

## ДАТЧИК КОНТРОЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Джежора А.А.<sup>1</sup>, Чернов Е.А.<sup>1</sup>, Свистунов Б.Л.<sup>3</sup>, Царенко Ю.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>Витебский государственный технологический университет<sup>2</sup>ГНУ «Институт технической акустики» НАН Беларуси

Витебск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Пензенский государственный технологический университет

Пенза, Российская Федерация

Для контроля уровня нефтепродуктов широко используют однопараметровые датчики уровня топлива (ДУТ) [1] различных модификаций. Принцип их работы основан на линейной зависимости емкости коаксиального конденсатора от высоты уровня жидкого диэлектрика. Емкость ДУТ определяется целым рядом параметров: диэлектрической проницаемостью топлива, диэлектрической проницаемостью паров над уровнем топлива, высотой уровня топлива, геометрическими параметрами самого конденсатора. Так как диэлектрическая проницаемость топлива определяется сортоностью топлива, температурой топлива, наличием присадок, сторонних добавок, абсорбированной влаги, то погрешность определения уровня топлива посредством однопараметрового ДУТ велика и может достигать десятка процентов.

Этого недостатка лишен двухпараметровый датчик уровня жидких сред [2, 3]. Конструктивно датчик представляет собой составной коаксиальный цилиндрический конденсатор рис. 1.

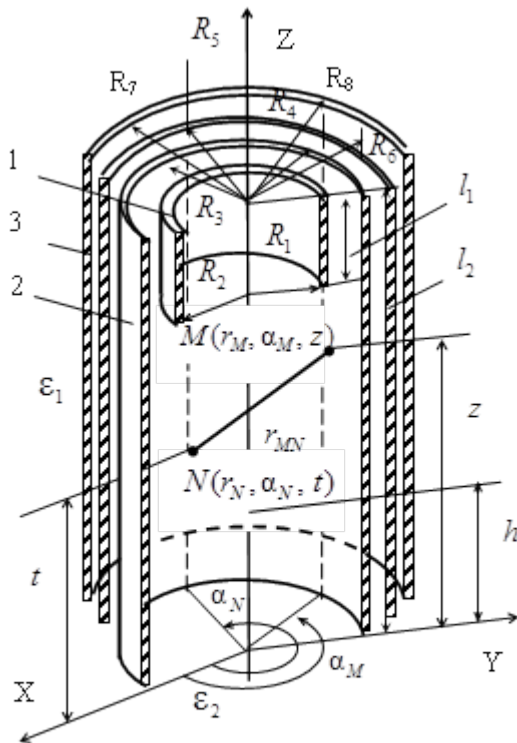


Рис.1 Поперечное сечение датчика уровня нефтепродуктов

При создании математической модели датчика каждый из четырех электродов рассматривался в виде соосных бесконечно тонких цилиндрических эквипотенциальных поверхностей с различной плотностью заряда  $\sigma_s(R_s, t)$ . Такой подход позволил учесть реальные геометрические размеры электродов, их толщину и исследовать характер распределения поля вне межэлектродного зазора. В силу этого, поверхностная плотность заряда для каждой из эквипотенциальных поверхностей электродов цилиндрического датчика является функцией одной переменной  $t$  вдоль оси  $OZ$   $\sigma_s(R_s, t)$ . В качестве исходного выражения при составлении интегральных уравнений использовалась зависимость для потенциала:

$$V_M = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_1} \int_s \sigma(s) \frac{1}{r_{MN}} ds, \quad (1)$$

где  $\sigma(s)$  – поверхностная плотность заряда на электродах,  $s$  – поверхность интегрирования.

С учетом того, что расстояние в цилиндрической системе координат между точкой наблюдения  $M(r_M, \alpha_M, z)$  и переменной точкой  $N(r_N, \alpha_N, t)$  определяется:

$$r_{MN} = \sqrt{(t-z)^2 + r_M^2 + r_N^2 - 2r_M r_N \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}, \quad (2)$$

для электродов цилиндрического датчика, расположенного в двухслойной среде,

$$\epsilon(z) = \begin{cases} \epsilon_1 \text{ при } z > h, q = 1, \\ \epsilon_2 \text{ при } z < h, q = 2, \end{cases} \quad (3)$$

система интегральных уравнений примет вид

$$\int_0^{L_m} \sigma_s(R_s, t) R_s dt \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{r_{MN_s}} = 4\pi\epsilon_0\epsilon_q V_m, \quad (4)$$

где  $R_s$  – радиусы внутренних и внешних поверхностей цилиндрических электродов,  $\epsilon_q$  – диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся электроды либо часть электродов,  $V_m$  – потенциалы на электродах,  $s = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ ;  $m=1,2$

Решение системы интегральных уравнений осуществлялось методом Крылова–Боголюбова. Для дискретизации функций  $\sigma_s(R_s, t)$  цилиндрические поверхности электродов разбивались на кольца, в пределах которых поверхностная плот-

ность заряда принимала постоянные значения.

