

К. ф.-м. н. А. Л. КУКЛА¹, А. В. МАМЫКИН¹, А. С. МАЙСТРЕНКО¹,
к. х. н. Е. В. ПОЛУНКИН², Л. И. СТАРЖИНСКАЯ²

Украина, г. Киев, ¹Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАНУ,

²Институт биоорганической химии и нефтехимии НАНУ

E-mail: kukla@isp.kiev.ua, polunkin@i.ua

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА БЕНЗАНЛЬНОГО ТОПЛИВА

Разработан метод экспресс-контроля состава трехкомпонентных топливных смесей типа «бензин—спирт—вода», основанный на спектроимпедансном исследовании бензанльного смеси в полосе частот 500 Гц — 10 кГц. Установлена корреляционная зависимость между величинами диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления топливной смеси и содержанием в ней этилового спирта и воды. На основе этих зависимостей сформирована градуировочная номограмма для количественной оценки бензиновой и водно-спиртовой компонент в исследуемом бензанльном топливе в актуальном диапазоне концентраций.

Ключевые слова: импедансная спектроскопия, бензоспиртовое топливо, водно-спиртовой раствор, диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление.

Для определения состава бензинового топлива обычно используют такие традиционные аналитические способы, как хроматографический анализ, ИК- и УФ-спектроскопия, атомно-эмиссионная спектроскопия. Однако эти методики требуют дорогостоящего и громоздкого оборудования, продолжительны во времени и поэтому непригодны для экспресс-анализа образцов топлива. Вместе с тем, для исследования эксплуатационных характеристик бензиновых смесей используются также диэлектрометрические измерения, применяющиеся для экспресс-определения октанового числа [1], классификации товарных марок бензина и газоконденсатных легких фракций [2], идентификации товарных и сырьевых нефтепродуктов [3]. Известны также способы определения качества нефтепродуктов по величине их удельного сопротивления [4]. Отметим, что бензин, получаемый при стандартной переработке нефти (прямая перегонка, каталитический крекинг, каталитический реформинг), является практически непроводящей жидкостью. Вследствие этого электрические методы измерения не получили широкого распространения, поскольку требуют применения высоковольтного оборудования и высококвалифицированного персонала. При наличии в составе бензина товарных марок электропроводящих присадок проводимость топливной смеси значительно увеличивается, и в составе общей проводимости бензина, кроме реактивной, появляется также активная составляющая. Последнее обстоятельство приводит к тому, что для определения электрофизических характеристик бензина (диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления) необходим анализ его импедан-

са. Описание подобного анализа подробно изложено в [5], где было рассмотрено применение спектроимпедансных исследований для определения содержания этанола в водно-спиртовых растворах. Достоинством метода является то, что он сравнительно прост и в то же время достаточно точен, хорошо поддается автоматизации. Подобный подход был использован и в данной работе для количественного компонентного анализа образцов бензоспиртового топлива.

Объекты и методы исследований

В работе использованы следующие методы: импедансная спектроскопия для определения диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления образцов бензоспиртового топлива, газовая хроматография для определения компонентного состава исходных бензинов, ареометрический метод определения содержания воды в водно-спиртовом растворе, а также исследовательский метод определения октанового числа автомобильного бензина. При импедансных измерениях проводится исследование полного сопротивления (импеданса) электрохимической ячейки конденсаторного типа, межэлектродное пространство которой заполнено анализируемым веществом, с последующим расчетом его электрофизических характеристик (диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления).

