

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПО НЕПОДВИЖНОЙ АЭРОВЗВЕСИ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ

К.М. Моисеева, А.Ю. Крайнов, С.К. Ченцова

*Томский государственный университет
634050, Томск, Россия*

Пожаро-взрывоопасность промышленных предприятий представляет собой одну из актуальных задач физики горения и взрыва. Потенциальную угрозу на угледобывающих и деревообрабатывающих предприятиях несет органическая пыль, являющаяся побочным продуктом производства. В зависимости от внешних условий и характеристик пыли на предприятиях могут возникать потенциально опасные ситуации.

В настоящей работе поставлена задача определения характеристик перемещения фронта горения по неподвижной древесной пыли. Целью исследования является определение влияния состава древесной пыли на скорость распространения фронта горения в неподвижной аэровзвеси древесной пыли.

Физико-математическая постановка задачи основана на работе [1]. Полагается, что взвесь древесной пыли неподвижна и распределена по плоскости неравномерным образом. Такая ситуация может возникнуть, например, при обработке древесины и при отсутствии вентиляции в помещении. Полагается, что древесная пыль содержит летучие компоненты. Размер частиц, массовая концентрация пыли и содержание летучих компонентов в пыли задаются, соответственно, величинами r_k , $\rho_k(y)$ и V^C . Распределение массовой концентрации пыли по пространству подчиняется закону $\rho_k(y) = m_{dust} \left(1 + \sin(\pi y / L_y)\right) \left(1 - \exp(-5x / L_y)\right)$, $0 \leq y \leq L_y$, где m_{dust} соответствует минимальной массовой концентрации частиц вдоль оси y на заданном интервале. Распределения частиц по направлению x однородны. Задача решается в двухмерной плоской постановке. Постановка задачи учитывает сушку древесной пыли, выделение летучих компонентов, горение частиц и горение летучих компонентов. Сушка древесной пыли учитывается за счет предположения, что до достижения древесной пылью температуры 150°C никаких химических реакций выделения и горения летучих компонентов, а также горения коксового остатка древесной пыли не происходит. В уравнении изменения плотности окислителя учитывается расход окислителя на две реакции: гетерогенную на поверхности частиц и гомогенную в газе. Выход летучих компонентов из частиц задается реакцией первого порядка по закону Аррениуса. Выделившиеся летучие переходят в газ и способны к химическому реагированию с окислителем. Скорость гомогенной реакции между газообразными летучими и кислородом определяется реакцией второго порядка по закону Аррениуса (первой по кислороду и горючему). На поверхности частиц протекает гетерогенная реакция первого порядка по кислороду. Скорость гетерогенной химической реакции на частицах описывается с учетом массоотдачи [1]. Коэффициенты диффузии и теплопроводности газа зависят от температуры [1]. При постановке задачи полагается, что температура внутри частицы однородна.

Задача решалась методом продольно-поперечной прогонки [2]. Достоверность расчетов проверялась путем решения частных постановок задачи. Согласно проверке на адиабатическую температуру сгорания частиц погрешность расчета составляет не более 3%. Шаги по пространству были равны $h_y = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, $h_x = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$. Шаг по времени определялся из условия устойчивости Куранта, $\Delta t < 0.25 \min[h_x^2, h_y^2] c_g \rho_g / \lambda(T_g)$. Расчеты

проводились для участка $L_y = 0.02$ м, $L_x = 0.06$ м.

Кинетические параметры реакций выделения летучих и горения коксового остатка были взяты из диссертационной работы [3]. Кинетические константы скорости горения летучих компонентов соответствовали работе [1]. Летучие компоненты, выделяющиеся при горении угольной и древесной пыли, представляют собой смесь легких газов типа метана и водорода и горючих смол. В работе [1] на основании монографии [4] для обобщенной реакции горения летучих компонент были взяты параметры, соответствующие горению смол. В настоящей работе было использовано такое же предположение.

