

УДК 517.928

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ГОРЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

© Долгова Е.С., Щепаккина Е.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: dolgoval2000@yandex.ru

В работе рассматривается модель неадиабатического горения с ограниченной подачей кислорода [1]. В безразмерном виде модель описывается системой:

$$\begin{cases} \gamma \frac{d\theta_g}{d\tau} = \frac{1}{v_f} \eta^{af} \left(\frac{k}{\mu} \eta + 1 - \frac{k}{\mu} \right)^{bx} \exp\left(\frac{\theta_g}{1+\beta\theta_g}\right) - \alpha(\theta_g - \theta_{amb}), \\ \frac{d\eta}{d\tau} = -\eta^{af} \left(\frac{k}{\mu} \eta + 1 - \frac{k}{\mu} \right)^{bx} \exp\left(\frac{\theta_g}{1+\beta\theta_g}\right), \end{cases} \quad (1)$$

где η – безразмерная концентрация топлива; θ_g – безразмерная температура газовой смеси; θ_{amb} – безразмерная температура окружающей среды; $-\alpha(\theta_g - \theta_{amb})$ отражает теплоотвод во внешнюю среду; параметры β и γ характеризуют температурную чувствительность и экзотермичность реакции, для обычных горючих смесей малы; v_f – стехиометрический коэффициент топлива; значения af и bx приведены в [2]; $k = \frac{C_{f0}}{C_{ox0}}$, $\mu = \frac{v_f}{v_{ox}}$, где v_{ox} – стехиометрический коэффициент кислорода, C_{f0} – молярная концентрация топлива в начальный момент времени, C_{ox0} – молярная концентрация кислорода в начальный момент времени. Используются следующие начальные условия:

$$\theta_g(0) = 0; \eta(0) = 1.$$

В зависимости от значений параметров решение этой системы будет описывать либо случай медленного выгорания газа, либо случай теплового взрыва. В работе ищутся решения для критического случая, являющегося переходным между этими двумя. Такие решения являются наиболее интересными, так как для интегральных многообразий, соответствующих данному случаю, наблюдается смена устойчивости.

В связи с особым видом правых частей дифференциальных уравнений используется асимптотическое приближение траектории на участке быстрого движения, предложенное Мищенко Е.Ф. и Розовым Н.Х. в [3]. Используется замена, при которой время течет в обратную сторону, а неустойчивое инвариантное многообразие превращается в устойчивое.

В работе найдено критическое значение параметра $\alpha = \alpha^*$ в виде асимптотического разложения:

$$\alpha^* = \frac{e^{1+\theta_{amb}}}{v_f} \left[1 - (\theta_{amb} + 1)^2 \beta - \left(af + \frac{k}{\mu} bx \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\gamma^{\frac{2}{3}} \Omega^3 \sqrt{\frac{2v_f^2}{af + \frac{k}{\mu} bx}} \left\{ 1 - \beta \left(\theta_{amb}^2 + \frac{2}{3} \theta_{amb} - 1 \right) \right\} - \gamma \ln \frac{1}{\gamma} v_f \left\{ 1 - \beta \left(\theta_{amb}^2 - 5 \right) \right\} \right) \right] \\ + O(\gamma);$$

При таком значении $\alpha = \alpha^*$ достигается сравнительно большая температура газа в рамках безопасного процесса. Этот факт имеет важное прикладное значение.

Библиографический список

1. Sazhin S.S., Shchepakina E., Sobolev V. Critical phenomena in non-adiabatic combustion // *Combustion and Flame*. 2022. Vol. 245.
2. Dryer F.L., Westbrook C.K. Simplified reaction mechanisms for the oxidation of hydrocarbon fuels in flames // *Combustion Science and Technology*. 1981. Vol. 27. P. 31–43.
3. Мищенко Е.Ф., Розов Н.Х. Дифференциальные уравнения с малым параметром и релаксационные колебания. М.: Наука, 1975. 248 с.