

В. Г. Скогарев

*Институт горения и нетрадиционных технологий
Одесского национального университета им. И. И. Мечникова*

Визуализация пространственной структуры факела с конденсированной дисперсной фазой

Сочетанием методов обычного и теневого фотографирования осуществлена визуализация существенно неоднородной пространственной структуры факела жидкого углеводородного топлива. Определены размеры зон сажеобразования и горения, а также плотность излучения отдельных участков поверхности факела в диапазоне длин волн (2-20) мкм. Показано, что экспериментальная методика может быть легко адаптирована к широкому диапазону горящих дисперсных систем, обладающих большой яркостью.

Введение

В пространственной структуре ламинарного диффузионного факела выделяют наружный светящийся слой — высокотемпературную зону химической реакции, а также зону сажеобразования, расположенную внутри пламени. В зависимости от состава топлива, идентификация этих зон и оценка их пространственной протяженности осуществляются различными экспериментальными методами, а также их сочетанием. Для определения структуры волны горения ламинарного пламени достаточно методов обычной, шпирен-, и теневой фотографии, в то же время для изучения динамики сажеобразования требуются дополнительные методы. Так, при исследовании морфологических характеристик сажи в ламинарном диффузионном пламени “этилен/воздух” применялся термофоретический метод изъятия проб сажи, дополненный данными, полученными с помощью оптической диагностики подобных пламен [1]. В результате были определены траектории отдельных частиц сажи, а также местонахождение их максимальной объемной концентрации $f_{v, \max}$, соответствующее радиусу внутренней зоны $r = r_c$. Подобное пространственное распределение частиц сажи наблюдается в газовых пламенах однокомпонентных углеводородов, горящих при атмосферном давлении.

Пламена жидких многокомпонентных углеводородов, горящих в неподвижном воздухе при атмосферном давлении, содержат много сажи, ее распределение внутри факела нелокализовано, в результате чего граница между зонами сажеобразования и горения становится размытой. В этих условиях применение термофоретического метода сильно затруднено, причем до-

полнительную трудность, помимо высокой плотности сажи, представляет отсутствие информации о размере зоны сажеобразования, из которой извлекаются образцы сажи.

В качестве первоначального шага, с целью прояснения картины сажеобразования в пламени жидкого углеводорода, необходимо идентифицировать зоны горения и сажеобразования, оценить их пространственный масштаб, а также проследить их изменение по высоте факела. С этой целью применена экспериментальная методика, позволяющая визуализировать существенно неоднородную пространственную структуру горящего объекта и установить соответствие между его пространственными и излучательными характеристиками. При этом определены характерные размеры зон сажеобразования l_c и горения l_r , а также плотность излучения R участков поверхности для конкретных значений высоты факела.

Суть предложенной методики заключается в сочетании обычного и теневого способа фотографирования, ее возможности иллюстрируют результаты исследования диффузионного факела жидкого углеводородного топлива.

Методика и результаты

Водное эмульгирование жидкого углеводородного топлива с последующим полным испарением полученной эмульсии использовалось на этапе его подготовки к сжиганию в газообразном виде [2]. Такое исходное разбавление топлива водой и преобразование его в газовую фазу перед подачей в зону горения дополнительно способствовало снижению плотности агрегатов сажи в исследуемом факеле.

В настоящей работе исследовался диффузионный факел горячей водотопливной эмульсии, образованный газовой струей, истекающей из сопла диаметром 3 мм в неподвижный воздух. В качестве основы использовалось не содержащее посторонних примесей моторное масло SAE-15W40 "SHELL". Описание лабораторной установки и способа сжигания топлива приведены в работе [2].

Ранее было установлено [2], что средняя высота стационарного факела H слабо меняется с изменением объемной концентрации воды C_v и объемного расхода топлива V_g . В связи с этим в данных условиях эксперимента, при фиксированных $C_v = (20 \div 30)\%$ и $V_g = 3,7 \text{ мм}^3/\text{с}$, высота H считалась постоянной и составляла ~ 55 мм.

Суть примененной методики заключается в сочетании обычного и теневого способа фотографирования в параллельном пучке света (рис.1), диаметр которого с помощью линзы 2 устанавливался равным высоте факела.

Между сторонним источником непрерывного спектра излучения с регулируемой яркостью 1 (банд-лампа) и факелом 4 устанавливалась непрозрачная пластина 3 с рядом параллельных щелей определенной ширины. Ширина щелей, их количество, а также шаг следования могут выбираться произ-

вольно, в зависимости от целей эксперимента. В данной работе ширина щелей и расстояние между ними были постоянными и равнялись $\sim 5,5$ мм. С помощью регулировки тока банд-лампы ее яркость устанавливалась равной яркости светящейся зоны горения.

