

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОГНЕННОГО СМЕРЧА ТЕПЛОВИЗИОННЫМ МЕТОДОМ

Шерстобитов М.В.

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

E-mail: shmike@iao.ru

Аннотация: Тепловизионным методом исследовались одновременно два факела пламени, один из которых являлся вихревым, полученным при обдуве неподвижной емкости установленной на оси восходящего закрученного воздушного потока, а другой в емкости без обдува. С помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) временных пульсаций тепловизионного сигнала были рассчитаны спектры мощности частот пульсаций. В рассчитанных спектрах установлен частотный интервал, где наблюдается существенное различие упомянутых пламен. Численно исследуется влияние дистанции и усредняющего действия размера исходной области получения тепловизионного сигнала, на различие спектров пламен.

## Введение

Во время природных и техногенных пожаров конвективная колонка иногда закручивается, вбирая в себя либо весь пожар, либо часть его. При этом кратно увеличивается высота пламени, тангенциальные приповерхностные потоки закрученной части пожара существенно усугубляют последствия воздействия пожара на окружающую среду [1]. Одним из устоявшихся названий этого процесса является «огненный смерч» (ОС). Очевидно, что полномасштабное исследование ОС затруднительно, поэтому используются численные и физические модели огненного смерча (МОС). Для решения этой задачи нами предполагалось использовать пассивный тепловизионный метод, который был успешно апробирован в предыдущих работах, например, [2]. Целью настоящей работы, таким образом, являлось выявление с помощью тепловизионного метода различия в упомянутых режимах горения. Для этого использовались физическая модель ОС и очаг обычного горения. Далее, с помощью скоростной тепловизионной регистрации фиксировались временные ряды термограмм, откуда производился расчет частотных спектров мощности от временных пульсационных рядов интенсивности ИК сигнала из области МОС и обычного горения.

## Схема эксперимента и анализ результатов

Для проведения эксперимента в БАК ИОА СО РАН был установлен стол – полигон, представляющий собой горизонтально расположенную емкость из листового металла, размерами 1\*2м, высота бортика составляла 20 см, со слоем грунтовой засыпки 15 см. МОС генерировался с помощью вращающейся крыльчатки. Выбиралось наименьшее расстояние до емкости с обыч-

ным пламенем (0,3\*0,5 м), при котором МОС не вносила существенного визуального возмущения в обычное пламя. Расстояние от ближнего края крыльчатки до емкости с обычным пламенем составило 0,4м. Тепловизор устанавливался так, чтобы в поле зрения попадали оба пламени. Тепловизор работал с частотой 170 Гц, что примерно в 10 раз выше частоты закрутки МОС. Пламя МОС, источником которого являлся изопропиловый спирт в емкости (диаметр 18,8 см, высота бортика 2 см), установленной на консоли над крыльчаткой (диаметр лопастей внешний/внутренний – 39/19 см) приводимой во вращение электромотором с контролируемой частотой вращения (10÷15Гц), имело размеры ~1 м в высоту, и диаметр 0,1÷0,2 м. Использовались два угла установки лопастей крыльчатки – 18° и 28° к горизонту. Расчеты параметра крутки потока  $S$ , соответственно приведенным выше углам установки лопастей, составили  $S = 0,28$  и  $S = 0,41$  по методике [3]. Тепловизор JADE J530SB работал в диапазоне 2,5÷2,7 мкм. Велась запись серий термограмм на компьютер. Два угла установки лопаток крыльчатки существенно изменяли форму МОС: при 18° - МОС имеет колоннообразную форму практически по всей высоте, а при 28° сильны противотоки, что в нижней части МОС приводит к появлению шарообразной области пламени, выше которой пламя выглядит в виде узкого изгибающегося шнура. Частота вращения крыльчатки при получения МОС (10÷15Гц) вручную задавалась оператором по максимальной высоте пламени. Измерения производились на двух дистанциях – 5м и 9м. На 5 м регистрировалась «тонкая» структура пламени МОС и обычного. Дистанция 9 м позволяла оценить, как будут изменяться рассчитанные интенсивности пульсаций пламени по мере удаления точки наблюдения. Для анализа пульсаций (для выбора областей расчета тепловизионного сигнала), вначале были получены средние за реализацию термограммы. Усреднение производилось по 3400 термограммам, что соответствовало 20с горения. На ближней дистанции использовались 2 угла установки лопаток крыльчатки. Обычный 18° и угол 28°, при котором МОС, как уже упомянуто ранее, имеет наиболее узкий «шнур горения» и шаровидное пламя вблизи емкости с топливом, но меньшую высоту. На Рис.1 представлена средняя и мгновенная термограммы для одной из реализаций. В каждой реализации было зарегистрировано 3400 термограмм (20с горения при частоте регистрации тепловизора 170 Гц). Для анализа и расчета спектров выбиралось 10 с наиболее устойчивого горения (1700 термограмм). Из возможных характеристик интенсивности пикселей термограммы была выбрана температура, расчет которой автоматически производился тепловизором из исходного радиационного сигнала соответственно времени интеграции (экспозиции) приемной матрицы. В выбранных областях (точка, и среднее значение из прямоугольной области ~10\*10 пикселей) рассчитывались спектры мощности пульсаций температуры, вида:

$$U=f*W(f), \quad (1)$$

где  $f$  – частота,  $W(f)$  прямое БПФ от временных пульсаций температуры. Вследствие большой подвижности как МОС, так и обычного пламени, репрезентативная область выбиралась ближе к основанию пламени. В качестве такой области выступали один пиксель (точка), либо прямоугольная область, включающая упомянутый пиксель. Область составляла, как ранее упомянуто, порядка  $10 \times 10$  пикселей. Сигналом от области служило среднее значение. Это было сделано для численного исследования влияния низкого пространственного разрешения на возможность обнаружения вихревой структуры в пламени.

