

жидкости в рамках современных технологий тушения лесных пожаров с применением авиации.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14–39–00003).*

Список литературы:

1. O.V. Vysokomornaya, G.V. Kuznetsov, and P.A. Strizhak, Journ. of Eng. Phys. and Thermophys. 1, 86 (2013).
2. D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, and P.A. Strizhak, Math. Probl. in Eng. 2014 (2014).
3. P.A. Strizhak, Journ. of Eng. Phys. and Thermophys. 4, 86 (2013).
4. D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, and P.A. Strizhak, Russ. Journ. of Physic. Chem. B 5 (2014).
5. D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, and P.A. Strizhak, Adv. in Mech. Eng. 2014 (2014).
6. O.V. Vysokomornaya, G.V. Kuznetsov, and P. A. Strizhak, Math. Probl. in Eng. 2014 (2014).
7. P.A. Strizhak, Journ. of Eng. Thermophys. 4, 20 (2011).
8. J.O. Hirschfelder, C.F. Curtiss, and R.B. Bird, Molecular Theory of Gases and Liquids (John Wiley and Sons, New York, 1954).
9. N.B. Vargaftik, L.P. Filipov, A.A. Tarzimanov, E.E. Totskii, Handbook of Thermal Conductivity of Liquids and Gases (CRC Press, Inc., Boca Raton, 1994).

УДК 536.468

## **ВЛИЯНИЕ ГЕТРОГЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА УСЛОВИЯ И ХАРАКТЕРИТИКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ**

Сыродой С.В.<sup>1</sup>, Саломатов В.В.<sup>2</sup>, д.т.н., Гутарева Н.Ю.<sup>2</sup>, к.п.н.

<sup>1</sup>Томский политехнический университет. г. Томск.

<sup>2</sup>Институт теплофизики СО РАН. г. Новосибирск

E-mail: [ssyrodoy@yandex.ru](mailto:ssyrodoy@yandex.ru)

Для сжигания низкосортных и низкокалорийных топлив, необходимы новые эколого- и энергоэффективные технологии, например, с использованием водоугольного топлива (ВУТ) [1,2]. Это новый вид топлива, который представляет собой высококонцентрированную суспензию, состоящую из угля, воды и присадок пластификаторов [3], сохраняющих гомогенную структуру. Однако при рассмотрении таких сложных топливных композиций возникают проблемы, связанные с определением эффективных теплофизических характеристик, влияющих на условия зажигания. С целью оценки влияния различных моделей теплофизических свойств ВУТ на динамику воспламенения использовались следующие методики.

В первом варианте постановки задачи теплофизические характеристики влажной и «обезвоженной» части топлива рассчитывались с учетом объемных долей компонент:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \varphi_3 \lambda_3 + \varphi_4 \lambda_4 & \text{Cp}_1 &= \varphi_3 \text{Cp}_3 + \varphi_4 \text{Cp}_4 & \rho_1 &= \varphi_3 \rho_3 + \varphi_4 \rho_4 \\ \lambda_2 &= \varphi_3 \lambda_3 + \varphi_5 \lambda_5 & \text{Cp}_2 &= \varphi_3 \text{Cp}_3 + \varphi_5 \text{Cp}_5 & \rho_2 &= \varphi_3 \rho_3 + \varphi_5 \rho_5\end{aligned}$$

где  $\varphi$  – объемная доля соответствующего компонента топлива: 3 – вода; 4 – уголь; 5 – воздух.

Вторая модель базируется на результатах исследований [4]. Теплофизические свойства ВУТ определялись по схеме водоугольной композиции.

В третьем варианте модели теплофизические характеристики принимались соответствующим характеристикам базового материала (угля).

При математическом описании задачи зажигания частицы ВУТ область решения нестационарных уравнений в частных производных разделялась на две части. Первой (исходной) соответствуют теплофизические свойства влажного ВУТ. Вторая («подсушенная») часть представляет собой «обезвоженный» высокопористый угольный каркас и водяные пары. Последние вступают в термохимическое взаимодействие с углеродом кокса. При прогреве частицы до критической температуры начинается процесс термического разложения с выходом летучих. Продукты термохимического взаимодействия углерода и пара совместно с последним и летучими фильтруются к поверхности частицы, где формируют парогазовую смесь, воспламеняющуюся при достижении критических значений температуры и концентрации. Математическая модель состоит из следующих уравнений:

$$\begin{aligned}C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial t} &= \lambda_1 \cdot \left[ \frac{\partial^2 T_1(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \right], & (1) \\ t > 0, \quad 0 < r < r_H, \quad T \leq T_H,\end{aligned}$$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \left[ \frac{\partial^2 T_2(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} \right] - \sum Q_i \cdot W_i - u_s \text{Cp}_s \cdot \rho_s \cdot \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta_2(r,t)}{\partial t} = (1 - \eta_2(r,t)) \cdot k_0 \cdot \rho \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_1(r,t)}\right), \quad (3)$$

$$\frac{m \cdot \xi \cdot Z}{K_p} \cdot \frac{\partial p_s(r,t)}{\partial t} = \left( \frac{\partial p_s^2(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial p_s(r,t)}{\partial r} \right), \quad (4)$$

$$t > 0, \quad r_H < r < r_0, \quad T \geq T_H,$$

$$\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \right|_{r=r_u-0} - \lambda_2 \left. \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} \right|_{r=r_u+0} = Q_{исп} \cdot W_{исп}, \quad (5)$$

$$T_1(r_H; t) = T_2(r_H; t) = T_H,$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(r_0, t)}{\partial r} = \alpha \cdot [T_c - T_2(r_0, t)] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot [T_c^4 - T_2^4(r_0, t)] + \sum_i Q_i \cdot W_i, \quad (6)$$

$$\frac{\partial T_1(0, t)}{\partial r} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial p_s(r_H, t)}{\partial r} = -\frac{\nu}{K_p} u_s(r_H; t), \quad (8)$$

$$p(r_0; t) = p_0, \quad (9)$$

$$0 < r < r_0, \quad T(r, 0) = T_0, \quad p(r, 0) = p_0, \quad \eta(r, 0) = \eta_0,$$

В результате численного моделирования установлены значения времен задержки зажигания в зависимости от температуры окружающей среды для частиц различных диаметров (рис.1). Видно, что с повышением температуры внешней среды  $T_c$  уменьшается время задержки воспламенения  $t_3$ . Можно отметить, что частицы ВУТ, теплофизические свойства которых рассчитывались по схеме [4], воспламеняются почти в 2 раза быстрее, чем частицы, теплофизические характеристики которых принимались равными характеристикам угольного топлива. Времена задержки зажигания частиц, свойства которых определялись из долевого соотношения система «вода-уголь», лежат в диапазоне между значениями  $t_3$ , полученными по двум вышеперечисленным основным вариантам.

Зависимость температуры поверхности частицы водоугольного топлива от времени (до момента воспламенения ВУТ) приведена на рисунке.2 для трех вариантов представлений о теплофизических свойствах частицы ВУТ. Для двух кривых характерны участки, разделенные точкой перегиба ( $t_{и}; T_{и}$ ). Изменение наклона кривой 1 означает образование «обезвоженного» слоя топлива с высоким термическим сопротивлением. По этой причине рост температуры поверхности происходит значительно быстрее. Для кривой 3, такая же точка перегиба характеризует момент времени завершения процесса влагоудаления из частицы.

На рисунке 3 показана относительная глубина проникновения фронта испарения в момент воспламенения частицы, теплофизические свойства которой рассчитывались по модели [4]. Очевидно, что частица воспламеняется еще до того как вся влага испарится. Можно отметить, что при понижении температуры окружающей среды глубина проникновения фронта испарения в частицу увеличивается. Проведенный численный анализ показал, что при различных формах представления теплофизических характеристик топлива времена задержек зажигания значительно отличаются.

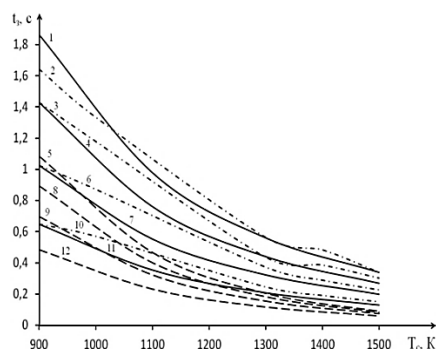


Рис. 1. Зависимость времени задержки зажигания от температуры внешней среды при различных моделях теплофизических свойств: 1;2;5- $d=1\cdot 10^{-3}$  м; 3;4;8- $d=0,8\cdot 10^{-3}$  м; 6;7;9- $d=0,6\cdot 10^{-3}$  м; 10;11;12- $d=0,4\cdot 10^{-3}$  м; 1;4;7;11-теплофизические свойства соответствуют чистому углю; 2;3;6;10-теплофизические свойства определялись соотношения долей компонент