Измерения проводились с помощью измерителя иммитанса Е7-20 в частотном диапазоне от 500 Гц до 10 кГц с амплитудой сигнала 1 В. Для подобных измерений нами был модифицирован разработанный ранее [6] портативный импедансный анализатор (рис. 1), что позволило проводить измерения значительно более высо-



Рис. 1. Портативный импедансный измеритель со специальной электролитической ячейкой, разработанной для исследования жидких растворов с малым значением диэлектрической проницаемости и большим удельным сопротивлением

Относительное содержание компонент в очищенных пробах бензина разных торговых марок

Компонент	Торговая марка бензина и номер пробы			
	Shell (№1)	ОККО (№2)	WOG95 (№3)	WOG76 (№4)
Алканы				
изобутан	0,5	0,2	0,2	0,2
н-бутан	1,9	0,9	0,8	1,0
изопентан	18,1	14,1	11,5	6,5
н-пентан	4,2	3,6	4,2	3,9
2,2 диметилбутан	3,9	2,5	6,4	1,1
2-метилпентан	7,1	6,0	6,4	3,7
3-метилпентан	4,0	3,5	4,6	2,3
н-гексан	3,3	2,4	2,5	5,6
2-метилгексан	2,1	2,7	2,3	2,2
4-метилгексан	0,6	0,6	0,7	0,7
3-метилгексан	2,1	2,8	2,5	2,5
изооктан	—	—	1,5	1,0
н-гептан	1,5	1,7	1,7	3,9
триметилпентан	—	—	0,6	—
2-метилгептан	0,6	0,9	0,6	1,2
4-метилгептан	0,3	0,4	0,3	1,1
3-метилгептан	0,5	0,9	0,6	1,6
н-октан	0,5	0,6	0,5	2,7
метилоктан	0,2	0,3	0,2	0,3
н-нонан	0,06	0,07	0,06	1,0
н-декан	—	—	—	0,1
Всего	51,46	44,17	48,16	42,6
Циклические углеводороды				
циклопентан	1,4	1,2	1,4	2,0
метилциклопентан	3,5	2,9	2,4	3,5
циклогексан	2,3	0,8	2,2	5,6
диметилциклопентан	0,9	0,8	0,6	1,2
метилциклогексан	1,1	0,9	0,6	8,0
метилциклогексаны C8	1,9	2,9	1,9	2,9
метилциклогексаны C9	0,8	1,6	1,4	1,7
Всего	11,9	11,1	10,5	24,9
Ароматические углеводороды				
бензол	0,9	1,3	1,2	3,8
толуол	9,6	12,2	12,7	10,3
этилбензол	1,4	1,7	1,9	1,3
м-, п-ксилол	3,3	6,0	5,3	4,7
о-ксилол	1,0	2,0	1,8	1,3
алкилбензолы C9	2,1	2,4	2,4	2,7
алкилбензолы C10	0,2	0,2	0,6	0,5
Всего	18,5	25,8	25,9	24,6
Непредельные C5-C7	10,8	15,1	6,1	3,9
МТБЭ	7,1	3,4	9,2	—
Этанол	—	0,2	—	1,0
Октановое число (АИ)	94,1	87	95,1	80,8

коомных материалов (с удельным сопротивлением до $10^{12} - 10^{13}$ Ом·см), что характерно для органических жидкостей, получаемых при переработке нефти.

Для измерений использовалась цилиндрическая конденсаторная ячейка, электроды которой были изготовлены из устойчивой к агрессивным средам нержавеющей стали, а детали корпуса — из фторопласта. Объем пробной жидкости для однократного измерения составлял 25 мл. Все измерения проводились в специальном термобоксе при температуре 20°C, которая постоянно контролировалась.

Анализ компонентного состава исходных бензинов проводился при помощи газового хроматографа НР-6890 с плазменно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой Рона (длина 50 м, внутренний диаметр 0,2 мм, толщина неподвижной фазы 0,5 мкм, рабочая температура 50–200°C, градиент 5°/мин). Определение содержания воды в образцах абсолютного спирта проводилось в соответствии с ГОСТ 3639-79 «Растворы водно-спиртовые» с точностью до 0,06%. Определение октанового числа образцов топлива проводилось в соответствии с ГОСТ 8226-82 «Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа».

