

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Механико-математический факультет

**Всероссийская молодежная
научная конференция
«Все грани математики и
механики»**

(25–29 апреля 2016 г.)

Сборник статей

Под редакцией
д-ра физ.-мат. наук, профессора А.В. Старченко

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Воздействие малых энергетических возмущений на горение этанола *

Агафонцев М. В., Гаар С. А.*, Лобода Е. Л.

НИ ТГУ, Томск
E-mail: *gaar-94@mail.ru

Аннотация

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований воздействия малых энергетических возмущений на процесс горения этанола. Показано изменение спектров пульсации температуры в пламени при воздействии на пламя малыми энергетическими возмущениями с различной частотой.

Ключевые слова: температура, пламя, ИК-излучение, инфразвуковые волны, ИК-диагностика, спектр.

Введение. При изучении процессов горения важную роль играет определение температуры в пламени. Современное развитие в области ИК-диагностики позволяет использовать тепловизоры для измерения температуры различных объектов. Они позволяют получить поле температуры с хорошим разрешением по пространству и времени. Известно, что температура изменяется в пространстве и времени. На рисунке 1 представлен график изменения температуры пламени этанола от времени.

Методика проведения экспериментального исследования по воздействию малых энергетических возмущений на горение этанола. В качестве источника малых энергетических возмущений использовалась электродинамическая головка с мягким подвесом с размерами 63.5x60.3x38.1, на которую подавался сигнал синусоидальной формы с пиковой мощностью, не превышающей 20 Вт. В качестве горючего вещества был этанол массой 100 гр. Диаметр ёмкости с этанолом был $d=15$ см. Поле температур регистрировалось с помощью тепловизора JADE J530SB с узкополосным оптическим фильтром (с полосой пропускания 2.5-2.7 мкм) и

* Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ № МД-5754.2015.1, гранта РФФИ № 15-01-00513_а.

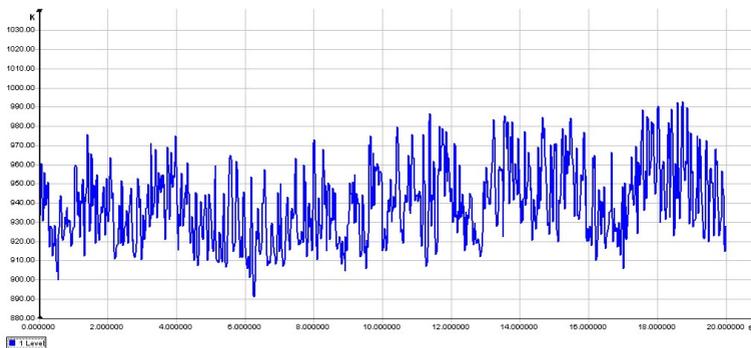


Рис. 1. Изменение температуры пламени этанола от времени.

заводскими калибровками от 583 до 1773 К для регистрации температуры. Выбор этого фильтра обусловлен рекомендациями [1] и анализом спектра излучения пламени [1]. Время регистрации спектра составило 20 с. Измерения проводились на расстоянии двух метров от пламени. Температура в пламени контролировалась при помощи термопары типа ХА с диаметром спая 250 мкм и постоянной времени, изменявшейся в диапазоне от 0.09 до 0.11 с. Коэффициент излучения пламени корректировался по показаниям термопары. Погрешность измерения температуры в пламени не превышала 10 %. В соответствии с максимальными значениями показаний термопары, с соответствующей температурой и на расстоянии 2 м. Значения таких показателей, как температура воздуха, относительная влажность и атмосферное давление контролировались при помощи многофункциональной метеостанции Meteoscан RST01923. Температура воздуха изменялась в пределах $T_e=288-293\text{K}$. Относительная влажность воздуха варьировалась в пределах $\varphi=20-35\%$, атмосферное давление $P_e=9.94 \times 10^4-1.02 \times 10^5$ Па. На рисунке 2 приведена схема экспериментальной установки.

Перед проведением эксперимента по исследованию влияния энергетических возмущений на пламя был проведен дополнительный эксперимент без инфразвука. Полученный спектр анализировался, в результате чего было выявлено наличие пульсаций температуры в спектре с частотами 4.6, 4.8 Гц, которые выделялись из шумов (рисунок 3).

