



**Физико-
технический
факультет**

Томского
государственного
университета

Особенности горения газозвеси угольной пыли в замкнутом сферическом объеме

д. ф.-м. н. Крайнов А. Ю., к. ф.-м. н. Моисеева К. М.

Физическая постановка задачи

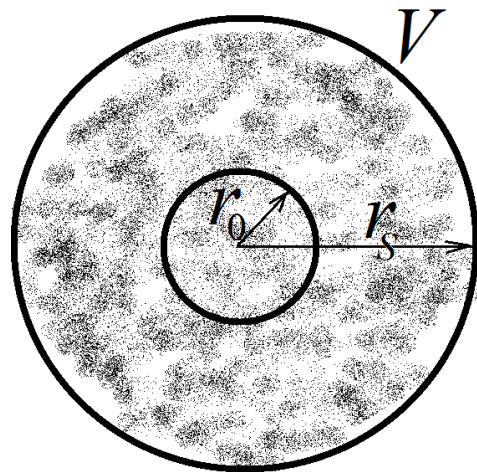


Рис. 1. Схема сферического объема

Здесь: V - объем, r_s - радиус объема, r_0 – радиус очага зажигания.

- [1] Krainov A. Yu., Moiseeva K. M. Modeling of the flame propagation in coal-dust- methane air mixture in an enclosed sphere volume// Journal of Physics: Conference Series. – 2016 – V. 754, 052003
- [2] Крайнов А. Ю. , Моисеева К. М. Моделирование искрового зажигания бидисперсной аэрозвеси угольной пыли// Инженерно-физический журнал – 2018 – Т.91, №5 – С. 1328 – 1334.
- [3] Моисеева К. М, Крайнов А. Ю. Численное моделирование искрового зажигания аэрозвеси угольной пыли// Физика горения и взрыва, 2018. Т. 54, № 2, С. 61–70.
- [4] Моисеева К.М., Крайнов А.Ю. [Искровое зажигание горючих газов и газозвесей](#): монография. – Томск : STT, 2020. – 124 с.

Принятые допущения:

- внешние стенки объема теплоизолированы;
- коэффициенты диффузии D , теплопроводности λ газа, плотность и скорость течения газа зависят от температуры;
- учитывается тепловое расширение газа при повышении температуры и следующее за этим движение;
- выход летучих компонентов из частиц задается реакцией первого порядка по закону Аррениуса.
- в смеси протекают три параллельные реакции – две экзотермические химические реакция в газе и гетерогенная реакция на поверхности частиц;
- скорости экзотермических химических реакций определяются по закону Аррениуса с суммарной кинетикой второго порядка в газе (первого по горючему и кислороду) и первого порядка на поверхности частиц;
- скорость гетерогенной химической реакции на частицах лимитируется коэффициентом массоотдачи β ;
- учитывается трение между частицами и газом.

Подробности модели горения газозвеси угольной пыли можно найти в [1 – 4]

Решение задачи выполнено с помощью метода **С. К. Годунова** для газа и алгоритма распада произвольного разрыва в среде, лишенной собственного давления, по методу **А. Н. Крайко** для частиц.
 Шаг по пространству задавался постоянным и равным $\Delta h_i = 10^{-6}$ м. Размер расчетной области выбирался таким, чтобы скорость горения успела выйти на стационарное значение (сгладилась начальная неустойчивость).

Шаг по времени определялся из условия устойчивости Куранта, $\Delta t < \frac{\Delta h_i}{\max[c] + \max[|u_g|]}$, где c – скорость звука.