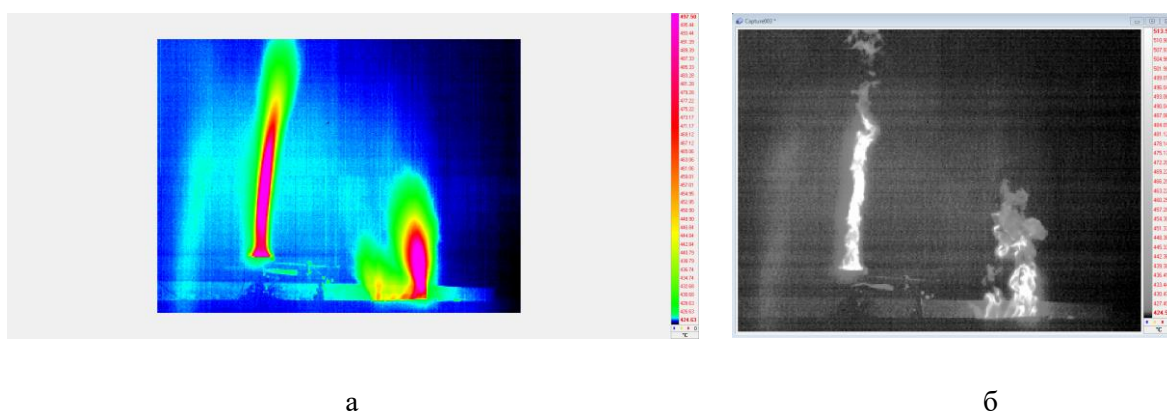


Рис. 1. Средняя (а) и мгновенная (б) термограммы.

На ближней дистанции размер области составлял порядка полудиаметра МОС, а на дальней – порядка диаметра МОС. Вследствие большой зашумленности исходных спектров производилось сглаживание данных с помощью скользящего среднего по 20 отсчетам (значение вручную подбиралось, чтобы подавлялся «шум», но не пропадали вторичные максимумы). Анализировался вид рассчитанных спектров пульсаций от обычного пламени и МОС. Для количественного описания рассчитанных спектров были выбраны наклоны их линейной аппроксимации в диапазоне частот  $2 \div 10$  Гц, где наблюдались наибольшие различия в форме спектров. Результаты расчета представлены в Таблице 1. Из анализа наклонов спектра в таблице 1 можно сделать следующие выводы: Для регистрации в 1 пикселе (точке): При сопоставлении спектров всех 4-х реализаций видно, что в интервале  $2 \div 10$  Гц, спадание для режима МОС отличается от обычного пламени в  $1,8 \div 4$  раза. Спадание от МОС имеет монотонный характер, с небольшим максимумом на частоте закрутки. Спадание от обычного пламени имеет после максимума выполаживание, и более высокий уровень интенсивности пульсаций с серией максимумов на кратных частотах. Спектры с дистанций 5 м и 9 м не имеют существенных различий. Для регистрации в прямоугольной области: Во всех случаях спектры пульсаций как от МОС, так и от обычного пламени теряют свои особенности и становятся практически неразличимыми.

## Выводы

Проведенные исследования показали: 1- возможно различать вихревые структуры в пожарах по форме спектров пульсаций тепловизионного сигнала; 2- Частота закрутки МОС в спектрах пульсаций проявляется, но в виде небольшого максимума.

Таблица 1. Коэффициент наклона линейной аппроксимации для спектров в диапазоне 2÷10 Гц

| Угол установки лопастей, (°) / дистанция, м | МОС      |                       | Обычное горение |                       |
|---------------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
|                                             | 1 пиксел | Прямоугольная область | 1 пиксел        | Прямоугольная область |
| 28/5                                        | -0,7     | -0,8                  | -0,2            | -0,5                  |
| 18/5                                        | -1,6     | -0,9                  | -0,4            | -0,7                  |
| 18/9                                        | -0,9     | -1,0                  | -0,4            | -0,9                  |
| 18/9                                        | -0,9     | -0,9                  | -0,5            | -0,8                  |

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

Благодарности: Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ИОА СО . Тепловизор был предоставлен ЛПСА ИОА СО РАН. Автор выражает благодарность к.ф.-м.н. Агафонцеву М.В. (ЛПСА) за работу в качестве оператора тепловизора.

## Список литературы

1. . *Billing P., Rawson R.* A fire tornado in the Sunset country January 1981 //Fire Research Branch Report No. 11. Forests Commission. Victoria. 1982. P 1-11
2. *Sherstobitov, M.V., Tsyk, R.S., Loboda, E.L* Processing of thermogram sequences to determine the rotation rate of a vortex flame // Infrared Physics and Technology, Volume 80, 2017, Pages 1-5
3. *Шторк С.И., Комас О., Фернандес Э.К., Хейтор М.В.* Аэродинамическая структура нестационарного закрученного потока позади внезапного расширения // Теплофизика и аэромеханика. – 2005. – Т. 12, №2. – С.229 – 241