

С.С. Воронцов, А.М. Оришич, А.П. Петров, В.Н. Снытников

ОПТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Выполнено лазерное просвечивание выхлопа твердотопливного модельного двигателя вблизи среза сопла на трех длинах волн (630, 3390, 10600 нм) для оценки размера, концентрации, полной массы и полной поверхности аэрозольных частиц в единице объема. Присутствие экологически опасных СО и НСІ в факеле далеко от среза сопла было определено оптико-механической сканирующей инфракрасной системой на длинах волн 4800 (СО-молекула) и 3500 нм (НСІ-молекула).

Результаты важны для обоснования применимости оптических методов исследований и конструирования систем контроля газоплазменных потоков.

Разработка систем оперативного контроля процесса горения экологически опасных веществ, а также оценка эффективности нейтрализующего оборудования являются весьма актуальными. Целью нашей работы являлось изучение возможности такого контроля при помощи хорошо развитых методов оптической диагностики и современных математических методов обработки данных. В качестве объекта, загрязняющего среду, использовался модельный двигатель, снаряженный металлизированным топливом на основе перхлората аммония. На рис. 1 представлена принципиальная схема оптических измерений.

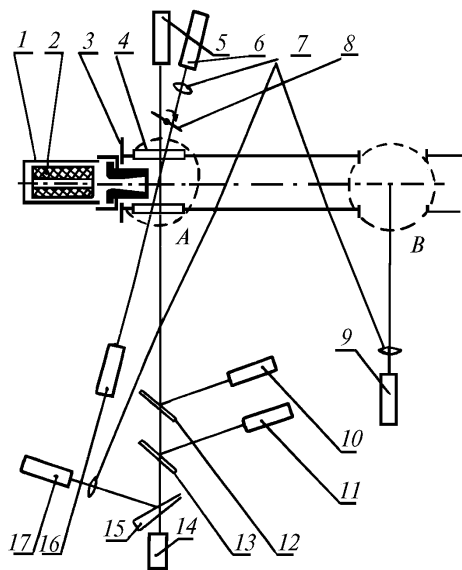


Рис. 1. Схема оптических измерений

Факел модельного двигателя 1 с твердотопливной канальной шашкой 2 зондировался в двух зонах А и В. Первая зона находится в выхлопной трубе 3 у среза сопла и изучается через иллюминаторы 4, а вторая на расстоянии двух метров в разрыве выхлопной трубы. Просвечивание факела осуществлялось излучением с длиной волны $\lambda=0,63; 3,39$ (He-Ne-лазер 5) и 10,6 мкм (СО₂-лазер 6). В качестве приемников излучения использовались ФЭУ-83 10 и 11 и фотосопротивления из германия 14 и 16 при $T=78\text{K}$. Излучение локализовывалось в нужных местах объективами 7. Для выделения возможного собственного свечения факела лазерные пучки модулировались механическим затвором 8 с частотой ~ 5 Гц. <Медленное> ($\Delta\tau \sim 1$ с) рефракционное отклонение рассеяния лазерного пучка с $\lambda = 3,39$ мкм контролировалось телевизионной системой 17. Панорамная съемка неравновесного характеристического излуче-

ния на длинах волн $\lambda = 4,8$ мкм с $\Delta\lambda = 0,23$ мкм (молекула CO) и $\lambda = 3,5$ мкм с $\Delta\lambda = 0,13$ мкм (молекула HCl) в зоне B проводилась при помощи оптико-механической сканирующей системы ТВ-М 9, разработанной в ИТПМ СО РАН [1]. Для деления излучения использовались оптические элементы из CaF₂ 12, KRS 13 и ZnSe 15. Распределение излучения в видимой области спектра было определено с помощью стеклянного спектрографа фирмы <Carl Zeiss>.

Результаты обработки осциллограмм пропускания сведены в таблице, где даются средние значения логарифма отношения интенсивности падающего $I_{0\lambda}$ к интенсивности прошедшего I_λ излучения при различных λ для некоторых моментов времени. Анализ полученных данных показывает, что во всем исследуемом интервале длин волн выполнялось условие $q=2\pi r/\lambda \geq 1$ [2], где r – радиус частиц конденсированной фазы. Фактор эффективности ослабления света Q_o , зависящий от размера частиц, в наших экспериментах равен 1 при $\lambda = 0,63$ и 3,39, и 0,3 при $\lambda = 10,6$ мкм. Относительное колебание поглощения во времени на $\lambda = 0,63$ и 3,39 мкм указывает на возможное изменение размера частиц в процессе горения. Оценки показывают, что в потоке характерное значение r равно $1 \div 2$ мкм, концентрация частиц N приблизительно равна $(1 \div 3) \cdot 10^6$ частиц/см³ и полная масса аэрозольных частиц M равна $(1 \div 2) \cdot 10^2$ г. По полученным значениям $\ln(I_{0\lambda}/I_\lambda)$ можно вычислить полную поверхность аэрозольных частиц в единице объема. Она составляет $S \approx 0,2$ см⁻¹. Отметим, что эта величина S , определяемая наиболее точно в данных измерениях, важна для оценки влияния аэрозольных частиц на каталитические реакции в потоке и при обезвреживании продуктов горения.

N	τ, с	ln(I _{0λ} /I _λ) при λ (мкм)		
		0,63	3,39	10,6
1	0,25	0,59	0,48	0,15
2	0,5	0,26	0,48	–
3	1,0	0,38	0,47	0,15
4	1,5	0,63	0,47	0,15
5	2,0	0,76	0,32	0,11
6	2,5	0,18	0,38	0,039

На рис. 2 показано энергетическое распределение излучения с $\lambda = 3,39$ мкм, полученное тепловизионной системой по сечению невозмущенного пучка (a_1) и пучка, прошедшего факел (a_2). На рисунке дана шкала градаций интенсивности в относительных единицах. Смещение пучка за счет рефракции было хаотическим, и его величина не превышала 2 мм. Следовательно, градиенты плотности газа незначительны на размерах порядка 10 мм в области зондирования. Влияние смещения пучка на точность измерения поглощения мало. Расширение пучка вызывается дифракцией на крупных частицах или турбулентных флуктуациях.

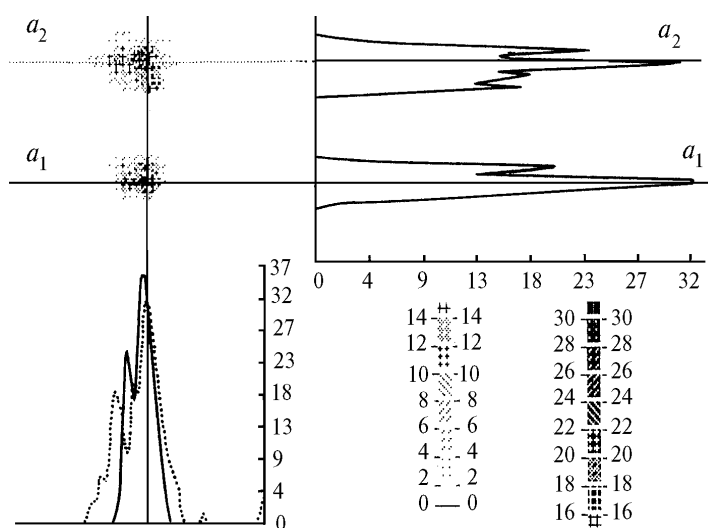


Рис. 2. Энергетическое распределение излучения с $\lambda = 3,39$ мкм по сечению пучка: a_1 – невозмущенного, a_2 – прошедшего через факел

Тепловизионные измерения экологически опасных газовых компонентов проводились в области характеристических полос CO и HCl, зависимость от времени интенсивности излучения продуктов сгорания в зоне В (рис. 1) представлена на рис. 3 для CO и рис. 4 для HCl. Рис. 3, а и 4, а демонстрируют динамику свечения на оси и периферии потока; рис. 3, б, 4, б показывают распределение интенсивности по сечению в различные моменты времени развертки. Пространственно-временные сечения и соответствующие графики изображены одинаковыми линиями.

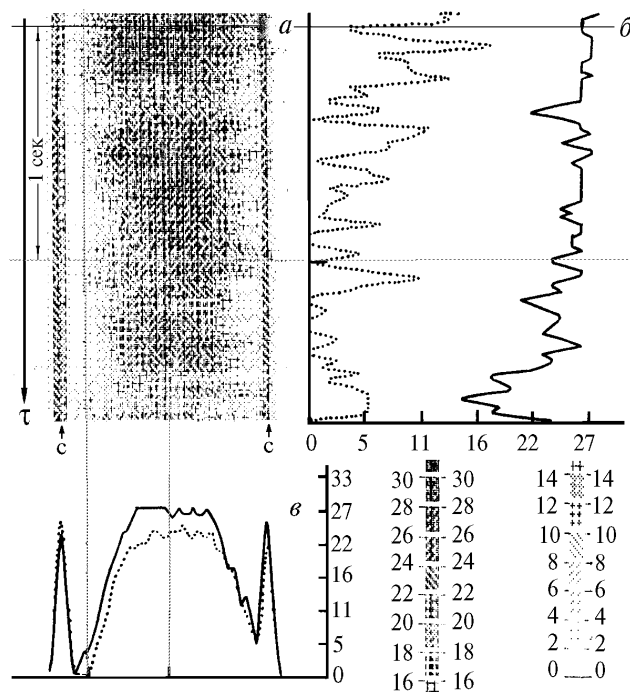


Рис. 3. Изменение во времени распределения по сечению интенсивности излучения в области полосы молекулы CO ($\lambda = 4,8$ мкм) вдали от среза сопла; с – тепловая метка

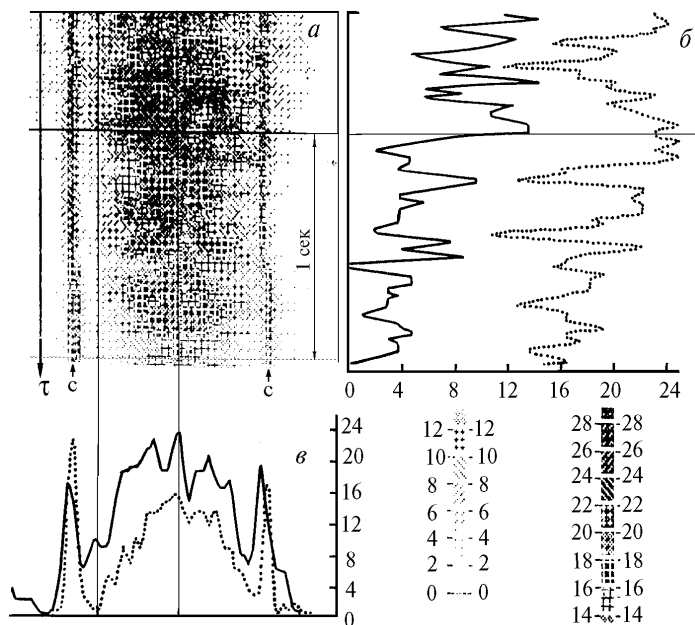


Рис. 4. Изменение во времени распределения по сечению интенсивности излучения в области полосы молекулы HCl ($\lambda = 3,5$ мкм) вдали от среза сопла; с – тепловая метка

Проведенные эксперименты показали:

1. На малых расстояниях от среза сопла спектр свечения факела в видимой области (0,3÷0,7 мкм) близок к равновесному сплошному спектру за исключением выделенных резонансных линий Na.

2. На больших расстояниях ~50 калибров от среза сопла в ИК-области ($\lambda > 2$ мкм) характеристическое излучение в отдельных линиях молекулярных спектров значительно (>10раз) превышает равновесное излучение сплошного спектра. Сплошной спектр обусловлен наличием твердой фазы.

3. Факел вне полос поглощения прозрачен для ИК-излучения $\lambda > 10$ мкм. Поглощение излучения при уменьшении длины волны обусловлено взаимодействием с микрочастицами.

Эти результаты важны для выбора и обоснования применимости оптических методов исследования и построения систем контроля газопламенных потоков.

1. Межерис Р. М. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.

2. Баев В. К., Воронцов С. С., Солоухин Р. И., Третьяков П. К. // Структура газозаженных пламен, Новосибирск: Ин-т теоретической и прикладной механики СО РАН, 1984. С. 112–122.

Институт теоретической и прикладной механики
СО РАН, Новосибирск

Поступила в редакцию
9 марта 1994 г.

S.S. Vorontsov, A.M. Orishich, A.P. Petrov, V.N. Snytnikov. **Optical Sensing of the Exhaust Products from a Solid Propellant Model Engine.**

In the experimental study an exhaust gas flow from a model solid propellant engine has been transilluminated with laser radiation at three wavelengths (630, 3390, and 10600 nm) at the jet mouth. In these experiments we have estimated the concentration, total mass, total surface of aerosol particles, and their number density in a unit volume. The presence of ecologically dangerous CO and HCl molecules in the plume of exhaust jet was determined with a scanning IR system using two wavelengths, at 4800 (for CO molecule) and at 3500 nm (for HCl molecule).

The results obtained in this study can be useful as a grounding for use of optical methods of gas plasma flows control.