

## КОНТРОЛЬ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНОВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

© 2010 П.Е. Тимченко, Е.В. Тимченко, В.П. Захаров

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 11.01.2010

Исследована применимость метода дифференциального обратного рассеяния к контролю октанового числа бензинов. Предложенный способ позволяет регистрировать октановое число с точностью до 0,3 октановой единицы, что сравнимо с точностью методов адсорбционной и ИК спектроскопии. Достоинством предложенного метода является возможность работы в режиме реального времени и отсутствие принципиальных ограничений на толщину и скорость движения исследуемых смесей бензинов. Ключевые слова: октановое число, метод обратного рассеяния, бензин.

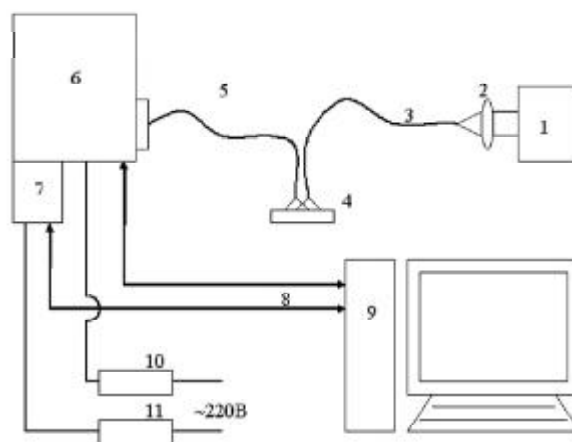
### 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных элементов большинства технологических производств, использующих жидкие ингредиенты, является процесс смешивания. Характерным примером может служить процесс компаундирования в нефтехимической промышленности. Учитывая высокую спектральную чувствительность метода обратного рассеяния, данный метод может быть с успехом применен для контроля состава конечной продукции. Более того, поскольку время определения спектральных неоднородностей с помощью метода дифференциального обратного рассеяния (~ 50 мкс) много меньше характерных времен смешивания, то данный метод может быть использован для дистанционного контроля процессов (т.е. их кинетики) непосредственно в производственном цикле, не внося при этом возмущений в процесс смешивания. Это и явилось целью исследований. Основное внимание было обращено на контроль октанового числа, являющегося наиболее информативным параметром процесса компаундирования бензинов [1].

### 2. УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Принципиальная схема установки представлена на рис. 1 и включает в себя калиброванный широкополосный источник излучения, передающую оптоволоконную систему, спектрограф и компьютер.

Высокоразрешающий 3х зеркальный спектрограф Shamrock sr-303i с интегрированной охлаждаемой до  $-60^{\circ}\text{C}$  цифровой камерой ( $1024*256$ , 26 мкм<sup>2</sup>, 16 бит) и системой микропозиционирования с шаговым сервоприводом обеспечивает регистрацию слабых оптических сигналов в спектральном диапазоне 200 - 1200 нм с разрешением 0,1 нм. Излучение от широкополосного источника 1 (галогенная лампа) вводится с помощью объектива 2 в диагностирующий волоконный узел 3 (0,4 мм и апертурным углом  $35^{\circ}$ ), который обеспечивает подвод излучения в исследуемую область объекта 4. Приёмный волоконный узел 5 расположен перед объектом, обеспечивает концентрацию рассеянного назад (вперед) излучение в телесном угле, рав-



**Рис. 1.** Схема экспериментального стенда: 1 – галогенная лампа, 2 – объектив, 3 – диагностирующий волоконный узел, 4 – объект исследования, 5 – приёмный волоконный узел, 6 – спектрограф Shamrock sr-303i, 7 – цифровая камера ANDOR DV-420A-OE, 8 – USB соединение, 9 – компьютер, 10 и 11 – блоки питания спектрографа и камеры

Тимченко Павел Евгеньевич, инженер. E-mail: Tim Pavel@mail.ru  
Тимченко Елена Владимировна, кандидат физико-математических наук, ассистент. E-mail: Vorobjeva.82@mail.ru  
Захаров Валерий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок. E-mail: Zakharov@ssau.ru

ном апертурному углу приемного узла. Излучение из приемного волоконного узла 5 подается на вход спектрографа 6, который обеспечивает спектральное сканирование с помощью внутренней системы зеркальной развертки и встроенных дифракционных решеток и фильтров. Регистрация выделенной спектральной компоненты потока излучения осуществляется интегрированной цифровой камерой 7 ANDOR DV-420A-OE, обеспечивающей уверенную регистрацию слабых оптических сигналов. Управление камерой и спектрографом, а также запись данных в файл осуществлялось с помощью программного обеспечения компьютером 9 через USB интерфейс 8. Питание спектрографа и камеры обеспечивалось через блоки питания 10 и 11 от сети 220В.

