЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ



## ПРИМЕРЫ

ДАНО: РЕШЕНИЕ  
 $t = 940^{\circ}\text{C}$   $\alpha \beta \text{ c-d}$   
 $\tau_{\text{CO}_2} = 13\%$   $l = 356 \text{ ккал/м}^3$   
 $\tau_{\text{H}_2\text{O}} = 22\%$   
 Найти  $i$

Энтальпия  $\text{ккал/м}^3$   
ТЕМПЕРАТУРА  $^{\circ}\text{C}$

РЕШЕНИЕ:  
 $i = 822 \text{ ккал/м}^3$   
 $\tau_{\text{CO}_2} = 10\%$   $\rho \text{ g h-l-t}$   
 $\tau_{\text{H}_2\text{O}} = 21\%$   
 $t = 2000^{\circ}\text{C}$   
 Найти  $t$

