

Анализ влияния электронно- и колебательно- возбужденных частиц на воспламенение метано- и водородо-воздушных смесей в условиях ГТД

К.М. Кони́на^{1,2}, М.А. Деми́нский²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

В данной работе проанализированы последние литературные данные об исследованиях плазмохимических механизмов. Активные частицы, произведенные в плазме, а также локальный нагрев газа в плазме стимулируют процесс горения. Известно, что плазменно-стимулированное горение приводит к уменьшению времени индукции и понижению температурного порога зажигания. В силу сложности плазмохимических механизмов, их исследованию в последние годы посвящено значительное число работ. Использование компьютерного моделирования процессов горения, а также проведение экспериментов в этой области позволили достичь значительных результатов в изучении плазмохимических механизмов.

Ранее разработанный кинетический плазмохимический механизм горения метана в условиях ГТД (газотурбинный двигатель) [1] расширен набором процессов с участием электронно- и колебательно-возбужденных молекул. В работах последних лет [2] рассмотрены процессы с участием следующих частиц: электронно-возбужденный азот ($N_2(A^3 \sum_u^+)$,

$N_2(B^3 \Pi_g)$), электронно-возбужденный кислород ($O_2(a^1 \Delta_g)$) электронно-возбужденные атомарный кислород ($O(^1D)$), колебательно-возбужденные азот ($N_2(v)$) и водород ($H_2(v)$).

Расширение механизма, описанного в работе [1], выше указанными процессами, позволило показать важность некоторых процессов с помощью компьютерного моделирования. В данной работе использовалась модель импульсного объемного наносекундного разряда. Физическая модель на основе которой были сделаны расчеты подробно описана в работе [1]. В данной работе расчеты были проведены при давлении $P = 1 \text{ атм}$; начальной температуре $T = 873 \text{ К}$. Было проведено исследование метано- и водородо-воздушной смесей.

Показана важность процессов тушения электронно-возбужденного азота с диссоциацией метана в плазме. Моделирование проводилось при следующих условиях: давление $P = 1 \text{ атм}$, начальная температура $T = 873 \text{ К}$, состав смеси $N_2 : O_2 : CH_4 = 8 : 2 : 1$. Результаты моделирования показали, что эффект, произведенный диссоциацией метана при тушении электронно-возбужденного азота в плазме, может быть сравним при определенных условиях ($\frac{E}{N} = 200 \text{ Тд}$) по значению с эффектом, произведенным диссоциацией кислорода (рис. 1). Также показано влияние колебательно-возбужденного азота на время индукции в водородо-воздушной смеси в присутствии HO_2 . Моделирование проводилось при следующих условиях: давление $P = 1 \text{ атм}$, начальная температура $T = 850 \text{ К}$, состав смеси $N_2 : O_2 : H_2 : HO_2 = 8 : 2 : 4 : 0.001$. Результаты моделирования показали, что время индукции может быть сокращено в 3.5 раза по сравнению с механизмом, не учитывающим влияние колебательно возбужденного азота (рис.2). Расширенный механизм был верифицирован на основании моделирования физических экспериментов.

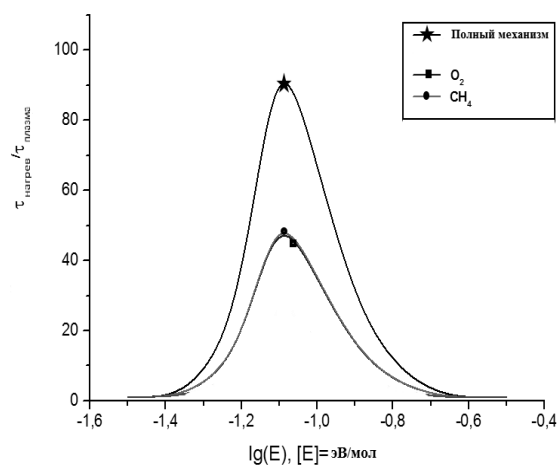


Рис. 1. Зависимость отношения времени индукции в модели с нагревом ко времени индукции в модели с плазмой, учитывающей все процессы (звезда), только диссоциацию метана (круг), только диссоциацию кислорода (квадрат)

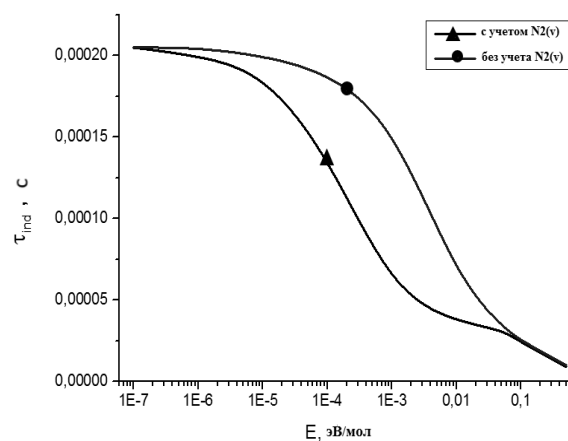


Рис. 2. График зависимости времени индукции от энергозатрат. Круг – механизм без учета процессов с участием колебательно-возбужденного азота. Треугольник – расширенный механизм.

Литература

1. М. А. Деминский, И. В. Чернышева, С. Я. Уманский, М. И. Стрелкова, А. Е. Баранов, И. В. Кочетов, А. П. Напартович, Т. Сомерер, С. Садюги, Дж. Хербон, Б. В. Потапкин // *Химическая физика*, 2013, Т. 32, № 7, с. 1–15
2. N. A. Popov // *Plasma Sources Science and Technology*, 2016, V. 23, N. 1