

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КИНЕТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПИРОЛИЗА ТОРФА

Т.М. Плахова, А.Н. Субботин
Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ

Одним из востребованных возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом балансе Томской области является низко-сортное топливо, в число которого входит торф. Для удобного и качественного сжигания предлагается использовать перспективную технологию низкотемпературного пиролиза [1].

Для процесса пиролиза существует математическая модель, позволяющая рассчитать тепловой эффект от сжигания твердого топлива. Для каждого вида твердого топлива в эту математическую модель необходимо подставить индивидуальные кинетические константы – предэкспоненциальный множитель k_0 и энергия активации E , кДж/моль.

Все данной работе показана упрощенная методика расчета кинетических констант с использованием экспериментальных данных изменения массы топлива в процессе термического воздействия.

Все реакции, протекающие при разложении и горении твердого топлива, описываются дифференциальными уравнениями первого порядка. Для пиролиза торфа использовался закон Арениуса [2]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = (1 - \alpha)k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1)$$

где α – степень превращения;

k_0 – предэкспоненциальный множитель (определяется экспериментальным путем);

E – энергия активации (определяется экспериментальным путем); кДж/моль.

R – универсальная газовая постоянная = 8,314 Дж/моль·К;

T – температура образца, К;

Для получения графика изменения массы топлива от времени применяется термический анализ (ДТА, ТГА, ДТГ), который осуществляется с помощью установки термоанализатора SDT Q600. Для примера использован образец торфа Кандинского месторождения, который нагревался со скоростью 5°С/мин. На полученной кривой выбираются диапазоны начала и завершения основной реакции горения и соответственные рабочие точки для массы и температуры.

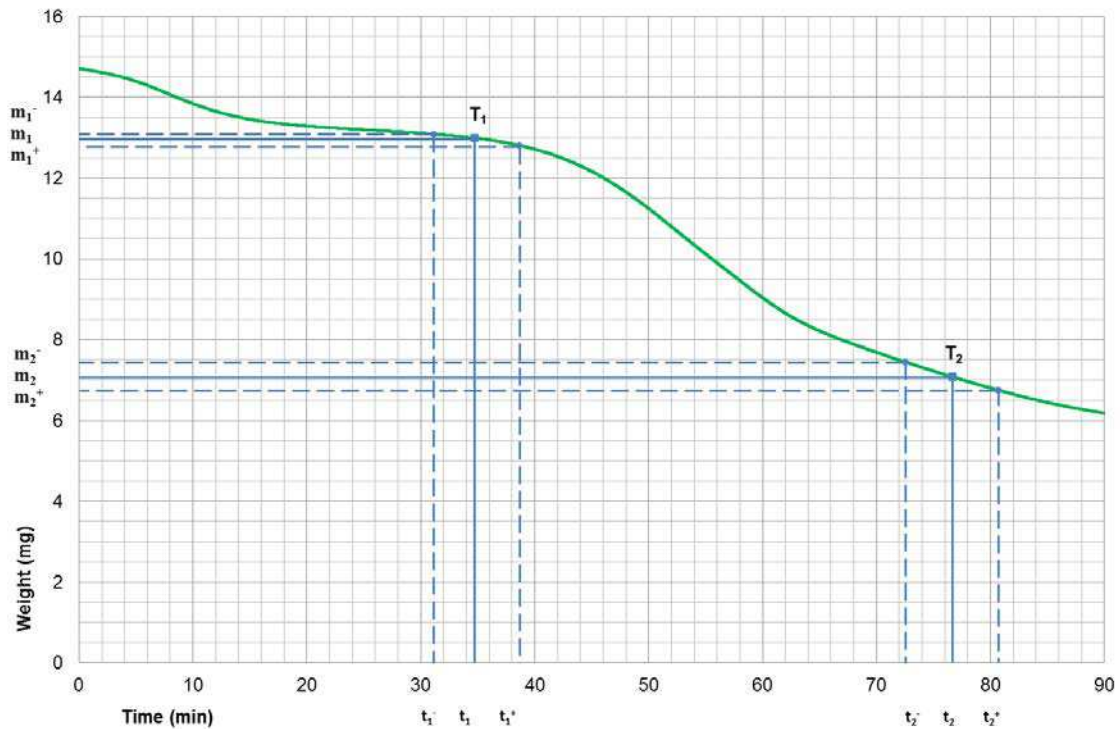


Рис. 1. Изменение массы от времени при нагревании торфа со скоростью 5 °С/мин

Экспериментально выявленное изменение массы образца позволило перейти от степени превращения к выражению формулы (1) через массу:

$$\alpha = \frac{m_{\text{нач}} - m}{m_{\text{нач}} - m_{\text{кон}}} \quad (2)$$

$$-(1 - \alpha) = -\left(1 - \frac{m_{\text{нач}} - m}{m_{\text{нач}} - m_{\text{кон}}}\right) =$$

$$= \left(\frac{-m_{\text{нач}} + m_{\text{кон}} + m_{\text{нач}} - m}{m_{\text{нач}} - m_{\text{кон}}}\right) = \frac{m_{\text{кон}} - m}{m_{\text{нач}} - m_{\text{кон}}}$$

$$\frac{1}{m_{\text{нач}} - m_{\text{кон}}} \cdot \frac{dm}{dt} = \frac{m_{\text{кон}} - m}{m_{\text{нач}} - m_{\text{кон}}} \cdot k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

$$\frac{dm}{dt} = (m_{\text{кон}} - m)k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (3)$$

Были составлены уравнения для двух точек с температурами T_1 и T_2 и массами m_1 m_2 и получена система уравнений с двумя неизвестными.

$$k_0 = \frac{dm_1}{dt} \cdot \frac{1}{m_{\text{кон}} - m_1} \cdot \exp\left(\frac{E}{RT_1}\right) \quad (4)$$

$$k_0 = \frac{dm_2}{dt} \cdot \frac{1}{m_{\text{кон}} - m_2} \cdot \exp\left(\frac{E}{RT_2}\right) \quad (5)$$

Уравнения разрешены относительно k_0 . Левые части равны, соответственно, равны правые:

$$\begin{aligned} \frac{dm_1}{dt} \cdot \frac{1}{m_{\text{кон}} - m_1} \cdot \exp\left(\frac{E}{RT_1}\right) &= \frac{dm_2}{dt} \cdot \frac{1}{m_{\text{кон}} - m_2} \cdot \exp\left(\frac{E}{RT_2}\right) \\ \exp\left(\frac{E}{RT_1} - \frac{E}{RT_2}\right) &= \frac{\frac{dm_2}{dt} \cdot \frac{1}{m_{\text{кон}} - m_2}}{\frac{dm_1}{dt} \cdot \frac{1}{m_{\text{кон}} - m_1}} \\ \exp E \left(\frac{1}{RT_1} - \frac{1}{RT_2}\right) &= \exp \cdot \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 \cdot T_2} \\ \exp \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 \cdot T_2} &= \frac{\dot{m}_2(m_{\text{кон}} - m_1)}{(m_{\text{кон}} - m_2)\dot{m}_1} \\ \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 \cdot T_2} &= \ln \frac{\dot{m}_2(m_{\text{кон}} - m_1)}{\dot{m}_1(m_{\text{кон}} - m_2)} \end{aligned}$$

Полученная формула для расчета энергии активации имеет вид:

$$E = \frac{RT_1 T_2}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{\dot{m}_2(m_{\text{кон}} - m_1)}{\dot{m}_1(m_{\text{кон}} - m_2)} \quad (6)$$

Используя формулу (4) или (5), определяется предэкспоненциальный множитель:

$$k_0 = \frac{\dot{m}_n}{m_{\text{кон}} - m_n} \cdot \exp \frac{E}{RT_n}, \quad (7)$$

где n – точка на кривой зависимости изменения массы от времени.

Показанная усовершенствованная методика расчета позволяет более оперативно определить кинетические константы для различных видов торфов на основе экспериментальных исследований в случае отсутствия необходимых справочных данных.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Табакаев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С. Перспективность низкосортных топлив томской области для теплотехнологического использования // Известия Томского политехнического университета.- 2013.- N 4.- С. 41-46.
2. Померанцев В.В. Основы практической теории горения. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.

Научный руководитель: А.С. Заворин, д.т.н., профессор, зав. каф. ПГСипГУ, ЭНИН, ТПУ.