

ВНЕШНЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ МЕТАНА

Агафонцев М.В., Лобода Е.Л., Рейно В.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

E-mail: kim75mva@gmail.com, loboda@mail.tsu.ru, reyno@iao.ru

В данной работе проведено экспериментальное исследование процесса горения метана при наличии внешнего источника возмущений в виде электрического поля. Выявлены характерные режимы, при которых наблюдается стабилизация факела пламени. Проведен анализ изменения высоты факела пламени с увеличением напряженности внешнего электрического поля.

Введение. Диффузионное горение широко применяется в различных областях, таких как авиационная и ракетная техника, промышленное оборудование и др. В связи с чем возрастает потребность в оптимизации режимов горения, конструкции горелок и горелочных устройств. Существуют различные способы воздействия на пламя, как один из способов управления процессом горения. К такому виду внешнего воздействия можно отнести способ воздействия коронных разрядов [1, 2]. Однако они [1] требуют значительные затраты энергии, нежели электрическое поле, которое действует только за счет эффекта ионного ветра. Электрическое поле может изменить процессы диффузии горючего вещества и окислителя, что в свою очередь может оказать влияние на скорость горения и его эффективности, под которой подразумевается полнота сгорания. Исследования показывают, что применение электрического поля может ускорить или замедлить скорость горения в зависимости от напряженности поля и типа горючего вещества. В работе [3] авторы отмечают, что при воздействии электрического поля предел устойчивого режима горения н-бутана может быть значительно расширен. Авторы [4, 5] показали увеличение области ламинарного течения в пламени. В работе [6] показано, что при использовании электрического поля с отрицательной полярностью на горелочном устройстве происходит снижение образования NO_x из пламени пропана. В [7] показано, что при изменении напряжения внешнего воздействия от 0 до 1 кВ, для метанового пламени, образование СО уменьшилось более чем на порядок.

В данной работе проведен анализ изменения температуры в пламени метана при внешнем воздействии электрического поля различной напряженностью. Проведен анализ изменения высоты факела.

Методика исследования. Проведено экспериментальное исследование влияния электрического поля на факел пламени метана. Для этого был подготовлен экспериментальный

стенд, который включал в себя: горелочное устройство ГСП-3, закрепленное на столешнице таким образом, чтобы сопловая ее часть располагалась вертикально; державку с закрепленными на ней электродами; двухполярный источник высоковольтного напряжения ВИДН-30. Electroды были выполнены из латуни и имели форму диска, диаметр которого был равен 39 мм. Напряжение между электродами менялось с шагом 0.5 кВ. С обратной стороны электрода была припаяна латунная шпилька с резьбой, для возможности крепления на державку и установки контактного соединения с высоковольтным источником. Поверхность электрода, обращенная к пламени, была отполирована. Позиционирование электродов осуществлялось таким образом, чтобы нижняя кромка электрода находилась на 2 мм выше сопла горелки. В качестве рабочего газа использовался метан. Скорость выхода рабочего газа из сопловой части горелки контролировалось с использованием термоанемометра KURZ 444 М. Скорость истечения газа из сопла горелки составляла 0.5 м/с.

Анализ поля температуры осуществлялся с использованием метода ИК-термографии. В качестве регистрирующей аппаратуры была использована инфракрасная камера JADE J530SB с узкополосным оптическим фильтром с полосой пропускания от 2.5 до 2.7 мкм. Частота регистрации составляла 150 кадров в секунду, а длительность 60 с. Значение эффективного коэффициента излучения было задано равным $\epsilon = 0.225$. Было исследовано два режима работы установки. Для первого режима расстояние между электродами было равно 55 мм, а диапазон изменения напряжения составлял от 0 до 5.5 кВ. Для второго режима расстояние между электродами было равно 70 мм, а диапазон изменения напряжения составлял от 0 до 10 кВ.

Результаты и обсуждение. В результате проведения экспериментального исследования диффузионного горения метана с наличием внешнего источника возмущений были получены наборы мгновенных термограмм (рисунок 1). Анализ изменения мгновенного поля температуры осуществлялся с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье.

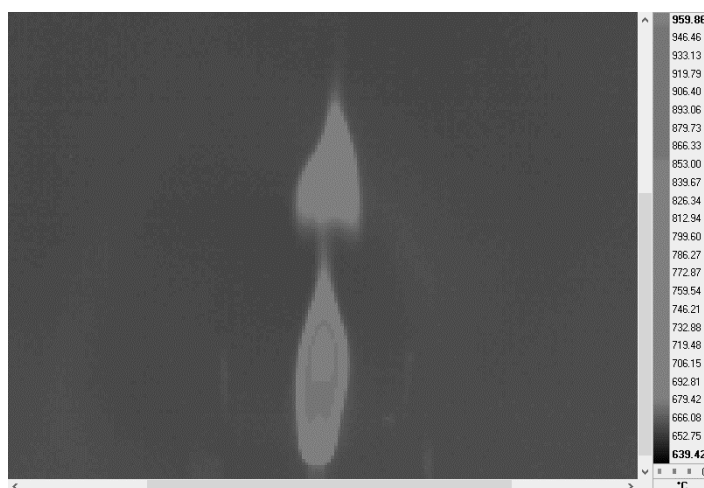


Рисунок 1 – Мгновенная термограмма факела пламени метана (режим 2)

Путем последовательной обработки мгновенных термограмм был проведен анализ изменения высоты пламени при увеличении напряжения для двух рассмотренных режимов (рисунок 2).