В качестве объекта исследований использовалась трехкомпонентная топливная смесь «бензин — абсолютный спирт — дистиллированная вода» с разными соотношениями компонент. Содержание спирта в топливной смеси варьировалось в диапазоне от 3 до 11% об., при этом крепость самого спирта (точнее, водно-спиртового раствора) выбиралась в диапазоне от 99,9 до 94–96% об. (нижняя граница выбиралась с учетом сохранения фазовой стабильности получаемой топливной смеси при комнатной температуре). В качестве исходной спиртовой компоненты для формирования смесей использовали спирт-ректификат с концентрацией 96% об. Для обезвоживания исходного спирта применялась негашеная известь СаО, предварительно отожженная при температуре 200°C. Обезвоженный спирт отгонялся из спиртоизвестковой смеси в спиртоприемник, защищенный от атмосферной влаги хлоркальциевой трубкой.

В качестве бензиновой основы бензанолевого топлива использовались приобретенные в розничной сети образцы бензина разных товарных марок с различными октановыми числами. Для очистки исходных образцов бензина от возможных металлосодержащих присадок и механических примесей использовался аппарат для разгонки нефтепродуктов (отбирались бензиновые фракции с температурой кипения от 25 до 135°C). Относительное содержание компонент в очищенных таким образом образцах бензина, полученное с помощью хроматографического анализа, представлено в **таблице**.

Результаты и их обсуждение

Как указывалось выше, стандартный бензин по своим электрическим характеристикам относится к классу жидких диэлектриков. Смешивание бензина с электропроводящими примесями (в частности, с этанолом), которые повышают его октановое число, приводит к появлению активной составляющей импеданса. Нами установлено, что бензоспиртовые растворы в области средних частот 500 Гц — 10 кГц могут быть представлены эквивалентной электрической схемой в виде двухэлементной RC-цепи с параллельно соединенными межэлектродной емкостью C и сопротивлением раствора R , которая описывается следующими уравнениями:

$$\operatorname{Re} Z = \frac{R}{4\pi^2 C^2 R^2 v^2 + 1}; \quad (1)$$

$$\operatorname{Im} Z = \frac{2\pi C R^2 v}{4\pi^2 C^2 R^2 v^2 + 1}. \quad (2)$$

где v — частота;

$\operatorname{Re} Z$, $\operatorname{Im} Z$ — активная и реактивная составляющие импеданса.

Теоретически, поскольку выражения (1) и (2) образуют систему уравнений с двумя неизвестными, для определения величин R и C достаточно измерить импеданс на одной фиксированной частоте. Однако на практике нами использовался более надежный и точный способ определения этих параметров, основанный на измерении частотных зависимостей активной и реактивной составляющих импеданса исследуемых смесей в диапазоне 500 Гц — 10 кГц (**рис. 2**).

В дальнейшем для определения интересующих нас электрофизических параметров (диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления) проб бензанолевых смесей использовалась процедура аппроксимации экспериментальных частотных зависимостей выражениями (1) и (2) [5]. В качестве начального приближения по величине R для модельного расчета принималось измеренное значение активной составляющей импеданса на нижней частоте диапазона (500 Гц) в соответствии с приближенным равенством $\operatorname{Re} Z(v) \approx R$. Начальное приближение по величине емкости C определяли согласно приближенному равенству $\operatorname{Im} Z(v) \approx 1/(2\pi v C)$, используя измеренное значение реактивной составляющей на верхней частоте диапазона 10 кГц. Затем, принимая полученные значения за исходные, эти значения уточнялись по полным кривым $\operatorname{Re} Z(v)$ и $\operatorname{Im} Z(v)$ путем сравнения экспериментальной и теоретической кривых (**рис. 2, а–г**) и минимизации разностной функции методом наименьших квадратов. Результирующие значения искомых параметров R и C определялись усреднением по обеим кривым. Численный расчет проводился в Mathcad.