После проведения дополнительного эксперимента было решено воздействовать на пламя этанола малыми энергетическими возму-

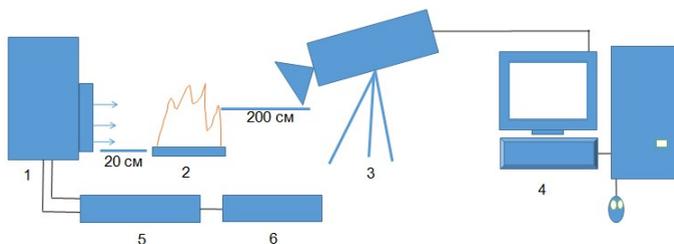


Рис. 2. Схема экспериментальной установки 1 - излучатель энергетических возмущений; 2 - ёмкость с горючей смесью; 3 - тепловизор JADE J530SB; 4 - компьютер; 5 - усилитель мощности; 6 - генератор синусоидальных импульсов.

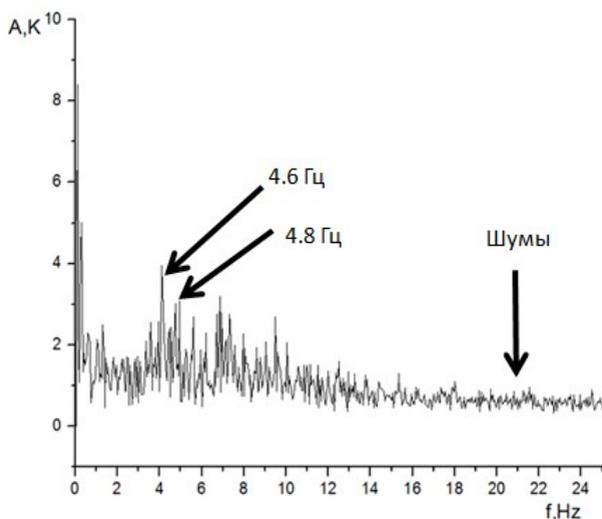


Рис. 3. Спектр изменения температуры в пламени этанола без звукового воздействия.

щениями, а именно инфразвуковыми волнами, которые выражаются волнообразными пульсациями давления. Для этого была собрана экспериментальная установка. В результате эксперимента была получена последовательность термограмм горения этанола с частотами: 4 Гц, 4.8 Гц, 5 Гц, 7 Гц, на которых были выбраны на вертикальной прямой по центру пламени 20 точек, расстояние между которыми одинаковое и составляет 5 рх. Для каждой термограммы

был получен спектр с соответствующей частотой. На рисунке 4 приведены спектры изменения температуры при звуковом воздействии с соответствующими частотами.

