II. ИННОВАЦИОННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

УДК 621.317
ББК 34

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ

П.И. Артамонов, Б.Л. Свистунов, А.А. Джежора, Д.А. Васильев

A DEVICE OF MEASURING OF LEVEL OF LIQU ID IS IN A RESERVOIR

P.I. Artamonov, B.L. Swistunov, A.A. Gejora, D.A. Vasilev

Аннотация. Рассмотрены результаты разработки устройства измерения уровня жидкости в резервуаре с применением оригинального цилиндрического емкостного датчика и специально разработанного вторичного преобразователя «емкость – частота импульсов». Данная подсистема ИИУС апробируется в производственных условиях.

Ключевые слова: датчик, преобразователь, уровень, частотный сигнал.

Abstract. The results of development of device of measuring of level of liquid in a reservoir with the use of original cylindrical capacity sensor and specially developed second transformer are considered In the article « capacity-frequency of impulses» This subsystem of IIUS is approved in production terms.

Keywords: sensor, transformer, level, frequency signal.

Устройство измерения уровня жидкости в резервуаре разрабатывалось по заказу ООО «Электромир» (г. Пенза) для решения задач, поставленных ОАО «Транснефть – Дружба 2» и связанных с мониторингом уровня технологических жидкостей в аварийных резервуарах.

В настоящее время для этой цели используются трехпозиционные датчики-сигнализаторы типа ВБ фирмы «Овен», не обеспечивающие

требуемую полноту информации о состоянии резервуаров и, как следствие, недостаточную оперативность управления системой в целом.

Установленные на отдельных резервуарах в порядке опытной эксплуатации комплексы «Датчик ДНЕ (датчик наполнения емкостной двухэлектродный) – вторичный преобразователь ПВ-СУ-201» характеризуется высокой технологичностью, надежностью, широким диапазоном температур контролируемой жидкости (-55…+150 °С). Вторичный преобразователь осуществляет преобразование емкости датчика ДНЕ в аналоговый токовый сигнал 4…20 мА.

Вместе с тем используемый комплекс не вполне устраивает заказчика по быстродействию (время отклика $\tau \geq 1$ с), по точности (погрешность по уровню около 5 %). Важнейшим требованием является возможность передачи измерительной информации на большие расстояния центральному диспетчерскому пункту.

В качестве сенсора было предложено оставить емкостной датчик ДНЕ-3КО15-110К20, для диэлектрических жидкостей с ε от 1,5 до 10 с чувствительным элементом в виде неизолированного жесткого стержня диаметром 8 мм из нержавеющей стали, коаксиально расположенный в трубе диаметром 42 мм, также выполненной из нержавеющей стали. Длина электродов 1,5 м.

Емкость датчика зависит от длины чувствительного элемента L, диэлектрической проницаемости заполняющей резервуар жидкости ε, а также отношения диаметров внешнего и внутреннего коаксиальных электродов датчика D/d. В незаполненном состоянии емкость определяется в соответствии с выражением

$$C = C_0 + \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln D/d},$$

где ε_0 – электрическая постоянная; ε – диэлектрическая проницаемость (для воздуха ε=1, для трансформаторного масла $\varepsilon_{\text{см}}$=2,2), L – длина датчика, d – диаметр чувствительного элемента, C_0 – начальная емкость; для данной конкретной установки C_0 может считаться постоянной. При заполнении резервуара маслом до высоты, например, h емкость датчика увеличивается на величину ΔC:

$$\Delta C = \frac{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon - 1)h}{l_n \, l/d}, \qquad (1)$$

которая прямо пропорциональна искомой величине h. В (1) l – расстояние от стенки резервуара. В условиях поставленной задачи для электрода ЕД, установленного по производственным условиям на расстоя-

нии l=250 мм от стенки резервуара, емкость C_0 имеет порядок 30 пФ, а чувствительность составляет примерно 10 пФ/м.

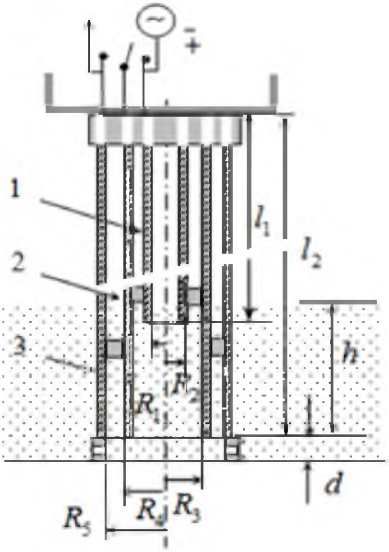
Для повышения чувствительности, уменьшения влияния загрязнения рабочих поверхностей использована структурная избыточность в самой конструкции датчика. В качестве чувствительного элемента применены коаксиальные цилиндры. Емкость каждого датчика изменяется по выражению (1), но с разными значениями l/d. Совместное решение уравнений преобразования для $\Delta C_1(l/d)$ и $\Delta C_2(l/d)$ позволяет устранить влияние неинформативных параметров, в том числе – диэлектрической проницаемости в жидкости [1].