На **рис. 3** представлены пересчитанные в координаты диэлектрической проницаемости (ϵ) и удельного сопротивления (ρ) полученные зна-

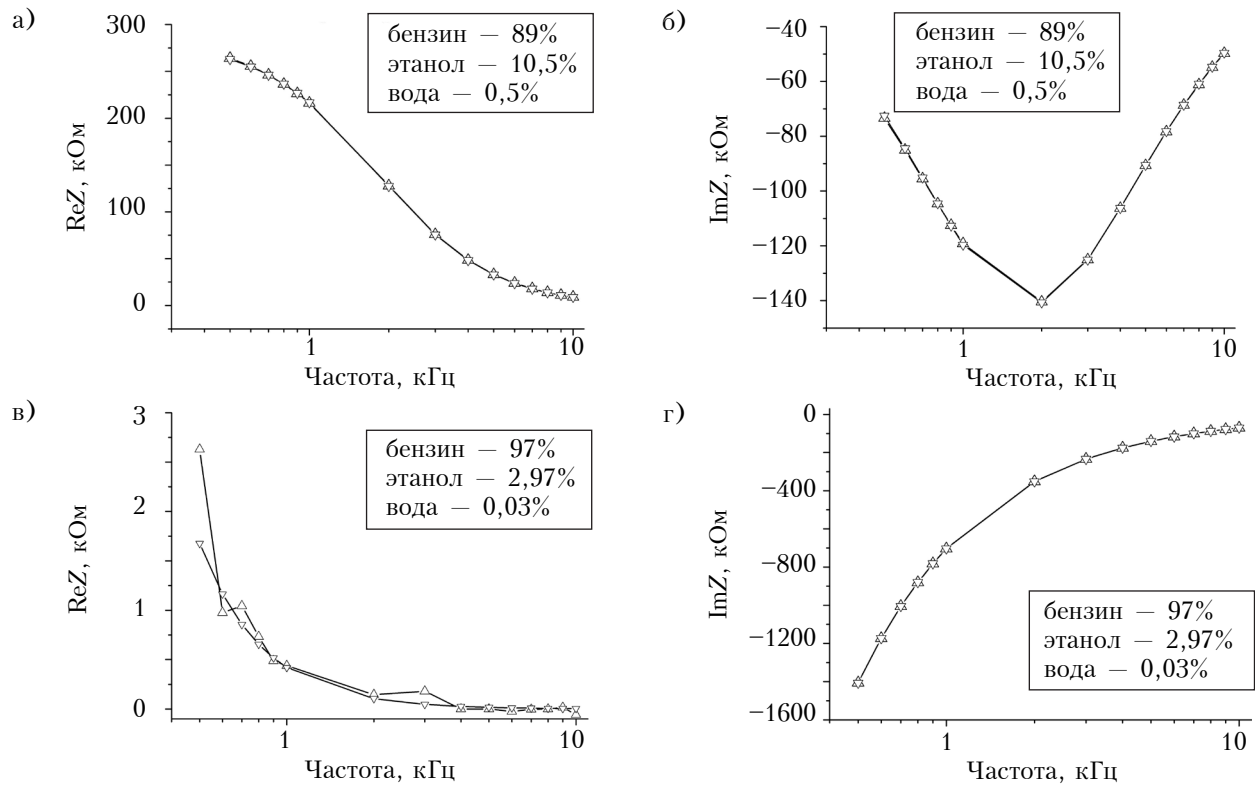


Рис. 2. Аппроксимация экспериментальных частотных зависимостей импеданса (Δ) модельными зависимостями (∇) для смесей разного состава

чения параметров R и C , соответствующие исследуемым образцам бензанолевого топлива, содержащим 95% исходного очищенного бензина и 5% водно-спиртового раствора. Крепость водно-спиртового раствора при этом варьировалась от абсолютной (100% спирта) до минимально возможной, соответствующей фазостабильному состоянию смеси (когда она не расслаивается на чистый бензин и водно-спиртовой рас-

твор, в данном случае это величина 96,5–97%). Ее значения указаны на графиках возле точек в процентах.