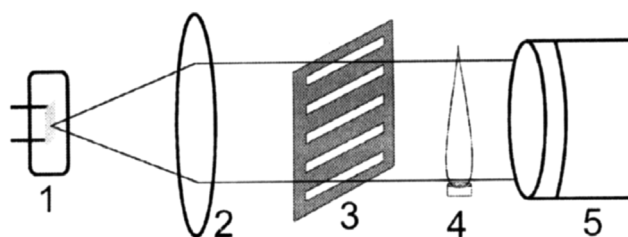


Рис. 1. Схема оптической установки:
1 — банд-лампа, 2 — коллимирующая линза,
3 — экран с параллельными щелями, 4 — пламя, 5 — фотокамера

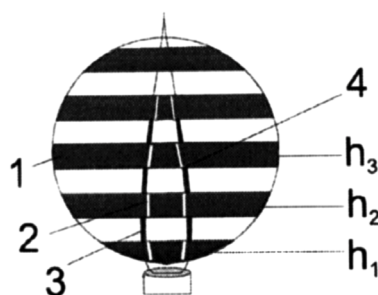


Рис. 2. Схематическое изображение факела на фоне пластины (негатив):
1 — тень щели (на просвет), 2 — зона сажеобразования,
3 — зона горения, 4 — точка отсчета, $h_1 = 7$ мм, $h_2 = 15$ мм, $h_3 = 23$ мм.

Таким образом, при фотографировании получалось изображение факела на фоне пластины (рис.2), представляющее собой чередование светлых 3 и темных 2 областей вдоль внешней границы факела. При этом разграничительная линия между этими областями однозначно идентифицировалась с границей между зонами горения и сажеобразования. Участки изображения на фоне щелей 1 представляют собой теневые фотографии на просвет, на которых видна зона сажеобразования 2, заметно ослабляющая излучение. Зона горения на теневой фотографии не видна, поскольку, как было отмечено выше, ее яркость совпадает с яркостью источника света. Остальные участки изображения являются обычной фотографией светящегося факела, по-

сколькосторонний источник экранирован пластиной. На них явственно наблюдается светящаяся зона горения 3, что характерно для обычной фотографии горящего объекта. [3]. Изображения параллельных щелей 1 играют роль визуальных отметок — пространственных срезов по высоте факела, пересечение которых с разграничительной линией между темными и светлыми областями (границей между зонами) позволяет однозначно устанавливать точку отсчета при измерении протяженности зон.

Плотность излучения поверхности факела в диапазоне длин волн 2-20 мкм определялась лабораторным прибором на основе приемника излучения МГ-30. Регистрируемое излучение выделялось отверстием в экране, установленном перед факелом 4 (на рис.1 не обозначен). При этом диаметр отверстия экрана (5,5 мм) соответствовал ширине щели пластины 3, что позволяло установить соответствие измеряемых пространственных и излучательных характеристик факела данной высоте h .

Измерения проводились на расстояниях 7, 15 и 23 мм от сопла для двух значений $C_v=(20\pm30)\%$ при скорости подачи топлива $V_j=3,7$ мм³/с. Результаты представлены в таблице

Высота факела, Н, мм	C _v , объемн. %					
	20%			30%		
	l _г , мм	l _с , мм	R, Вт/см ²	l _г , мм	l _с , мм	Вт/см ²
7	0,15±0,01	0,16±0,02	2,29±0,07	0,16±0,01	0,15±0,01	0,71±0,06
15	0,15±0,02	0,16±0,01	1,25±0,14	0,13±0,02	0,14±0,02	1,02±0,13
23	0,15±0,02	0,15±0,02	1,36±0,09	0,12±0,01	0,11±0,03	1,17±0,09

Как видно из приведенных данных, предложенный метод позволяет исследовать пространственную структуру фронта факела с конденсированной дисперсной фазой. Он может быть легко адаптирован и к более ярким горящим дисперсным системам, например, к газовзвешам частиц металлов. Однако в этом случае необходимо использовать вместо источников сплошного спектра газоразрядные лампы либо лазеры в сочетании с интерференционными и стеклянными фильтрами.

Литература

1. Megaridis C.M. and Dobbins R.A. Soot aerosol dynamics in a laminar ethylene diffusion flame. Twenty-Second Symposium (International) on Combustion/ The Combustion Institute, 1988. — P. 353-362.
2. Скогарев В.Г., Флорко А.В. Факельное стационарное горение жидкого многокомпонентного углеводородного топлива // Физика аэродисперсных систем. — 2001. — Вып. 38. — С. 82-89.
3. Сергиенко И.А., Флорко А.В., Шевчук В.Г. Особенности излучательных и поглощательных характеристик частиц сажи при температурах горения // Физика горения и взрыва. — 2000. — Т. 36, №2. — С. 33-39.

В. Г. Скогарєв

**Візуалізація просторової структури факелу
з конденсованою дисперсною фазою**

АНОТАЦІЯ

За допомогою поєднання методів звичайного та тіньового фотографування виконана візуалізація суттєво неоднорідної просторової структури факелу рідкого вуглеводневого палива. Визначені розміри зон сажоутворення та горіння, а також сила випромінювання окремих ділянок поверхні факелу у діапазоні довжин хвиль (2-20) $\mu\text{м}$. Показано, що експериментальну методику можна легко пристосувати до широкого діапазону дисперсних систем що горять зі значним випромінюванням.

Skogarev V. G.

Spatial visualization of soot aerosol laden flame

SUMMARY

The visualization of spatial structure within examined flames was obtained by photography technique capable of direct and shadow imaging of the flame. Characteristic dimensions of the reaction zone and soot region were determined. Flame surface radiation intensity in the wavelengths range (2–20) μm was measured. The experimental technique used may be adapted to wide range dispersed systems burning with significant radiation.