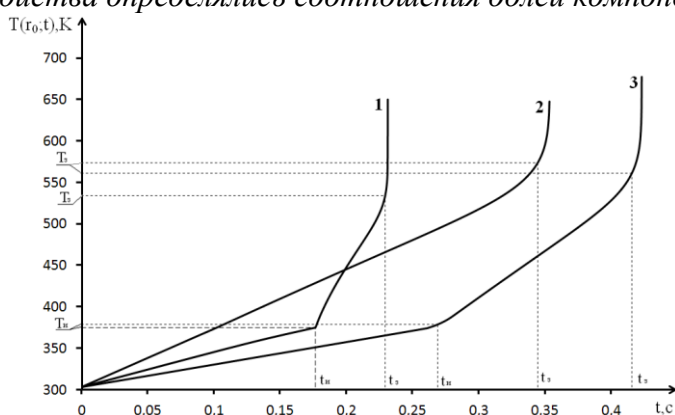


Рис.2 Зависимость температуры поверхности частицы  $T(r_0; t)$  от времени процесса зажигания  $t_s$ , частиц диаметром  $d=0,4\cdot 10^{-3}$  м в среде с температурой  $T_c=1100$  К при различных моделях теплофизических свойств: 1- теплофизические свойства рассчитывались по модели [4]; 2- теплофизические свойства соответствуют однородному углю; 3-теплофизические свойства определялись исходя из массовых долей компонент

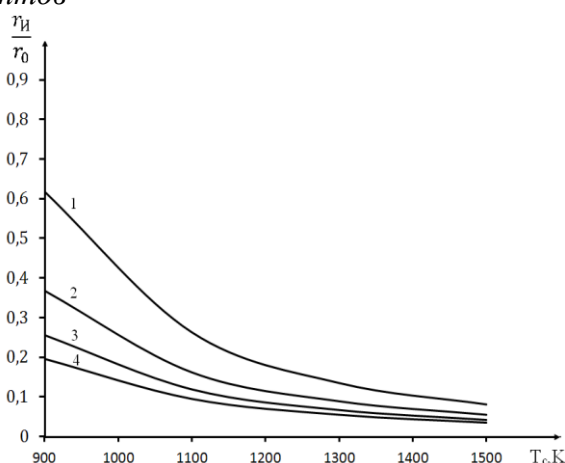


Рис.3 Относительная глубина проникновения фронта испарения в момент воспламенения водоугольных частиц: 1- $d=0,4\cdot 10^{-3}$  м; 2- $d=0,6\cdot 10^{-3}$  м; 3- $d=0,8\cdot 10^{-3}$  м; 4- $d=1\cdot 10^{-3}$  м.

Список литературы:

1. Ходаков Г.С. Водугольная суспензия в энергетике.//Теплоэнергетика. 2007. №1. С.35–45.
2. Мальцев Л.И., Кравченко И.В., Лазарев С.И., Лапин Д.А. Сжигание каменного угля в виде водугольной суспензии в котлах малой мощности.// Теплоэнергетика, 2014. № 7. с. 25–29.
3. Саломатов В.В., Дорохова У.В., Сыродой С.В. Перевод котлов малой мощности на водугольное топливо.//Ползуновский вестник. - 2013. - № 4-3. - С.38-46.
4. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

*УДК 62.611*

## **ПРЕТЕНЗИОННАЯ РАБОТА ПО ТОПЛИВУ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Тайлашева Т.С., к.т.н., Воронцова Е.С.  
Томский политехнический университет, г. Томск  
E-mail: [taylasheva@tpu.ru](mailto:taylasheva@tpu.ru)

На надежность и эффективность эксплуатации энергообъектов, сжигающих энергетическое топливо, оказывает влияние качество поставляемого топлива и своевременность его поставки. Отклонение свойств и качества топлива от проектно заявленных приводит к нарушению эксплуатационных режимов работы оборудования.

Претензионные работы по топливу – это сложный комплекс мероприятий, состоящий из работы с поставщиками, контроля топлива по количеству и качеству и др., который сопровождается ведением большого количества технической документации и сложными взаимодействиями с различными структурами как на предприятии, так и вне его [1].

Отслеживание нарушений правил и сроков поставки топлива, несоответствия теплотехнических характеристик угля и своевременное их упреждение сводится к грамотной организации претензионных работ с энергетическим топливом.

Важную роль в работе с топливом играет учет его количества и качества при поступлении на предприятие. Осуществление качественного и представительного входного контроля топлива нередко затрудняется по причине отсутствия современных технических средств для его проведения, сертифицированных топливных лабораторий с возможностью использования результатов для проведения претензионной работы [2]. Зачастую не отлажена взаимосвязь между приемщиками топлива и юридическими службами предприятия или энергосистемы. Как следствие, организация качественной претензионной работы ограничена [3].