Математическое обеспечение экспериментального стенда включает в себя модуль низкого уровня управления и обработки слабых оптических сигналов ANDOR DV, модуль первичной обработки зарегистрированных данных в программной среде “MathCad 2000”. Все первичные данные (зарегистрированные спектральные интенсивности рассеянного назад излучения) сохранялись в текстовом формате, обеспечивающем быстрый импорт-экспорт данных между отдельными модулями программного обеспечения.

В качестве объектов использовались бензиновые смеси с различными октановыми числами. Вариация октанового числа достигалась путём смешивания бензина двух марок с известными октановыми числами в разных пропорциях объёмов  $V_1$  и  $V_2$ . Объём кюветы составлял 18 мл, было использовано 10 смесей, характеристики которых приведены в табл. 1. Относительные концентрации ( $C_1$  и  $C_2$ ) каждого из бензинов смеси достаточно легко пересчитываются из соотношения объёмов:

$$C_j = \frac{V_j}{V_1 + V_2} \quad (1)$$

Октановое число  $i$ -той бензиновой смеси определялось следующим образом:

$$R_i = R_1 \times C_1 + R_2 \times C_2, \quad (2)$$

где  $R_1, R_2$  – октановые числа компонент смеси, а  $C_1$  и  $C_2$  – относительные концентрации в смеси известных бензинов, используемых для получения смеси.

Продифференцировав (2) по относительной концентрации и учитывая, что точность дозирования составляла 0,1 мл, получаем, что погрешность воспроизводства концентрации каждого из бензинов равна 0,5%, а погрешность воспроизводства октанового числа равна 0,07 единиц октанового числа или 0,2% в относительном выражении.

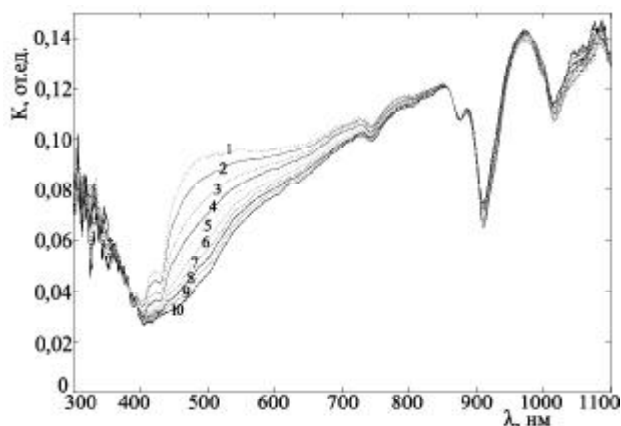
**Таблица 1.** Параметры бензиновых смесей

Смесь №	АИ-92		АИ-76		Октановое число (по моторному методу)
	мл	%	мл	%	
1	0	0,0	18	100,0	76,0
2	2	11,1	16	88,9	76,78
3	4	22,2	14	77,8	77,56
4	6	33,3	12	66,7	78,33
5	8	44,4	10	55,6	79,11
6	10	55,6	8	44,4	79,89
7	12	66,7	6	33,3	80,67
8	14	77,8	4	22,2	81,44
9	16	88,9	2	11,1	82,22
10	18	100,0	0	0,0	83

Кювета с бензиновой смесью располагалась под волоконными датчиками установки на расстоянии 3-4 мм. Исследовалось рассеянное назад излучение широкополосного источника света [2]. Для исключения влияния зеркально рассеянной составляющей от поверхности расстояние между волокнами было подобрано таким образом, что конус видения приёмного волокна не захватывал пятно отражения от поверхности диагностического излучения. Таким образом, регистрируемая интенсивность соответствовала только интенсивности рассеянного обратного излучения, т.е. несло информацию об оптических свойствах среды, а не ее границы. Измерения проводились путём трехкратного снятия оцифрованного спектра интенсивности обратного рассеяния для каждой смеси. Для получения коэффициента обратного рассеяния использовалась нормировка на стандартный рассеиватель (пластину из молочного стекла МС-20)