Примеры полученных результатов расчета представлены на рисунках 1 – 3. На рисунках 1 – 2 представлены распределения температуры газа в моменты времени, соответствующие положению координаты фронта горения вдоль оси $x - x_f = 0.2 L_x$ (а), $0.4 L_x$ (b), $0.6 L_x$ (c), $0.8 L_x$ (d). Координата фронта горения по оси x определялась для значения продольной координаты $y = L_y/2$. Для расчета взята аэрозоль с радиусом частиц $3 \cdot 10^{-5}$ м, массовой концентрацией 0.1 кг/м³ (рис.1) и 0.15 кг/м³ (рис.2), массовой долей летучих компонентов в частицах 0.1

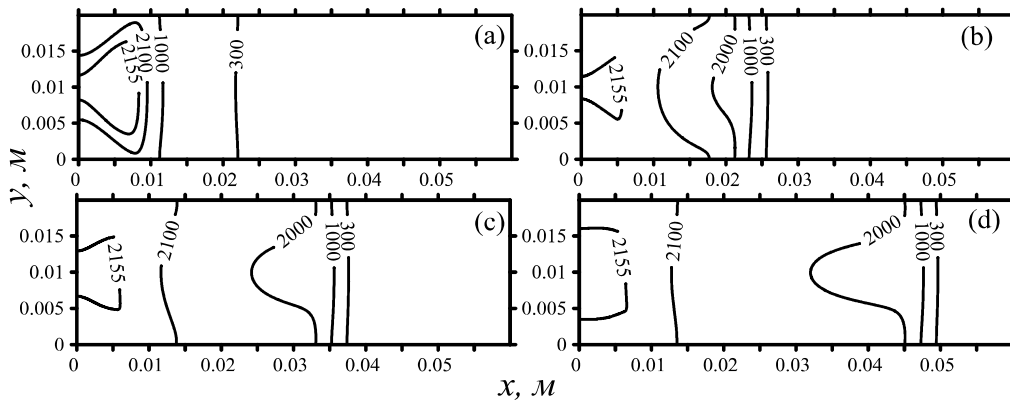


Рис.1. Распределения температуры газа по пространству в моменты времени $t = 0.142$ с (а), 0.367 с (b), 0.601 с (c), 0.836 с (d)

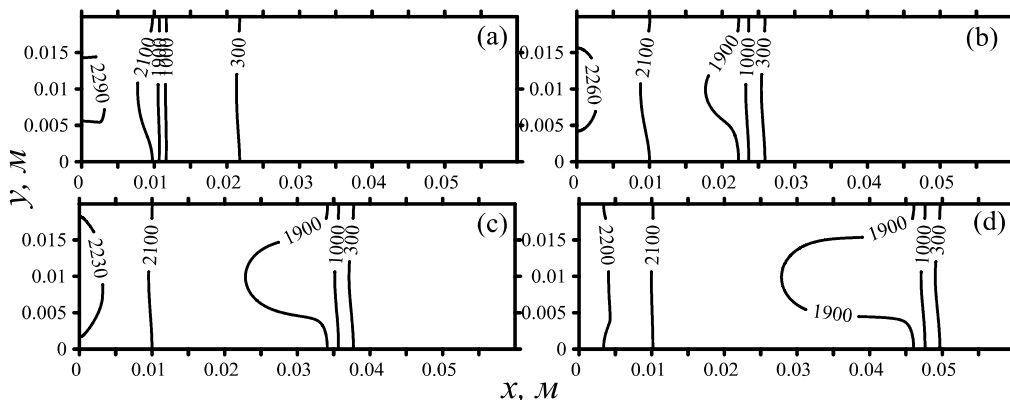


Рис.2. Распределения температуры газа по пространству в моменты времени $t = 0.142$ с (а), 0.369 с (b), 0.607 с (c), 0.845 с (d)