Как следует из рис. 3, несмотря на аналогичность содержания водно-спиртовых компонент во всех смесях, полученные для разных марок бензина кривые располагаются раздельно. Очевидно, это обусловлено различиями в исходном компонентном составе бензинов, поскольку в соответствии с [7] значения диэлектрической проницаемости компонент автомобильного топлива существенно различаются. Так, положение кривых может, в частности, зависеть от содержания в исходных образцах метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Действительно, в соответствии с таблицей, максимальное содержание МТБЭ находится в образце №3 (9,2%), далее в порядке понижения идут образцы №1 (7,1%), №2 (3,4%) и №4 (отсутствует). Таким образом, использование кривых рис. 3 в качестве калибровочных зависимостей для точного определения состава бензанолевого топлива затруднено, поскольку одному и тому же содержанию спирта и воды в топливе соответствуют различные положения экспериментальных точек.

Для оценки погрешности определения состава, связанной с различиями в компонентном составе исходных бензинов, были дополнительно приготовлены образцы топлива с фиксированным содержанием водно-спиртового раствора (3, 7, 9 и 11%). Причем крепость водно-спиртового

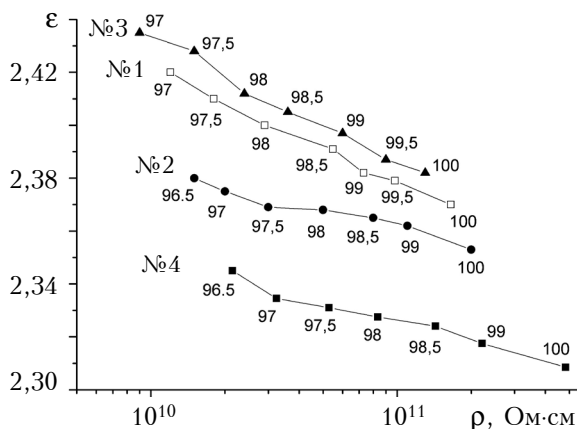


Рис. 3. Положение расчетных параметров, соответствующих четырем образцам бензиновых смесей с 5%-ным содержанием водно-спиртовой компоненты, в координатах диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления

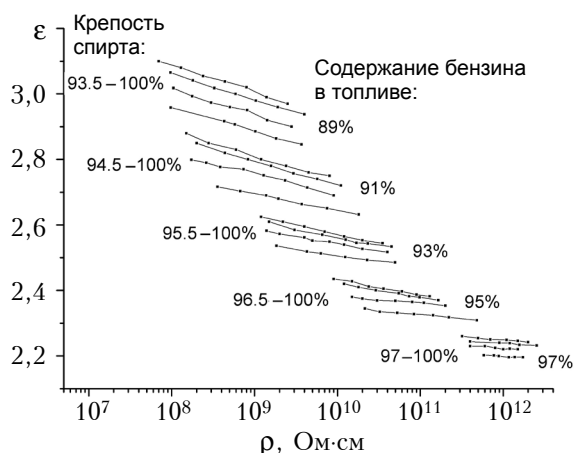


Рис. 4. Положение расчетных параметров, соответствующих всем исследуемым бензанольным смесям, в координатах диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления

раствора в каждом случае варьировалась от абсолютной до минимально возможной. Для каждой такой группы модельных бензанольных смесей были получены зависимости, аналогичные представленным на рис. 3, которые в итоге были выведены на общую диаграмму, представленную на рис. 4. Из диаграммы можно видеть, что несмотря на различия в составах исходных бензиновых марок, области, соответствующие фиксированным соотношениям бензиновой и водно-спиртовой компоненты в готовом топливе, достаточно хорошо отделены друг от друга. Учитывая также то, что эти области следуют с шагом изменения такого соотношения 2% об., можно утверждать, что количественную оценку доли водно-спиртовой компоненты в готовом бензанольном топливе можно сделать с точностью не хуже $\pm 1\%$ об.

