

# МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕЖДУ СЛОЯМИ И УРОВНЯ ДВУХСЛОЙНОЙ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ

*Р.И. Якшигильдина, А.Б. Степанов*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Степанов А.Б., старший преподаватель кафедры физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

## Введение

Для различных областей современной науки и техники характерно большое многообразие измерительных задач, связанных с необходимостью проведения измерений уровня разнообразных жидких сред. В настоящее время существуют более двадцати различных способов измерения уровня жидких сред [1]. Так, например измерение уровня требуется в большинстве интеллектуальных систем экологического мониторинга и безопасности, в современных производственных процессах, а также при контроле массы и расхода жидких сред на этапе их транспортировки или в процессе хранения. При этом по мере повышения степени автоматизации производственных процессов и современных систем контроля актуальность измерения уровня жидких сред возрастает. Как правило, в большинстве практических приложениях требуется не только измерять не только уровень жидкой среды, но и положение границы раздела между слоями, если жидкая среда является многокомпонентной. Примером такой многокомпонентной среды может, например, служить нефть/подтоварная вода в отстойных резервуарах. Следует отметить, что большинство современных практических подходов для измерения границы раздела двухслойной жидкости оказываются непригодными. Так, например ряд методов измерений могут работать только в том случае, если контролируемая жидкая среда является прозрачной. Поэтому возникает задача рассмотрения иных технических решений к измерению уровня и границы раздела двухслойной жидкой среды. В настоящее время наиболее широкое применение для измерения уровня жидких сред получили ёмкостные датчики измерения уровня [3]. Принцип действия ёмкостного уровнемера основан на зависимости электрической ёмкости конденсаторного преобразователя образованного, например, при помощи двух пластин, которые частично введены в измеряемую среду от высоты уровня жидкости. В данной статье рассматривается метод измерения, который основан на применении ёмкостных датчиков уровня.

## Описание метода

Рассматриваемый метод измерения уровня и границы раздела между слоями жидкой среды описывает измерительную систему, состоящий из трех ёмкостных преобразователей в виде плоских конденсаторов. Отметим, что электрический конденсатор представляет собой систему, которая состоит из двух проводников, которые разделены слоем диэлектрика. Значение электрической ёмкости конденсатора  $C$  для случая плоскопараллельного расположения измерительных электродов можно определить с помощью следующего математического выражения:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость межэлектродной среды;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $S$  – площадь электродов конденсатора;  $d$  – расстояние между электродами конденсатора.

Каждый из трёх датчиков уровня при этом подключается к отдельному измерительному каналу. Возможные взаимное расположение и размеры чувствительных элементов датчиков показаны на рис. 1.

Допустим, имеется резервуар с двухслойной жидкой средой. При этом двухслойная жидкость занимает полностью весь объём резервуара (рис. 2). В этом случае задача измерения уровня границы раздела сред сводится к применению трех ёмкостных датчиков уровня. Предположим, что граница раздела двух сред проходит через измерительные электроды датчика  $C2$  (рис. 2). Примем, что начало координат находится в верхней граничной плоскости резервуара.

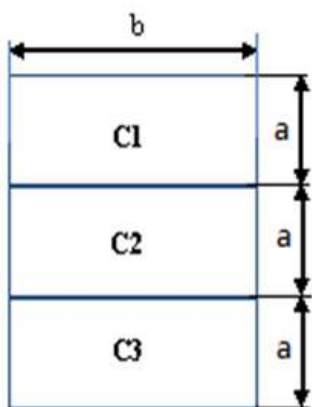


Рис. 1. Расположение и размеры ёмкостных датчиков уровня

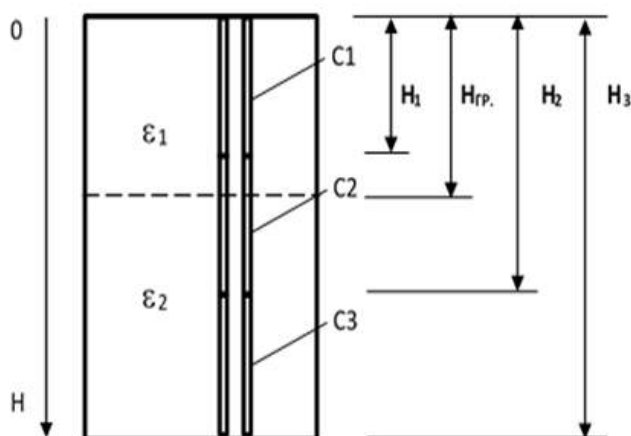


Рис. 2. Резервуар с тремя ёмкостными датчиками уровня

По выражению (1) найдем ёмкости для каждого из трёх датчиков. Ёмкость первого датчика запишем в виде:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot H_1 \cdot b}{d}. \quad (2)$$