### 3. КОНТРОЛЬ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА СМЕСИ БЕНЗИНОВ

Коэффициент обратного рассеяния смесей с различным октановым числом, представлен на рис. 2. Здесь цифрами обозначены номера смесей в соответствии с табл. 1. Видно, что спектральная зависимость коэффициента обратного рассеяния имеет экстремумы в области 403-433 нм, а также в районе 877, 912 и 1018нм. Кроме этого наблюдается достаточно широкая область видимого спектра 450..550 нм, в которой наблюдается существенное различие в значениях коэффициента обратного рассеяния. Данные аномалии в видимой части спектра можно использовать для распознавания смесей и идентификации октанового числа. Для этого удобно перейти к дифференциальной форме коэффициента обратного рассеяния, используя в качестве норми-



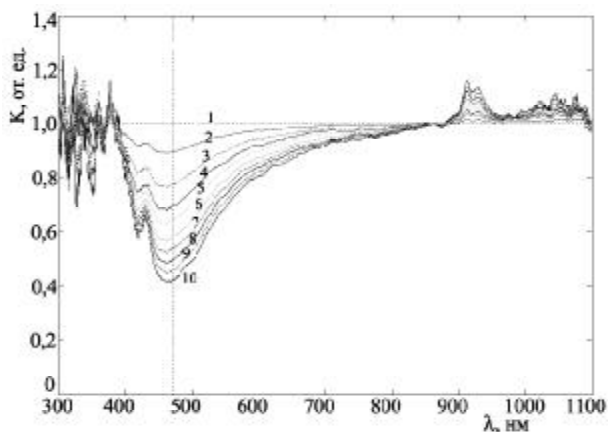
**Рис. 2.** Зависимость коэффициента обратного рассеяния от длины волны для бензиновых смесей с различным октановым числом (цифрами обозначен номер смеси)

рующей функции спектр известного бензина. На рис. 3 представлена зависимость дифференциального коэффициента обратного рассеяния от длины волны для различных смесей, где в качестве эталонной смеси использован бензин марки АИ-76.

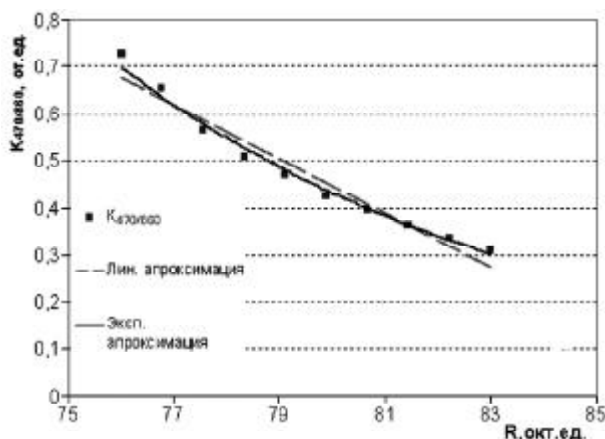
Из анализа рис. 3 следует, что дифференциальный коэффициент обратного рассеяния имеет выраженные экстремумы в области 470 нм, 912 нм, 930 нм, 925 нм. При этом для длин волн 860 нм и 980 нм значение коэффициента равно 1 для всех исследуемых смесей. Следовательно, для идентификации октанового числа можно предложить несколько дифференциальных коэффициентов в форме (3):

$$K_{\lambda_1/\lambda_2} = \frac{K(\lambda_1)}{K(\lambda_2)}, \quad (3)$$

где используются следующие комбинации длин волн  $\lambda_1/\lambda_2$ : 470/860, 912/860, 930/860, 912/980, 925/980. Все предложенные коэффициенты кор-



**Рис. 3.** Зависимость дифференциального коэффициента обратного рассеяния от длины волны для бензиновых смесей с различным октановым числом (цифрами обозначен номер смеси)



**Рис. 4.** Зависимости коэффициента  $K_{470/860}$  от октанового числа и его линейная и экспоненциальная аппроксимации

релируют с изменениями октанового числа, однако, наибольшая производная от октанового числа соответствует коэффициенту  $K_{470/860}$  для длин волн 470 и 860 нм. Рассмотрим этот коэффициент более подробно.