Из представленных на рис. 4 данных следует, что с увеличением доли спирта в бензанольном топливе растет также и растворимость в нем воды. Так, для 97%-ного содержания бензина в смеси граничная крепость используемого водно-спиртового раствора, при которой еще не наблюдалось фазового расслоения смеси, составляла около 97% об., в случае же 89%-ного содержания бензина в готовом топливе минимальная крепость водно-спиртового раствора составляет уже 94% об. Таким образом, прослеживается довольно четкая граница зоны фазовой стабильности, соответствующая критическому содержанию воды в исследуемых образцах бензанольного топлива. Граница этой зоны фактически формируется значениями крайних левых точек всех кривых на рис. 4. Положение фазо-стабильной зоны для исследуемых смесей показано на рис. 5.

Усреднение приведенных на рис. 4 серий экспериментальных точек по четырем образцам исходного бензина позволило, учитывая границы зоны фазовой стабильности смесей, построить

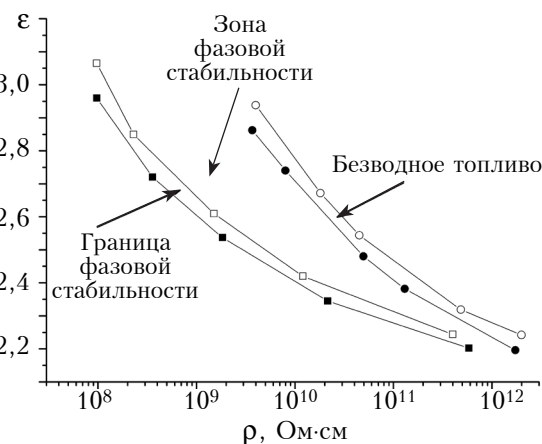


Рис. 5. Положение зоны фазовой стабильности бензанольного топлива (расположенные рядом пары кривых показывают область разброса, характерную для четырех исследуемых бензиновых марок)

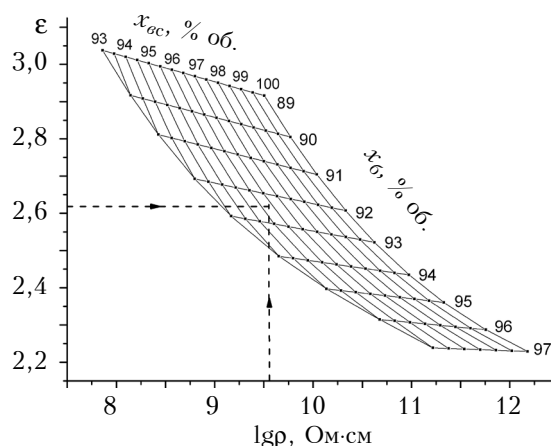


Рис. 6. Градуировочная сетка для определения содержания бензиновой (x_b) и водно-спиртовой ($x_{вс}$) компонент в исследуемой бензанольной топливной смеси, полученная при температуре 20°C

градуировочную номограмму, приведенную на рис. 6, для графического определения содержания бензиновой и водно-спиртовой компонент в исследуемой бензанольной смеси по диэлектрической проницаемости и удельному сопротивлению (см. пунктирные линии на рисунке). При этом определение водно-спиртовой/бензиновой объемной части в исследуемом топливе достигается с погрешностью не более 1% об., а сама крепость водно-спиртового раствора (относительное содержание спирта и воды) определяется, по нашим оценкам, с погрешностью не более 0,8% об.

Выводы

В работе продемонстрированы теоретический и практический подходы к осуществлению экспресс-контроля состава трехкомпонентных топливных смесей типа «бензин — спирт — вода» методом импедансной спектроскопии. Выявленная корреляция величин диэлектрической проницае-

мости и удельного сопротивления с содержанием спирта и воды в топливной смеси свидетельствует о принципиальной возможности применения данного метода для определения состава бензанолевого топлива и предупреждения его возможного фазового расслоения на чистый бензин и водно-спиртовой раствор.