Ёмкость второго датчика запишем в виде:

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot b \cdot (H_{\text{гр}} - H_1)}{d} + \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b \cdot (H_2 - H_{\text{гр}})}{d}. \quad (3)$$

Ёмкость третьего датчика запишем в виде:

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot H_3 \cdot b}{d}. \quad (4)$$

Из выражений (2) и (4) запишем значения относительных диэлектрических проницаемостей  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ :

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot H_3 \cdot b}{d}, \quad (5)$$

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot H_3 \cdot b}{d}. \quad (6)$$

Подставив все полученные выражения для  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  в выражение (3), получаем выражение для значения уровня границы раздела двух сред:

$$H_{\text{гр}} = \frac{H_1}{C_1 - C_3} \cdot (C_2 - 2 \cdot C_3 + C_1). \quad (7)$$

Таким образом, в любой момент времени известны относительные диэлектрические проницаемости обоих слоев среды и уровень границы раздела двухслойной жидкости.

### **Моделирование работы метода с тремя ёмкостными датчиками**

Рассмотренный метод измерения границы раздела между двумя слоями жидкой среды был смоделирован в пакете MathCad со следующими начальными условиями:

- высота резервуара 0,6 м;
- высота каждого ёмкостного датчика уровня 0,2 м;
- площадь электродов ёмкостного датчика 0,06 м<sup>2</sup>;
- относительная диэлектрическая проницаемость первого слоя 2;
- относительная диэлектрическая проницаемость второго слоя 81.;

Положение границы раздела слоев жидкости задавалось выражением:

$$H_{\text{гр}} = 0,25 + 0,10 \cdot (\sin(0,003 \cdot t) + 0,4 \cdot \cos(0,004 \cdot t)), \quad (8)$$

где  $t$  – время, с.

На рис. 3–4 представлены графики результатов моделирования.

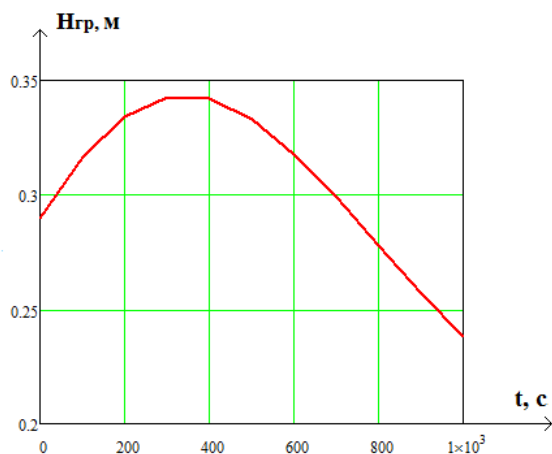


Рис. 3. Положение границы раздела между слоями

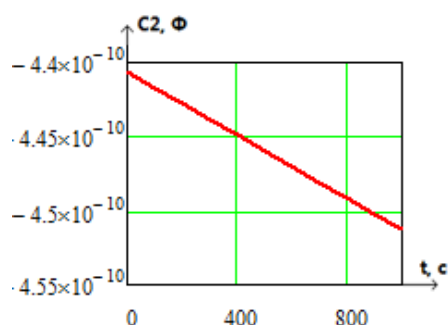


Рис. 4. Зависимость уровня второго датчика от ёмкости

### Вывод

В статье рассмотрен способ измерения уровня границы раздела между двумя слоями жидкой среды и приведены результаты математического моделирования.

### Список информационных источников

1. Якшигильдина Р.И. Анализ методов и средств измерения уровня жидких сред: дипломный проект, Томск. – 2016.
2. Бобровников Г.Н., Катков А.Г. Методы измерения уровня. – М.: Машиностроение, 1977. – 168 с.
3. Ма Синсин, Степанов А.Б. Методы измерения уровня и границ раздела многофазных жидких сред // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI научно-практической конференции. – Томск, – 2015. – С. 65–69.