Исходя из найденных дискретных значений  $\sigma_i$  рассчитывалась емкость датчика. Ошибка расчета емкостей датчика численным методом не превосходила 1%. Несколько выше ошибка расчета емкостей с помощью классического аналитического выражения. Но и эта ошибка не превышала 1%. Этот факт говорит о том, что в случаях, когда межэлектродные зазоры датчика  $R_3-R_2$ ,  $R_5-R_4$  и  $R_7-R_6$  на порядок меньше длин цилиндрических электродов  $l_1$  и  $l_2$ , с достаточно высокой степенью точности для решения прямых и обратных задач может быть использовано аналитическое выражение емкости цилиндрического конденсатора  $2\pi\epsilon_0\epsilon_1 l / (\ln R_{s+1}/R_s)$ .

Емкость датчика  $C_1$  определяется глубиной погружения электродов в жидкость  $h - (l_2 - l_1)$ , емкость  $C_2$  определяется глубиной погружения  $-h$ . Различия в глубинах погружения позволяют определять диэлектрическую проницаемость контролируемой жидкости через разность нормированных емкостей  $C_1(h)/C_1(0)$ ,  $C_2(h)/C_2(0)$ , а затем определить глубину погружения электродов  $h$  в контролируемую жидкость.

Глубина погружения электродов  $h$  зависит только от дного неизмеряемого параметра – диэлектрической проницаемости газообразной среды  $\epsilon_1$ . Колебания  $\epsilon_1$  незначительны и могут быть усредненным ( $\epsilon_1 \approx 1,0006$ ).

Так как глубина погружения электродов в жидкость описывается аналитическими выражениями, то рассмотренный датчик может выполнять калибровку самостоятельно, в независимости от диэлектрической проницаемости жидкости. Для всех исследуемых жидкостей (дизельное топливо, подсолнечное и рапсовое масла) ошибка расчета уровня не

превышала 1,5 мм. В зоне краевого эффекта, когда  $h = l_2 - l_1 = 100$  мм, ошибка определения уровня составила 2,0 мм.

Аналитические выражения, связывающие показатели детонационной стойкости с электрическими параметрами топлив [4], позволяют определять детонационную стойкость топлив.

Конструкция двухпараметрового датчика уровня топлива имеет ряд преимуществ:

- двухпараметровый датчик содержит в себе два датчика с различной глубиной погружения электродов в жидкость  $h$  и

$$h - (l_2 - l_1);$$

- датчик позволяет контролировать диэлектрические свойства жидких сред, а значит позволяет проводить оценку сортности топлива;

- датчик не требует калибровки, он осуществляет ее самостоятельно;

- он имеет такие же размеры как и однопараметровый датчик уровня топлива.

1. Боднер, В.А. *Авиационные приборы*. - М.: Машиностроение, 1969. - 467 С.
2. Джежора, А. А. *Двухпараметровый датчик уровня жидкости* / А.А. Джежора, В.В. Рубаник // *Приборы и методы измерений*. – 2012. – № 1(4). – С. 56-61.
3. Мастепаненко М.А. *Информационно-измерительная система непрерывного контроля уровня топлива в емкостях*: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.А. Мастепаненко. – Волгоград, 2014. – 20 С.
4. Силов Е. А. *Приборы и методы импедансных измерений детонационной стойкости углеводородных топлив*: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Силов. – Самара, 2011. – 16 с.

УДК 006.032.531.7

## НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Дмитерчук Е.А., Соколовский С.С.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

Поскольку первые методики измерения шероховатости появились в начале 1930-х годов, измерение текстуры поверхностей было основано на профильных методах измерения, т.е. по сути на 2D-профилометрии и использовании главным образом контактных измерительных приборов, по крайней мере, до двух последних

десятилетий. И лишь в начале 1980-х годов начали появляться более совершенные приборы для измерения шероховатости топографическим методом, такие как 3D-профилометры [1].

Первая важная работа по методологии 3D-измерения текстуры поверхности была проведена в рамках европейской программы под руково-