Показано, что компонентный состав исходных бензинов разных марок не оказывает существенного влияния на электрофизические характеристики исследованных образцов бензанолевого топлива, что обуславливает достаточную для практического применения точность оценки содержания спирта и воды в топливе. Для оценки их содержания в актуальном диапазоне концентраций 3–11%, характерных для бензанолевых топливных смесей, сформирована числовая градуировочная номограмма. С ее помощью возможно определение содержания водно-спиртовой компоненты с погрешностью не более 1% об., а крепости самого водно-спиртового раствора — не более 0,8% об.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Пат. 2196321 С2 России. Способ определения октанового числа автомобильных бензинов / В. М. Пашенко, В. И. Ванцов, В. С. Чулков, Д. В. Сеницын. — 10.01. 2003.
2. Руднев В. А., Бойченко О. П., Карножицкий П. В. Класифікація товарних бензинів та легких газоконденсат-

них фракцій родовищ східних областей України на основі діелектрометричних та газохроматографічних даних // Методы и объекты химического анализа. — 2010. — Т. 5, №3. — С. 148–157.

3. Руднев В. А., Карножицкий П. В. Применение метода диэлектротметрии при экспертном исследовании нефтепродуктов // Вісник Харківського національного університету. — 2009. — №870, Хімія. — Вип. 17(40). — С. 172–177.

4. ГОСТ 25950-83. Топливо для реактивных двигателей с антистатической присадкой. Метод определения удельной электрической проводимости.

5. Кукла А. Л., Мамыкин А. В., Павлюченко А. С., Майстренко А. С. Экспресс анализатор параметров функциональных материалов на основе метода импедансной спектроскопии // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. — 2012. — Т. 3(9), №3. — С. 6–15.

6. Кукла А. Л., Павлюченко А. С., Майстренко А. С., Мамыкин А. В. Импедансный анализатор для идентификации марок водно-спиртовых напитков // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2012. — №1. — С. 15–21.

7. Скворцов Б. В., Силов Е. А. Исследование корреляционных зависимостей между октановым числом и электродинамическими параметрами углеводородных продуктов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2009. — Т. 11, № 5. — С. 64–71.

Дата поступления рукописи
в редакцию 23.02 2015 г.

О. Л. КУКЛА, А. В. МАМИКИН, А. С. МАЙСТРЕНКО,
Є. В. ПОЛУНКИН, Л. І. СТАРЖИНСЬКА

Україна, м. Київ, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАНУ,
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАНУ

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ІМПЕДАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ БЕНЗАНЛЬНОГО ПАЛИВА

Розроблено метод експрес-контролю складу трикомпонентних паливних сумішей типу «бензин — спирт — вода», заснований на спектроімпедансному дослідженні бензанолевої суміші в смузі частот 500 Гц — 10 кГц. Встановлено кореляційну залежність між величинами діелектричної проникності і питомого опору паливної суміші та вмістом в ній етилового спирту та води. На базі цих залежностей сформована градувальна номограма для кількісної оцінки бензинової і водно-спиртової компонент в досліджуваному бензанолевому паливі в актуальному діапазоні концентрацій.

Ключові слова: імпедансна спектроскопія, бензоспиртове паливо, водно-спиртовий розчин, діелектрична проникність, питомий опір.

DOI: 10.15222/TKEA2015.2-3.61
UDC 532.538; 539.21; 621.38

A. L. KUKLA¹, A. V. MAMYKIN¹, A. S. MAISTRENKO¹,
E. V. POLUNKIN², L. I. STARZHINSKA²

Ukraine, Kiev, V. E. ¹Lashkaryov Institute of semiconductor physics of NAS of Ukraine,
²Institute of bioorganic and petroleum chemistry of NAS of Ukraine

APPLICATION OF IMPEDANCE SPECTROSCOPY METHOD FOR ANALYSIS OF BENZANOL FUELS

The authors have developed a method for express control of three component «gasoline-alcohol-water» fuel mixtures based on the spectral impedance investigation of benzanol mixture in the frequency range of 500 Hz — 10 kHz.

