

шпон. Образцы полученной фанеры подвергали стандартным испытаниям. Результаты испытаний показали, что образцы фанеры соответствуют всем необходимым требованиям, включая прочностные характеристики. Однако при распиловке значительная часть их крошилась, что требует доработки этой технологии. В работе изучена также адсорбционная способность кремнегеля в отношении формальдегида. Установлено, что кремнегель способен сорбировать формальдегид из водной среды. Следовательно, применение кремнегеля в качестве наполнителя карбамидоформальдегидных смол будет способствовать снижению содержания формальдегида в древесных материалах.

В лабораторных условиях были получены химические добавки для цементных вяжущих, содержащие кремнегель. Эти добавки обладают пластифицирующими свойствами. Введение их в небольших количествах в цементное тесто повышает его пластичность и снижает водопотребность не менее чем на 10%, что способствует улучшению качества бетонов.

Утилизация кремнегеля имеет важное не только экономическое, но и экологическое значение. Она предотвратит загрязнение окружающей среды соединениями фтора и алюминия.

УДК 621.723:66.04

Д.Г. Калишук, доц., канд. техн. наук;  
Н.П. Саевич, ассист., канд. техн. наук;  
А.К. Болвако, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **ПАРАМЕТРЫ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПЕЧАХ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА**

Теплотехнические установки, в которых осуществляется нагрев технологических сред топочными газами, широко распространены в химической и нефтехимической промышленности. Примером могут служить печи для нагрева высокотемпературных теплоносителей. Зачастую по технологическим причинам топочные газы, покидающие рабочую зону печей имеют высокую, достигающую 800°C, температуру. Современное оборудование такого рода снабжено устройствами для утилизации тепла отходящих топочных газов. За счет этого значительно снижается энергоемкость осуществляемых процессов, повышается тепловой КПД установок, уменьшается загрязнение окружающей среды продуктами сгорания топлива. Энергия, полученная за счет утилизации тепла, как правило, используется на подогрев дутья.

При технологическом проектировании установок с использованием тепла отходящих топочных газов для подогрева дутья весьма

трудоемкими являются расчеты по определению параметров продуктов сгорания топлива, в т. ч. адиабатной температуры горения. Решение этой частной задачи также актуально при работах по модернизации морально устаревших установок, в которых не была предусмотрена утилизация тепла отходящих газов.

Основным топливом на предприятиях и объектах энергетики Беларуси является природный газ. При современных технологиях газоснабжения состав его стабилен. Содержание метана в природном газе составляет в среднем 98,9% об. и может отклоняться от указанной величины не более чем на 0,3% [1]. В нем содержится примерно 0,1% об. диоксида углерода, до 0,9% об. азота. Углеводороды, имеющие в своем составе три и более атомов углерода, присутствуют в природном газе в очень малом количестве. Указанные обстоятельства позволяют существенно упростить ряд известных зависимостей, рекомендуемых для расчетов параметров продуктов сгорания, а именно:

- уравнение для определения нижней теплоты сгорания газового топлива (например, формулу Менделеева);
- уравнения материальных балансов для определения теоретического расхода сухого воздуха и состава продуктов сгорания;
- уравнения тепловых балансов для определения адиабатной температуры горения.

Проведенный анализ показал, что пренебрежение в составе природного газа содержанием пропана и более тяжелых углеводородов, а также не учет того, что в топочных газах наблюдается частичная диссоциация диоксида углерода и воды, увеличивает относительную погрешность расчетных величин не более чем на 0,3%.

В соответствии с выше изложенным теоретический расход воздуха на сжигание 1 м<sup>3</sup> природного газа предлагается рассчитывать по формуле

$$V_T = 9,546(y_1 + 1,75y_2), \quad (1)$$

где  $y_1$  и  $y_2$  – объемные доли метана и этана в природном газе соответственно, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Теоретический выход продуктов сгорания газа рассчитывается по упрощенным уравнениям, например, выход диоксида углерода :

$$V_{CO_2T} = y_{CO_2}^r + y_1 + 2y_2 + 3 \cdot 10^{-4} V_T \cdot \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;  $y_{CO_2}^r$  – объемная доля диоксида углерода в природном газе, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Исходя из суммарного выхода продуктов сгорания и выхода отдельных компонентов, рассчитывают доли последних в топочных га-