На рис. 4 представлен график зависимости коэффициента  $K_{470/860}$  от октанового числа и его линейная и экспоненциальная аппроксимации.

Видно, что при использовании экспоненциальной аппроксимации погрешность измерения дифференциального коэффициента  $K_{470/860}$  не превышает 3%, что соответствует погрешности в определении октанового числа равной 0,3 октановой единицы. Следует отметить, что методы адсорбционной [3-4] и ИК-спектроскопии [5, 6] дают тот же порядок точности измерений (0,1..0,3 октановой единицы). Однако, в отличие от них метод дифференциального обратного рассеяния свободен от ограничений на толщину исследуемого слоя и может быть реализован в виде простого экспресс-прибора, который может быть встроен непосредственно в технологические цепи компаундирования и, следовательно, включен в алгоритм системы управления технологическими процессами.

Следует также обратить внимание на возможность одновременного определения нескольких дифференциальных коэффициентов и использование нескольких эталонных (детерминированных) спектров нормировки (например, бензина марки АИ-92) в дополнении к рассмотренной выше нормировки на спектр бензина АИ-76. В этом случае, согласно алгоритму многопараметрической обработки, разработанной в ряде работ для ИК-спектроскопии бензинов, возможно снижения погрешности измерения даже ниже 0,3 октановой единицы.

## ВЫВОДЫ

Показана возможность использования метода для измерения октанового числа смеси бензинов. Предложенный способ позволяет регистрировать отклонение октанового числа с точностью до 0,3 октановой единицы, что сравнимо с точностью измерений (0,1-0,3 октановой единицы) методов адсорбционной и ИК спектроскопии. Достоинством предложенного метода является возможность работы в режиме реального времени и отсутствие принципиальных ограничений на толщину и скорость движения исследуемых жидкостей, что может явиться основой создания относительно простых датчиков для автоматизации контроля процесса компаундирования бензинов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудин М. Г., Дробкин А.Е. Краткий справочник нефтепереработчика. Л.: Химия, 1980. 328 с.
2. Исследование многократно рассеивающих сред методом дифференциального обратного рассеяния // В.П. Захаров, П.Е. Тимченко, И.А. Братченко, С.П. Котова, Е.В. Воробьева // Тезисы докладов и сообщений международной конференции "Лазеры, измерения, информация – 2007", Санкт-Петербург, 5-7 июня 2007. СПб., 2007. С.34.
3. Большаков Г.Ф., Агрест Ф.Б., Ватаго В.С. Ультрафиолетовые спектры гетероорганических соединений. Л.: Химия, 1969. 504 с.
4. Люботытова Н.С. Ультрафиолетовые спектры поглощения органических соединений двухвалентной серы, содержащихся в нефтях и нефтепродуктах // В сб.: Химия и физика нефти и нефтехимический синтез. Уфа, 1976.
5. Исследование сернистых соединений дизельных топлив с помощью методов ИК-спектроскопии / Я.Б. Чертков, Т.И. Кирсанова, Е.А. Кутина, Л.Л. Калинин // Химия и технол. топлив и масел. 1977. №10. С.49-52.
6. Ланг Г.А. Измерение параметров бензина с помощью анализаторов в ближней ИК-области спектра // Нефтегазовые технологии. 1994. №9-10. С.71-72.

## CONTROL OCTANE NUMBER OF GASOLINES WITH DIFFERENTIAL BACKSCATTERING METHOD

© 2010 P.E. Timchenko, E.V. Timchenko, V.P. Zakharov

Samara State Aerospace University

Applicability of differential backscattering method to the control octane numbers of gasolines is investigated. The introduced method allows to register octane number to within 0,3 octane units, that is comparable to accuracy methods of adsorptive and infrared spectroscopy. Advantage of introduced method is the opportunity of work in a mode of real time and absence of basic restrictions on thickness and movement speed of researched gasolines mixes.

Key words: octane number, differential backscattering method, gasoline.

---

*Pavel Timchenko, Engineer. E-mail: Timpavel@mail.ru*  
*Elena Timchenko, Candidate of Physics and Mathematics, Assistant Lecturer at the Automatic Systems of Power Plants Department. E-mail: Vorobieva.82@mail.ru*  
*Valery Zakharov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor at the Automatic Systems of Power Plants Department. E-mail: Zakharov@ssau.ru*