

ВЛИЯНИЕ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ НА ВРЕМЕНА ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МЕТАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

А.В. Федоров¹, Д.А. Тропин¹, О.Г. Пенязьков², В.В. Лещевич², С.Ю. Шимченко²

¹*Институт теоретической и прикладной механики*

им. С.А. Христиановича СО РАН, 630090, Новосибирск, Россия

²*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 220072, Минск, Беларусь*

Исследования воспламенения и горения дисперсных систем, состоящих из смеси реакционноспособных частиц в атмосфере газообразных горючего и окислителя, актуально с точки зрения взрыво- и пожаробезопасности в угледобывающей промышленности. В атмосфере шахт присутствует метан и другие реагирующие газы, кроме того и отложения угольной пыли на стенках, кровле и подошве, которые являются неустойчивыми при различных силовых воздействиях.

Математическая модель. Для описания процессов воспламенения гетерогенных смесей метан/воздух/угольные частицы разработана физико-математическая модель механики гетерогенной среды, учитывающая детальную кинетику окисления газовой смеси метан/водород/воздух и процессы термической деструкции частиц угля с выходом летучих (метан и водород) в газовую фазу, воспламенение и горение летучих в газовой фазе и гетерогенную реакцию окисления углерода [1].

Смесь уголь-воздух. Первоначально были проведены расчеты воспламенения микрочастиц угля в воздухе. На рис. 1 представлены зависимости времени задержки воспламенения частиц угля диаметрами 26, 39 и 52 мкм и объемными концентрациями $m_2 = 2.5 \cdot 10^{-4}$ и $m_2 = 5 \cdot 10^{-4}$. Из рисунка видно, что существует две области воспламенения частиц угля: 1. область, в которой уменьшение диаметра частиц приводит к уменьшению времени задержки воспламенения (при температурах менее 1150К); 2. область, в которой уменьшение диаметра частиц приводит к увеличению времени задержки воспламенения (при температурах более 1150К). Кроме того, видно, что время задержки воспламенения не меняется при увеличении объемной концентрации частиц от $m_2 = 2.5 \cdot 10^{-4}$ до $m_2 = 5 \cdot 10^{-4}$.

Обедненная смесь метан-уголь-воздух. Далее были проведены расчеты воспламенения обедненных смесей метан/воздух/уголь. На рис. 2 представлены зависимости времени задержки воспламенения микрочастиц угля диаметром 26 мкм и стехиометрической метано-воздушной смеси от температуры. Видно, что добавление частиц угля в метано-воздушную смесь в диапазоне температур от 900 до 1350 К уменьшает ее времена задержки воспламенения. Кроме того, добавление частиц угля в метано-воздушную смесь приводит к смещению предела воспламенения газовой смеси в сторону более низких температур: для чистой газовой смеси воспламенение начинается при температуре приблизительно 1100 К; для газозвеси с микрочастицами угля с объемной концентрацией $m_2 = 2.5 \cdot 10^{-4}$ – 1000К, $m_2 = 5 \cdot 10^{-4}$ – 950К. Таким образом, чем больше объемная концентрация частиц угля в газозвеси, тем ниже времена задержки воспламенения обедненной метано-воздушной смеси и тем больше сдвинут предел воспламенения метано-воздушной смеси в сторону низких температур.

Стехиометрическая смесь метан-уголь-воздух. Сравнение с экспериментом. Отметим, что ранее в [2] экспериментально было показано, что добавление микрочастиц

угля в метано-воздушную смесь уменьшает время задержки воспламенения и предельную температуру воспламенения метано - воздушной смеси. Поэтому представляется интересным провести и количественное сопоставление наших расчетов с экспериментальными данными. На рис. 3 приведены экспериментальные [2] и расчетные зависимости времени задержки воспламенения угольных частиц и времени задержки воспламенения метана в смеси метан/воздух/частицы угля от температуры смеси в конце такта сжатия. Видно, что имеется удовлетворительное соответствие экспериментальных и расчетных времен задержек воспламенения во всех рассматриваемых диапазонах давлений и температур смеси.

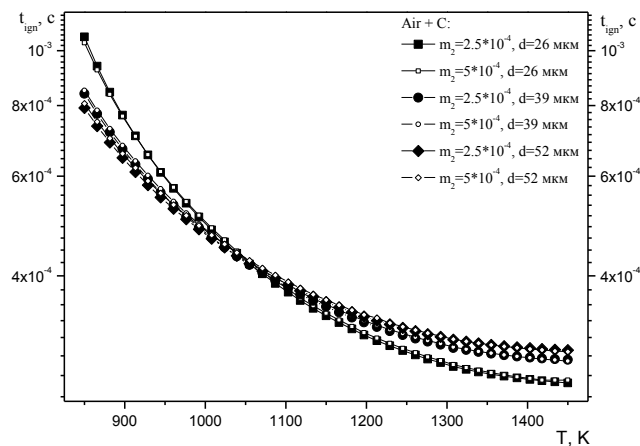


Рис. 1. Зависимости времени задержки воспламенения микрочастиц угля от температуры. Влияние диаметра и объемной концентрации частиц на времена задержки воспламенения микрочастиц угля.