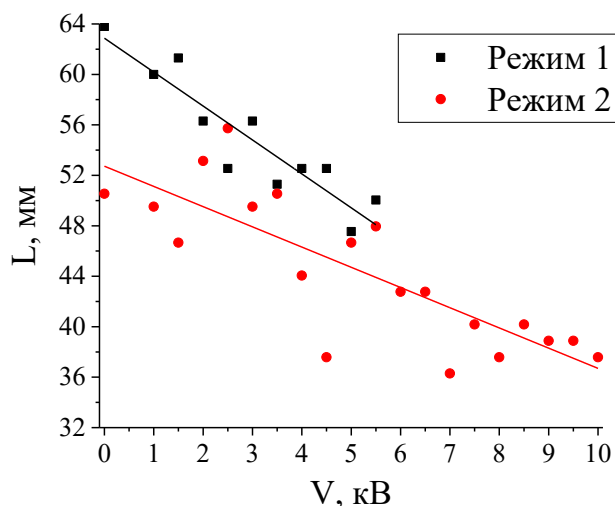


Рисунок 2 – Изменение высоты факела пламени метана при увеличении напряженности электрического поля

По результатам анализа полученных термограмм и спектров изменения температуры было определено, что:

1. При внешнем воздействии электрического поля напряжением от 3.0 до 4.0 кВ наблюдается плавное падение амплитуды пульсации температуры.
2. При дальнейшем же увеличении напряжения наблюдается резкое падение амплитуды от 3 К до 4 К. Вместе с этим, основная частота пульсации температуры 13 Гц с тремя гармониками остаются неизменными.
3. При напряжении от 5.5 до 6.5 кВ амплитуда пульсации температуры минимальна и в спектре отсутствуют какие-либо характерные частотные максимумы. Это свидетельствует о том, что течение в факеле пламени стабилизируется.

При увеличении напряжения наблюдается последовательное уменьшение высоты факела пламени. Причем для первого режима уменьшение высоты факела происходит интенсивнее. Отчасти это связано с тем, что зазор между электродами для первого режима меньше, нежели для второго.

Выводы. Проведено экспериментальное исследование процесса горения метана при наличии внешнего источника возмущений в виде электрического поля. Проведен анализ набора мгновенных полей температуры для двух режимов работы установки. Получено, что в

диапазоне от 0 до 5.5 кВ наблюдается падение максимальной амплитуды пульсации температуры, после чего наблюдается стабилизация факела пламени. Кроме того, с увеличением напряженности между электродами происходит падение высоты факела пламени от 64 мм до 36 мм.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН и с использованием оборудования ЦКП «Атмосфера».

1. Bradley D., Nasser S. H. Electrical coronas and burner flame stability // *Combust. Flame.* — 1984. — V. 55. — P. 53-58.
2. Ohisa H., Kimura I., Horisawa H. Control of soot emission of a turbulent diffusion flame by DC or AC corona discharges // *Combust. Flame.* — 1999. — Vol. 116, Iss. 4. — P. 653-661.
3. Calcote H.F., Pease R.N. Electrical properties of flames - burner flames in longitudinal electric fields // *Ind. and Eng. Chem.* — 1951. — V. 43. — P. 2726 – 2731.
4. Noorani R.I., Holmes R.E. Effects of electric fields on the blowoff limits of a methane-air flame // *AIAA J.* — 1985. — Vol. 23. — P. 1452–1454.
5. Calcote H.F., Berman C.H. Increased methane-air stability limits by a DC electric field // *Proc. ASME. Fossil Fuels Combustion.* — 1989. — Vol. 25. — P. 25-31.
6. Vatazhin A.B., Likhter V.A., Sepp V.A., Shul'gin V.I. Effect of an electric field on the nitrogen oxide emission and structure of a laminar propane diffusion flame // *Fluid Dynamics.* — 1995. — Vol. 30, Iss. 2. — P. 166-174.
7. Sepp V.A., Ulybyshev K.E. Experimental Investigation of the Emission Characteristics of Laminar Diffusion Flames in Constant Electric Field of Different Polarity // *High Temperature.* — 1997. — Vol. 35. — P. 815-817.