Проблема также заключается в том, что реальная эквивалентная схема емкостного датчика ЭС ЕД включает в себя сопротивление утечки, которым в рассматриваемом случае пренебречь нельзя. В действительности эквивалентная схема датчика представляет собой как минимум двухэлементную параллельную RC электрическую цепь, где активное сопротивление соответствует сопротивлению продукта (заполняющей жидкости). Последнее нелинейно зависит от температуры и вида жидкости, что существенно ограничивает возможности мониторинга, прежде всего в части сравнения результатов контроля уровня в различных резервуарах с разными жидкостями (или жидкостями одного типа, но с разным уровнем влажности и загрязнения). Таким образом, главной задачей при разработке, вытекающей из требований технического задания, явилось обеспечение преобразования емкости датчика (как информативного параметра) в унифицированный сигнал при существенном снижении влияния на результат преобразования активного сопротивления продукта (как неинформативного в данном измерительном эксперименте параметра).

В качестве приема, обеспечивающего дополнительную возможность метрологического самоконтроля, может быть использован вспомогательный электрод дискретного типа, который дает сигнал при достижении уровня жидкости определенных фиксированных значений. Эти сигналы составляют «линейку» опорных значений; сравнивая значения уровня, получаемые с помощью основного датчика, можно осуществлять метрологический контроль ИП и коррекцию его функции преобразования. Введение избыточности по предлагаемому алгоритму позволяет, в частности, компенсировать влияние сложности продукта. Важной проблемой является налипание заполняющего резервуар вещества на электроды датчика. Это приводит также к изменению электрических параметров ЭС ЕД – емкости и сопротивления. Для устранения влияния емкости загрязнения может быть использована дополнитель-

ная структурная и/или временная избыточность. В частности, можно использовать разность значений уровня в двух точках диапазона.

Одно из направлений, в которых предполагается осуществлять дальнейшие исследования и разработки, заключается в использовании емкостных датчиков [2] в виде свернутого в трубку накладного конденсатора (рисунок). Такая конструкция обеспечивает устранение кумулятивного эффекта, производит демпфирование колебаний контролируемой жидкости, обладает жесткостью, не требует разборки для очистки рабочих поверхностей.



Вид сечения цилиндрического ЕД

Установлено [3], что существуют оптимальные размеры ЕД, при которых изменение емкости, вызванное заполнением преобразователя контролируемой жидкостью, максимально. Рассматривали преобразователи с ЕД размерами: R_0=12,5 мм, R_1=10,5 мм, $R_2 = R_1 - d$ =10,48 мм, R_3=8,0 мм, у которых подложка и изоляция выполнены из полипропилена (ε_1=2,4), число секций варьировали от 2 до 8. В случае заполнения преобразователя маслом (ε_2=2,2) максимальное изменение емкости наблюдается при отсутствии слоя изоляции, при числе секций n=6. Наличие слоя изоляции на поверхности электродов датчика приводит к смещению максимумов в область меньшего числа секций.

Библиографический список

1. Артамонов П.И., Свистунов Б.Л. Использование структурно-алгоритмической избыточности в измерительных преобразователях физических величин // Приборостроение-2013 : сб. науч. тр. / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2013. – С. 215–220.

2. Джежора А.А., Рубаник В.В., Савчук В.К. Электроемкостной датчик уровня жидких сред // Датчики и системы. – 2009. – №8. – С. 91–93.

3. Джежора А.А. Цилиндрический электроемкостной датчик уровня // Датчики и системы. – 2010. – №9. – С. 7–11.

Артамонов Павел Игоревич
Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия
E-mail: sbl@penzgtu.ru

Artamonov Paul Igorevich
Penza State Technological U niversity, Penza, Russia

Свистунов Борис Львович
Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия

Swistunov Boris Lwovich
Penza State Technological University, Penza, Russia

Васильев Дмитрий Александрович
Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия
E-mail: sbl@penzgtu.ru

Vasilev Dmitry Aleksandrovich
Penza State Technological University, Penza, Russia

Джежора Александр Андреевич
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

Gejora Alexander Andreevich
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus