

# СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА САЖЕОБРАЗОВАНИЯ В ВИХРЕКАМЕРЕ ДВИГАТЕЛЯ

Барсуков Г.В., Бразовский В.В., Вагнер В.А., Русаков В.Ю.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова

**Аннотация.** Представлена система сбора информации в вихрекамере двигателя оптическими методами, включающая измерение плотности и температуры сажи в рабочем процессе с непосредственным вводом информации в ЭВМ.

## Измерение плотности сажи

В настоящее время на кафедре “Детали машин” разработана экспериментальная установка на базе ВАЗ-341 с разделенной камерой сгорания, позволяющая провести оптическое зондирование вихревой камеры сгорания и основного цилиндра дизеля.[1,4]

При выборе быстродействия и числа каналов системы регистрации для конкретной установки с вихрекамерным дизелем ВАЗ-341 нужно учитывать, что измерения интенсивности свечения пламени и давления газов должны производиться в одном цикле одновременно как для вихревой камеры, так и для основного цилиндра дизеля. Необходимо также принять во внимание малые геометрические размеры вихревой камеры.

Все вышесказанное позволяет сформировать требования к системе регистрации информации для использования в составе комплекса для оптического зондирования быстрого вихрекамерного дизеля:

- минимум 8 каналов измерения;
- быстродействие АЦП на уровне 300-500 тысяч преобразований в секунду;
- наличие выборочного программного и аппаратного осреднения сигналов;
- дискретность сигналов не более 1° п.к.в.
- малогабаритные оптические зонды на основе световодов диаметром 1 мм.

В качестве источника стороннего излучения используется гелий-неоновый лазер (рис.1.).



Рис.1. Лазер High Power 632.8 nm Red Helium Neon Lasers (P=35 мВт; дл. волны 632,8 нм; расходимость 0,66 ; ширина полосы 165 МГц).

Луч лазера направляется в измерительный канал, и суммарное излучение ОКГ и пламени через оптический датчик (рис.2.) по волоконному световоду (FUF 050B1003) поступает в блок приемников излучения (БПИ).

Применение световода позволяет установить БПИ вне двигателя, тем самым исключив влияние вибрации и нагрева на его работу, а также обеспечить более быструю переналадку системы при переходе к следующему измерительному каналу.

В БПИ происходит выделение из суммарного излучения квазимонохроматических составляющих с  $\lambda = 0,397$  мкм и  $\lambda = 0,634$  мкм и преобразование их в пропорциональные электрические сигналы. Преобразование осуществляется фотоумножителями, далее сигналы усиливаются усилителями постоянного тока. Выходные сигналы усилителей постоянного тока



Рис.2. Оптический датчик FZAM18P1155

подключаются к входам регистрирующего устройства.

Результаты измерений обрабатываются по описанной в [2] методике, позволяющей безразмерные единицы оптической плотности  $S$  переводить в единицы объемной или массовой концентрации сажи в  $г/м^3$ .

В основу данной методики положены следующие положения. Закон Ламберта-Бееера для луча монохроматического света, проходящего через группу частиц с плотностью распределения по размерам:

$$\frac{I_{(l+n)} - I_l}{I_l} = \exp \left[ -\frac{\pi}{4} C_n L \int_0^{\infty} N(D) K_{\lambda}(D) D^2 dD \right] \quad (1)$$

где  $I_l$ ,  $I_n$ ,  $I_{(l+n)}$  - интенсивность излучения лазера (или иного источника света), пламени и совместного излучения системы “лазер плюс пламя” с учетом ослабления луча света при прохождении через газосажевый объем цилиндра;

$C_n$  - штучная концентрация частиц сажи;

$L$  - длина оптического канала;

$D$  - диаметр частиц сажи;

$K_{\lambda}$  - спектральный фактор ослабления спектра на длине волны  $\lambda$  источника света, которым производится просвечивание цилиндра двигателя.

Массовая концентрация сажи считается по формуле

$$C_m = \frac{\pi}{6} C_n \gamma_c \int_0^{\infty} N(D) D^3 dD \quad (2)$$

Объединяя формулы (1) и (2) получим

$$C_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{\gamma_c \cdot D_{32}}{L \cdot K_m} \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n} \quad (3)$$

после преобразования:

$$C_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{\gamma_c \cdot D_{32}}{\pi \cdot \Phi_m L} \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n} \quad (4)$$

где 
$$K_m = \frac{\int_0^{\infty} N(D) K_{\lambda}(D) D^2 dD}{\int_0^{\infty} N(D) D^2 dD} \quad (5)$$

$$D_{32} = \frac{\int_0^{\infty} N(D) D^3 dD}{\int_0^{\infty} N(D) D^2 dD} = \frac{m_3}{m_2} \quad (6)$$

$$\Phi_m = \frac{K_m}{\rho_{32}} \quad (7)$$

$$\rho_{32} = \pi D_{32} / \lambda ;$$

здесь  $K_m$  - средний фактор ослабления полидисперсной среды;

$D_{32}$  - средний диаметр частиц сажи по Заутеру: мкм;

$m_2$  и  $m_3$  - моменты второй и третьей функции распределения частиц сажи по диаметрам;

$\Phi_m$  - средняя величина дисперсии комплексного показателя преломления полидисперсной среды;

$\rho_{32}$  - параметр дифракции;

$\gamma_c$  - плотность частиц сажи,  $\gamma_c = 1,8 \dots 2,1$  г/см<sup>3</sup>;

$\lambda$  - длина волны, мкм.

По работам Батурина С.А. [3], понятие относительной концентрации сажи, приведенной к диаметру цилиндра:

$$\bar{C} = \frac{D_u}{L} \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n} \quad (8)$$

Тогда выражение (4) можно записать в виде

$$C_m = \mu_c \cdot \bar{C}, \text{ г/м}^3; \quad (9)$$

где множитель  $\mu_c$  определяет величину масштаба массовой концентрации сажи:

$$\mu_c = \frac{2.3026 \cdot \gamma_c \cdot \lambda}{1.5 \cdot \Phi_m \cdot D_u}, \text{ г/м}^3; \quad (10)$$

где  $\gamma_c$  - необходимо выразить в г/см<sup>3</sup>;

$\lambda_c$  - в микрометрах;

$D_u$  - в метрах.

Следовательно, для определения величины масштаба  $\mu_c$  необходимо знать величину дисперсии комплексного показателя преломления  $\Phi_m$  полидисперсной среды.

К моменту открытия выпускного клапана величина ослабления проходящего света в цилиндре дизеля, как правило, невелика, из-за чего возникают значительные погрешности при определении концентрации сажи оптическими методами. Поэтому массовую концентрацию сажи в цилиндре дизеля на момент открытия выпускного клапана необходимо сопоставлять с результатами измерения уровня дымности отработавших газов на выхлопе.

Массовая концентрация сажи на выхлопе может быть вычислена по выражению

$$C_{mb} = C_D (G_T + G_B) \tau / (120 \cdot \gamma_0 \cdot V_B \cdot n \cdot i) \quad (11)$$

где  $C_D$  - массовая концентрация сажи в цилиндре в начале выпуска, г/м<sup>3</sup>;

$G_m$  и  $G_e$  - часовой расход топлива и воздуха, кг/ч;

$\tau$  - тактность двигателя;

$i$  - число цилиндров двигателя;

$\gamma_0$  - плотность отработавших газов, приведенная к н.у., кг/м<sup>3</sup>;

$V_e$  - объем цилиндра в начале выпуска, м<sup>3</sup>;

$n$  - частота вращения коленвала, мин<sup>-1</sup>.

### Измерение температуры нестационарного пламени

Измерение температуры объектов выше 1000 К обычно осуществляется оптическими пирометрами или оптико-электронными системами [5]. К параметрам, характеризующим по-

ток излучения, относятся абсолютное значение потока и его спектральное распределение. Поэтому системы оптического измерения температуры обычно делят на энергетические и спектральные. В энергетических системах осуществляется прием и измерение абсолютного значения потока излучения на каком-либо выбранном участке спектра. Спектральные основаны на измерении отношения теплового излучения на двух (или более) длинах волн. Необходимость разработки новых систем измерения температуры связана с необходимостью исследования как неоднородных температурных полей [6] быстропротекающих процессов, так и измерения температуры быстропротекающих процессов в труднодоступных местах.

В настоящей работе представлено устройство, пригодное для измерения температуры пламени сгорания топлива в рабочей камере двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в различных режимах (рис. 3). Работа устройства основана на спектральном методе измерения температуры.

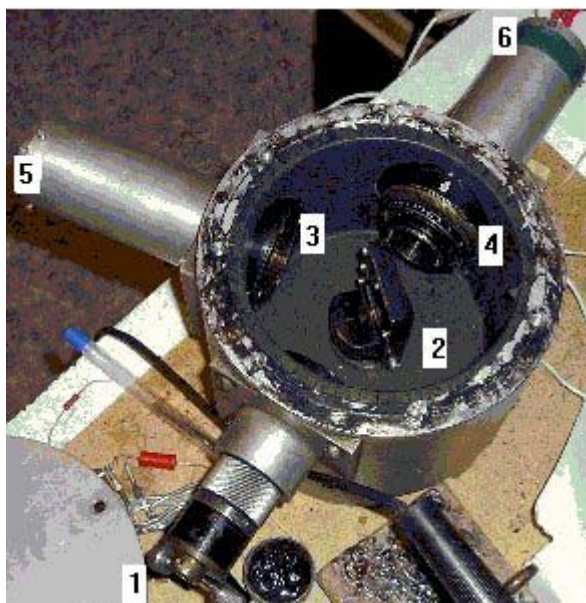


Рис.3. Устройство для измерения температуры в рабочей камере ДВС. 1 – входная апертура, 2 – полупрозрачное зеркало – делитель луча, 3 – красный светофильтр, 4 – синий светофильтр, 5, 6 – регистрирующие ФЭУ-68.

В вихрекамере двигателя сделан ряд отверстий, закрытых кварцевыми стеклами. От одного из отверстий излучение сгорающего топлива через световод подается на входную апертуру устройства 1. Входное излучение делится с помощью полупрозрачного зеркала 2 и подается через синий и красный светофильтры 3 и 4 на регистрирующие фотоэлектронные умножители 5 и 6 (ФЭУ-68).

Спектральные характеристики светофильтров измерены с помощью фотометра КФК-3 с полосой пропускания 3 нм и приведены на рис. 4. Максимум пропускания красного светофильтра приходится на длину волны  $\lambda_R=630$  нм, синего –  $\lambda_B=396$  нм. Использованы светофильтры с очень узкой спектральной полосой пропускания, порядка 20 нм на полувысоте, что существенно облегчает расчет свертки при вычислении отношения спектральных интенсивностей на выбранных длинах волн. Обозначим спектральные коэффициенты пропускания красного и синего светофильтров функциями  $K_R(\lambda)$  и  $K_B(\lambda)$  соответственно.

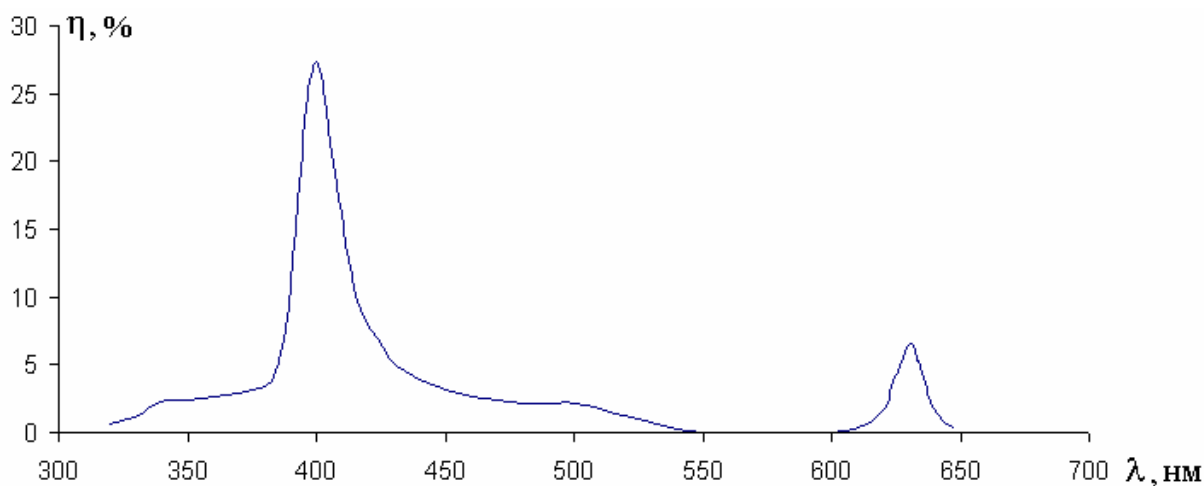


Рис. 4. Кривые пропускания синего и красного светофильтров.

Спектральное распределение интенсивности излучения абсолютно черного тела дается формулой Планка:

$$\varphi(\lambda, T) = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{2\pi\hbar c}{kT\lambda}} - 1} \quad (12)$$

Регистрируемый ФЭУ сигнал представляет собой свертку:

$$f_I(T) = \int \varphi(\lambda, T) K_I(\lambda) d\lambda \quad (13)$$

где индекс I принимает значения R (красный) или B (синий).