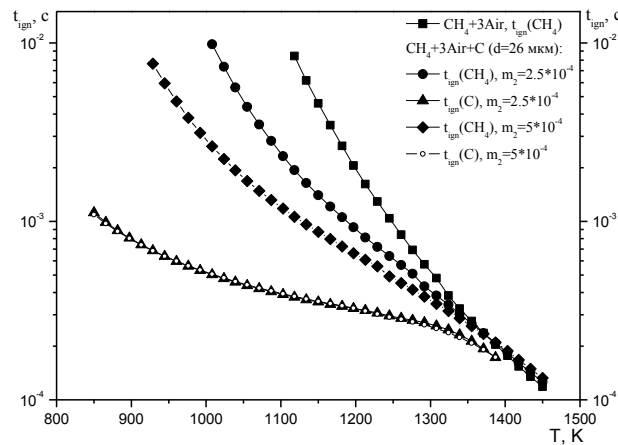


Рис. 2. Зависимости времени задержки воспламенения микрочастиц угля и обедненной метано-воздушной смеси от температуры. Влияние диаметра и объемной концентрации частиц на времена задержки воспламенения обедненной метано-воздушной смеси.

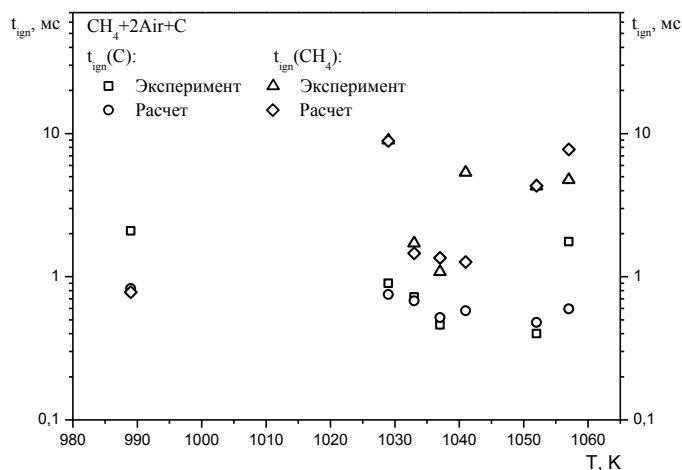


Рис. 3. Зависимости времени задержки воспламенения микрочастиц угля и метано-воздушной смеси от температуры. Сравнение с экспериментальными данными [2].

Выводы. На основе предложенной ранее физико-математической модели воспламенения и горения метано-воздушной смеси в присутствии микрочастиц угля, учитывающая детальную кинетику окисления газовой смеси метан/водород/воздух и процессы термической деструкции частиц угля с выходом летучих (метан и водород) в газовую фазу, воспламенение и горение летучих в газовой фазе и гетерогенную реакцию окисления углерода, рассчитаны времена задержки воспламенения смесей уголь-воздух, стехиометрической и обедненной смесей метан-уголь-воздух.

В расчетах с газозвесью микрочастиц угля в воздухе показано, что существует две области воспламенения частиц угля: 1. область, в которой уменьшение диаметра частиц приводит к уменьшению времени задержки воспламенения (при температурах менее 1150К); 2. область, в которой уменьшение диаметра частиц приводит к увеличению времени задержки воспламенения (при температурах более 1150К).

В расчетах с газозвесью микрочастиц угля в метано-воздушных смесях выявлено, что добавление микрочастиц угля в метано-воздушную смесь ведет к уменьшению ее времени задержки воспламенения, смещению предела воспламенения метано-воздушной смеси в сторону более низких температур. Причем чем больше объемная концентрация частиц, тем сильнее сдвигается этот предел.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ - БРФФИ (грант № 16-58-00052-Бел_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров А.В., Фомин В.М., Гостеев Ю.А. Динамика и воспламенение газозвесей // Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 344 с.
2. Лещевич В.В., Пенязьков О.Г., Шимченко С.Ю. Воспламенение метановоздушной смеси в присутствии угольной пыли при температурах 800–1200К // Горение и взрыв. 2016. Т. 9. № 2. С. 31-37