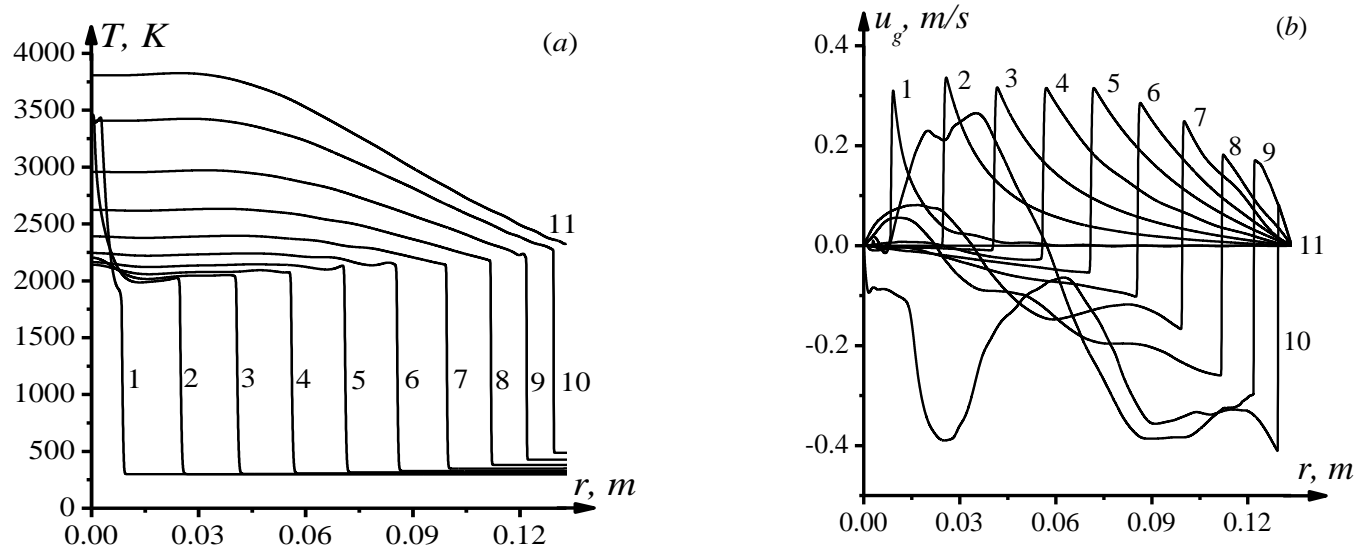


Рис. 2. Распределения температуры (а) и скорости (б) газа во времени. $\rho_k = 0.068 \text{ kg/m}^3$. 1 – $t = 0.02 \text{ s}$, 2 – $t = 0.06 \text{ s}$, 3 – $t = 0.1 \text{ s}$, 4 – $t = 0.14 \text{ s}$, 5 – $t = 0.18 \text{ s}$, 6 – $t = 0.22 \text{ s}$, 7 – $t = 0.26 \text{ s}$, 8 – $t = 0.3 \text{ s}$, 9 – $t = 0.34 \text{ s}$, 10 – $t = 0.38 \text{ s}$, 11 – $t = 1 \text{ s}$

На рисунке представлена динамика распространения волны горения по газозвеси угольной пыли, не содержащей летучие компоненты в своем составе. Кривая 11 соответствует установившемуся режиму горения. Реализуется Махе-эффект.

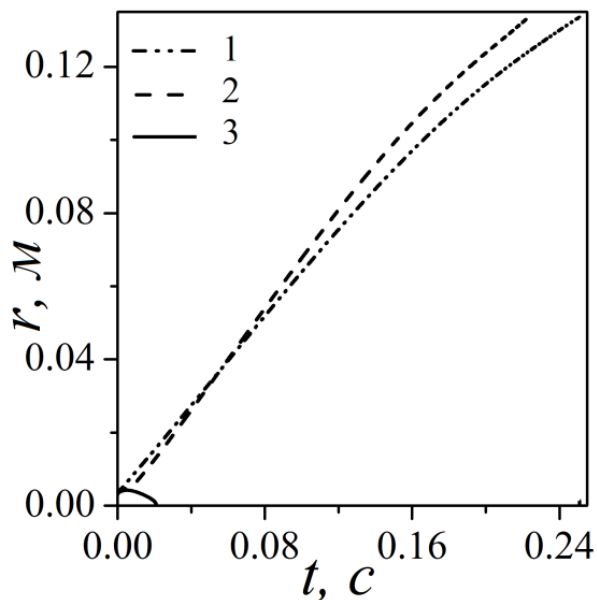


Рис. 3. Координаты фронта горения от времени

На рисунке 3 представлена зависимость координаты фронта горения от времени для трех составов газозвеси:

- 1 – $m_{\text{dust}} = 0.15 \text{ кг/м}^3$, $V^C = 0.1$,
- 2 – $m_{\text{dust}} = 0.15 \text{ кг/м}^3$, $V^C = 0.3$,
- 3 – $m_{\text{dust}} = 0.14 \text{ кг/м}^3$, $V^C = 0.3$.

Радиус частиц и объемная концентрация метана во взвеси в расчетах задавались равными 0.5 мкм и 3 %, соответственно. Согласно полученным результатам скорость сгорания газозвеси угольной пыли в замкнутом объеме возрастает при увеличении доли летучих компонентов в частицах. При малых массовых концентрациях угольной пыли выбранной энергии в очаге оказалось недостаточно для распространения пламени (кривая 3).

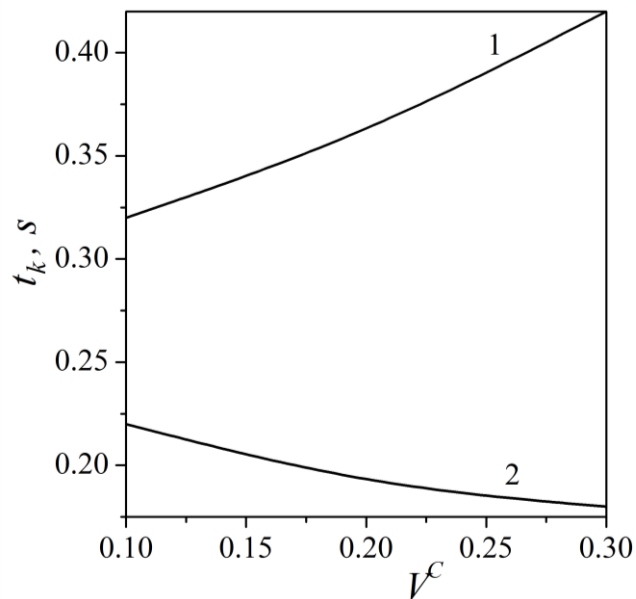


Рис. 4. Зависимость времени достижения волной горения стенок объема от процентного содержания летучих компонентов в частицах

На рисунке 4 представлена зависимость времени достижения волной горения стенок объема от содержания летучих компонентов в частицах. Кривые построены для массовой концентрации угольной пыли 0.11 кг/м^3 и объемного содержания метана в газе 4%.

Кривая 1 построена для частиц радиуса 2 мкм, кривая 2 – для частиц радиуса 0.5 мкм.

Видно резкое изменение поведения волны горения при изменении радиуса частиц.

Для смеси с содержанием метана 3 % таких резких изменений в характере поведения зависимости не обнаружено.

Выводы.

Проведено численное моделирование распространения фронта горения угле-метано-воздушной смеси в замкнутом сферическом объеме с источником воспламенения в центре.

Для одной и той же массовой концентрации угольных частиц на единицу объема исследовано влияние размеров частиц на скорость сгорания смеси. Показано, что, время сгорания смеси увеличивается с увеличением размеров частиц.

Исследовано влияние процентного содержания летучих компонентов в частицах на время сгорания газа. Получены зависимости времени сгорания от содержания летучих компонентов и показано, что характер зависимости для смесей с содержанием метана 4% меняется при изменении радиуса частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-48-703006 p_мол_a.

Спасибо за внимание!

Моисеева Ксения Михайловна

Тел. +7 (3822) 529-845

E-mail: Moiseeva_KM@t-sk.ru



Национальный исследовательский
Томский государственный университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
+7 (3822) 52-98-52, +7 (3822) 52-95-85 (факс)
rector@tsu.ru

www.tsu.ru