Измеряемой величиной является отношение показаний ФЭУ, расположенных после красного и после синего светофильтров N:

$$N(T) = \frac{f_R(T)}{f_B(T)} \quad (14)$$

По измеренному значению N по заранее вычисленной номограмме (рис. 5) находится искомое значение температуры. Непосредственно перед проведением измерений производится тарировка устройства по образцовому пирометру и находится поправочный коэффициент.

Особенностью исследуемого пламени сгорания топлива в вихрекамере двигателя является его нестационарный характер (вспышка), требующая скоростной регистрации процесса изменения температуры. Чтобы повысить разрешающую способность ФЭУ в устройстве использовано нагрузочное сопротивление ФЭУ, в несколько раз меньшее номинального. Известно, что такой способ включения ФЭУ позволяет разрешать времена, значительно меньшие паспортных значений для данного типа ФЭУ.

Сигналы ФЭУ подаются через аналогоцифровой преобразователь непосредственно в ЭВМ, где производится описанное выше преобразование и выдается в качестве результата зависимость изменения температуры пламени со временем протекания процесса сгорания топлива.

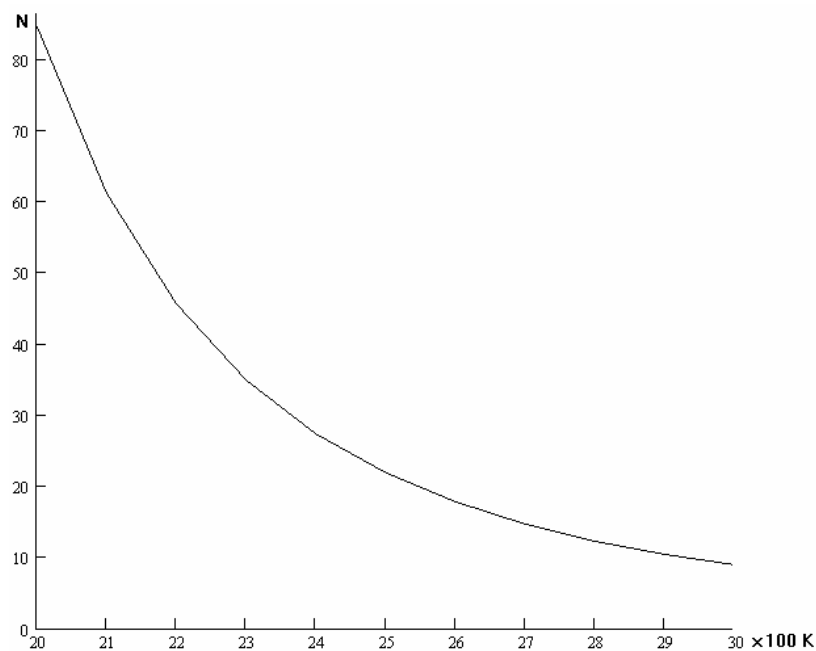


Рис. 5. Участок номограммы зависимости отношения показаний ФЭУ после красного и синего светофильтров от температуры пламени.

### Литература

1. Вагнер В.А., Русаков В.Ю., Барсуков Г.В., Дерябин А.В.. Разработка экспериментальной головки цилиндров для двигателя ВАЗ-341, имеющей оптические каналы для исследования внутрицилиндровых процессов. /Под ред. д.т.н., проф. Вагнера В.А., к.т.н., доц. Баранова А.В. Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин: Межвуз. сб. Выпуск 4/ АлтГТУ , 2003.-108с.
2. Гладышев А.В. Разработка экспериментально-расчетного метода исследования мгновенных полей температуры и концентрации сажи в цилиндре дизеля: Дисс. ... канд. техн. наук.- Л., 1990.- 180 с.
3. Батурин С.А. Физические основы и математическое моделирование процессов сажевыделения и теплового излучения в дизелях: Дисс. ... докт. техн. наук. / Ленингр. политехн. инт.- Л., 1982.- 443 с.
4. Вагнер В.А., Русаков В.Ю., Барсуков Г.В., Попов Н.Б.. Экспериментальная установка для оптического зондирования и исследования внутрицилиндровых процессов в быстроходных малоразмерных дизелях /Под ред. д.т.н., проф. Вагнера В.А., к.т.н., доц. Баранова А.В. Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин: Межвуз. сб. Выпуск 4 / АлтГТУ , 2004.-73с.
5. Поскачей А.А., Чубаров Е.П. Оптико-электронные системы измерения температуры. М.: Энергоиздат, 1988. – 747 с.
6. Коротких В.М., Гуляев П.Ю., Гумиров М.А., Еськов А.В., Евстигнеев В.В. Способ измерения яркостной температуры. Патент РФ N 2099674 от 20.12.97.