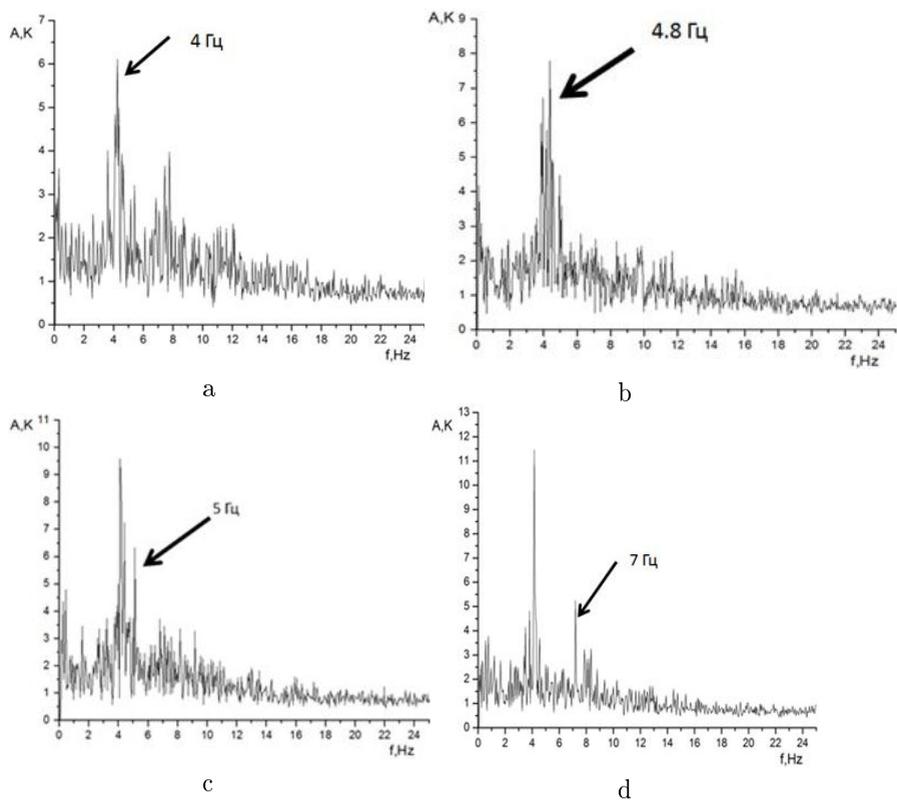


Рис. 4. Спектр изменения температуры в пламени при горении этанола при воздействии с частотой 4 Гц (а), 4,8 Гц (б), 5 Гц (с), 7 Гц (д).

Как можно заметить, звуковое воздействие влияет на режим течения: происходит рост амплитуды пульсации температуры в спектре изменения температуры, изменение высоты пламени и изменение профиля температуры в нем. Пульсации вызваны перемещающимися областями, которые, согласно закону Архимеда, движутся вверх, и в них происходит микрообъемное горение, которое обуславливает наличие пульсаций температуры, что можно наблюдать на спектрах (рисунок 4), а также в работе [2]. Ниже приведена кинограмма, на которой можно увидеть повторяемость данного явления,

происходящего с частотой в четверть секунды. На кинограмме (рисунок 5) видно микрообъемное горение, а также частоту появления пульсаций температуры.

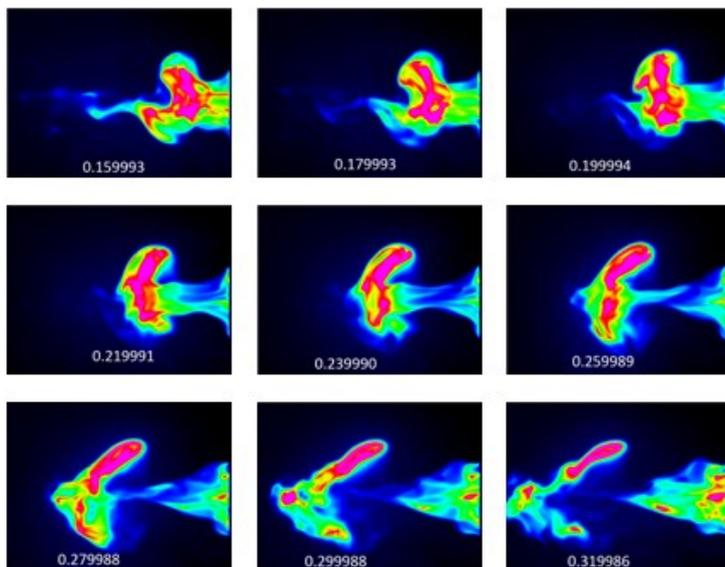


Рис. 5. Кинограмма процесса горения этанола.

Воздействие инфразвуковыми волнами на процесс горения показало, что при определённых частотах воздействия наблюдается резонансное увеличение амплитуды пульсаций температуры с соответствующей частотой (пример: воздействие с частотой 4.8 Гц на процесс горения этанола). Однако при других частотах наблюдается изменение высоты пламени и снижение амплитуд пульсаций температуры, что может говорить об изменении режима горения и требует дальнейшего исследования структуры течения в пламени с применением методов [3], а также оценки масштабов турбулентности с применением термографии.

Вывод. Из результатов анализа экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1) инфразвуковые волны влияют на режим течения в пламени, а именно, происходит рост амплитуды пульсации в спектре, изменение температуры при воздействии с определенной частотой;

- 2) происходит изменение высоты пламени при воздействии с определенной частотой;
- 3) при воздействии с определенными частотами происходит снижение амплитуд пульсаций температуры, что может быть следствием изменения режима горения и структуры течения в пламени.

Литература

1. Лобода Е. Л., Рейно В. В., Агафонцев М. В. Выбор спектрального интервала для измерения полей температуры в пламени и регистрации экранированных пламенем высокотемпературных объектов с применением методов ИК-диагностики // Известия вузов. Физика. Т. 58, № 2. 2015. С. 124-128.
2. Spalding D. B. Mathematical Models of Turbulent Flames; A Review // Combustion Science and Technology, Volume 13, Issue 1-6, 1976, pp. 3-25.
3. Anufriev I.S., Sharypov O.V., Krasinsky D. V. Visualization of flow structure in a vortex furnace // Technical Physics Letters, 2013, vol. 40, p. 879-882.