зах. Например, объемная доля диоксида углерода в сухих продуктах сгорания  $y_{\text{CO}_2}^c$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , вычисляется следующим образом:

$$y_{\text{CO}_2}^c = \frac{V_{\text{CO}_2\tau}}{V_c}, \quad (3)$$

где  $V_c$  – суммарный выход сухих продуктов сгорания в расчете на  $1 \text{ м}^3$  природного газа,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Значение величин  $y_{\text{CO}_2}^c$  позволяет судить о режиме сгорания топлива, в частности, о величине коэффициента избытка воздуха. Известно, что при оптимизации работы горелок, как правило, измеряют долю диоксида углерода в продуктах сгорания и в соответствии с ней регулируют расход дутья. При известных значениях объемных долей компонентов в продуктах сгорания не составляет труда расчет плотности их при различных температурах.

Нижнюю теплоту сгорания природного газа  $Q_{\text{H}}^c$ ,  $\text{МДж}/\text{м}^3$ , можно рассчитать по упрощенной формуле

$$Q_{\text{H}}^c = 35,82y_1 + 63,75y_2. \quad (4)$$

Теоретическая адиабатная температура горения по предлагаемым в справочниках методикам рассчитывается аналитически или графически методом приближений [1]. Нами предлагается аналитический метод, исключаящий трудоемкое выполнение итераций. Для применения его энтальпии продуктов сгорания топлива, а также воздуха в диапазоне температур от 0 до  $2500^\circ\text{C}$  аппроксимированы уравнениями вида

$$J_{it} = a + bt + \frac{c}{t+1} + dt^2, \quad (5)$$

где  $J_{it}$  – энтальпия газового компонента или воздуха при температуре  $t$ ,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;  $t$  – температура продуктов сгорания (воздуха),  $^\circ\text{C}$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  – коэффициенты.

Уравнение для расчета адиабатной температуры горения представляется в виде

$$\left( J_{\text{B}} + y_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{B}} J_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{B}} \right) V_1 \alpha + Q_{\text{H}}^c \cdot 10^6 = \sum_{i=1}^n J_{it} V_{\alpha i}, \quad (6)$$

где  $J_{\text{B}}$  и  $J_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{B}}$  – энтальпия воздуха и водяных паров при их температуре на входе в горелку,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;  $y_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{B}}$  – объемная доля водяных

паров в воздухе, поступающем в горелку;  $V_{гт}$  — теоретический выход  $i$ -го компонента в расчете на  $1 \text{ м}^3$  топлива,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

В правую часть уравнения (6) подставляются значения  $J_{гт}$ , описываемые зависимостями вида (5). При решении данного уравнения задаются значениями температуры воздуха на входе в горелку, а также содержания водяных паров в нем.

На основании представленных расчетных зависимостей разработана программа расчета параметров продуктов сгорания природного газа, позволяющая определять их при различных коэффициентах избытка воздуха и температурах дутья с учетом климатических условий места эксплуатации теплотехнической установки. Информация о составе продуктов сгорания, их адиабатной температуре также может быть представлена для различных режимов в виде номограмм. Последняя, по нашему мнению, особенно полезна инженерному персоналу промышленных предприятий. Расчетные величины, определенные по разработанной нами методике, отличаются от их значений, рассчитанных по развернутым, более точным зависимостям, на 1–2%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 560 с.

УДК 666.266

Н.М. Бобкова, проф., д-р техн. наук;

С.Е. Баранцева, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.;

А.П. Кравчук, асп.; Е.Е. Трусова, инж. (БГТУ, г. Минск)

### **МНОГОЦЕЛЕВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ГОРНЫХ ПОРОД МИКАШЕВИЧСКОГО РУП «ГРАНИТ» ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В Республике Беларусь строительные материалы как вид минерального сырья представлен многочисленными и разнообразными месторождениями песков и песчано-гравийных смесей, глин, карбонатных пород, естественным строительным камнем, гипсом и ангидритом. Значение этого сырья в современной экономике республики огромно [1]. Самым крупным месторождением строительного камня является Микашевичское, где кристаллический фундамент образован гранитами, гранодиоритами, диоритами, мигматитами и другими породами, объединенными общим названием — гранитоиды.

При производстве дорожного щебня количество отходов в виде «гранитных отсевов» и циклонной пыли доходит до 15–20% и при