Согласно рис. 1 – 2 фронт горения для выбранных составов аэрозвеси перемещается с практически одинаковой скоростью и практически одинаковым характером распределения температуры по пространству. Наибольшая температура устанавливается на левой границе области и на боковых поверхностях. Представленные на рис. 1 – 2 результаты соответствовали горению при недостатке окислителя. На рис. 3 представлен расчет задачи для случая избытка окислителя, при массовой концентрации частиц 0.075 кг/м^3 . Рисунок 3 построен в моменты времени, соответствующие координате фронта горения $x_f = 0.1 L_x$ (a), $0.2 L_x$ (b), $0.3 L_x$ (c), $0.4 L_x$ (d), $0.5 L_x$ (e), $0.6 L_x$ (f). Согласно рис. 3 при избытке окислителя максимальная температура газа достигается внутри области, на границах температура газа ниже, чем внутри. Скорость перемещения фронта горения чуть ниже скорости, представленной на рис. 1 – 2.

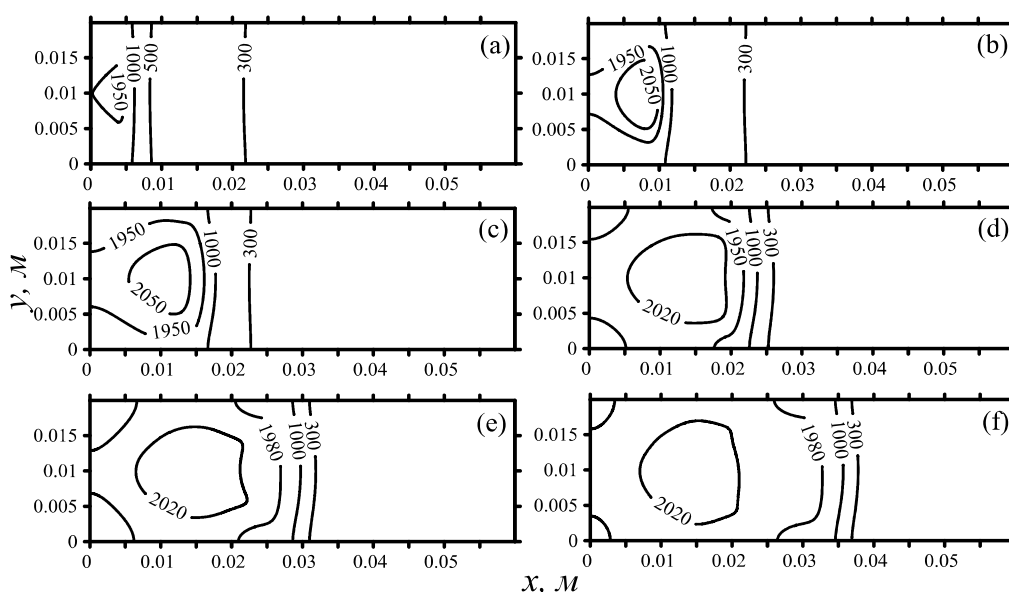


Рис.3. Распределения температуры газа по пространству в моменты времени $t = 0.05 \text{ c}$ (a), 0.149 c (b), 0.262 c (c), 0.38 c (d), 0.5 c (e), 0.621 c (f)

Представленные результаты показали, что для частиц радиуса 30 мкм скорость распространения пламени вдоль оси x для массовой концентрации древесной пыли $0.075 - 0.15 \text{ кг/м}^3$ практически не отличается. При этом в случае недостатка кислорода наибольшая температура газа устанавливается в области стенок, в случае избытка окислителя максимальная температура газа достигается внутри области.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеева К. М., Крайнов А. Ю. Влияние состава угольной пыли на скорость распространения фронта горения по аэрозвеси с неоднородным распределением частиц// Компьютерные исследования и моделирование, 2018. Т. 10, № 2, С. 221–230.
2. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем, Москва: Наука, 1971.
3. Голубев В. А. Обоснование и совершенствование способов энергетического использования растительных отходов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 01.04.14, 05.14.14 / В. А. Голубев. Барнаул, 2014. 160 С.