A correlation dependence between the dielectric constant and the specific resistance of the fuel mixture on content of ethanol and water in the mixture has been found. On the basis of this dependence a calibration nomogram to quantify the gasoline and water-alcohol components content in the test benzanol fuel in the actual range of concentrations has been formed. The nomogram allows determining the water-alcohol and gasoline parts in the analyzed fuel with an error of no more than 1% vol., while the strength of water-alcohol solution is determined with an error of no more than 0.8% vol. The obtained nomogram can also give information about critical water content in the benzanol fuel to prevent its eventual phase separation. It is shown that the initial component composition of different gasoline brands has no significant effect on the electrical characteristics of the studied benzanol fuels, which makes the evaluation of alcohol and water content in the fuel sufficiently accurate. for practical applications.

Keywords: impedance spectroscopy, ethyl-gasoline fuel, water-alcohol solution, dielectric constant, resistivity.

REFERENCES

1. Pashchenko V. M., Vantsov V. I., Chuklov V. S., Sinitsyn D. V. Patent RF no. 2196321 C2. [State Standard 25950-83, 2013 The method for determining the octane number of motor gasoline]. 2003.
2. Rudnev V. A., Boichenko O. P., Karnozhits`kii P. V. [Classification of commercial gasoline and light gas condensate fractions from deposits in eastern regions of Ukraine on the basis of dielectrometric and chromatographic data]. *Metody i obekty khimicheskogo analiza*, 2010, vol. 5, no. 3, pp. 148-157. (Ukr)
3. Rudnev V. A., Karnozhitskii P. V. [Application of dielectrometry in expert study of mineral oil]. *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo universitetu*, 2009, no. 870, Chemistry, iss. 17(40), pp. 172-177. (Rus)
4. GOST 25950-83. *Topливо dlya reaktivnykh dvigatelei s antistaticheskoi prisadkoi. Metod opredeleniya udel'noi elektricheskoi provodimosti*. [Jet fuel with antistatic additive. Method for determining the electrical conductivity]. Moscow, Izdatel'stvo Standartov, 1984, 10 p. (Rus)
5. Kukla A. L., Mamykin A. V., Pavlyuchenko A. S., Maistrenko A. S. [Express analyzer of parameters of functional materials based on the method of impedance spectroscopy]. *Sensorna elektronika i mikrosistemni tekhnologiyi*, 2012, vol. 3(9), no. 3, pp. 6-15. (Rus)
6. Kukla A. L., Pavlyuchenko A. S., Maistrenko A. S., Mamykin A. V. [Impedance analyzer for identification of trademarks of aqueous-alcoholic drinks]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 2012, no. 1, pp. 15-21. (Rus)
7. Skvortsov B. V., Silov E. A. [Research of correlation dependences between octan number and electrodynamic parameters of hydrocarbonic products]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 5, pp. 64-71. (Rus)

РЕЦЕНЗЕНТЫ НОМЕРА

- Вихор Людмила Николаевна*, докт. физ.-мат. наук, главный научный сотрудник, Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, г. Черновцы
- Демьянчук Борис Александрович*, докт. техн. наук, зав. кафедрой, Военная академия, г. Одесса
- Ёдгорова Дилбар Мустафаевна*, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз, г. Ташкент
- Кадацкий Анатолий Федорович*, докт. техн. наук, зав. кафедрой, Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
- Максименко Юрий Николаевич*, канд. техн. наук, зам. директора, ЧАО «Укрналит», г. Киев
- Маслов Олег Викторович*, докт. техн. наук, зав. кафедрой, Одесский национальный политехнический университет
- Николаенко Юрий Егорович*, докт. техн. наук, ведущий научный сотрудник, НТУУ «Киевский политехнический институт»
- Прудюс Иван Никифорович*, докт. техн. наук, директр института, НУ «Львовская политехника»
- Сафронов Павел Сергеевич*, канд. техн. наук, доцент, Одесский национальный политехнический университет
- Сыворотка Игорь Михайлович*, начальник отдела, НПП «Карат», г. Львов
- Трофимов Владимир Евгеньевич*, канд. техн. наук, доцент, Одесский национальный политехнический университет
- Фещенко Валерий Сергеевич*, канд. физ.-мат. наук, начальник научно-производственной лаборатории, ПТЦ «УралАлмазИнвест», г. Москва