

Совершенствование технологии изготовления первичных преобразователей для неинвазивного (бесконтактного) ультразвукового метода измерения уровня жидкости в закрытых резервуарах

О.М. Качанов
генеральный директор¹
info@tehnoavtomat.ru

¹ООО «НПП-Техноавтомат», Энгельс, Россия

В статье рассмотрены технологические аспекты повышения стабильности характеристик первичных ультразвуковых преобразователей.

Материалы и методы

Лабораторные эксперименты и промышленные испытания.

Ключевые слова

ультразвуковая техника, неинвазивный контроль, температурная стабильность

Неинвазивный ультразвуковой метод контроля уровня жидкости в закрытых резервуарах предполагает использование первичных преобразователей наружной установки на внешних стенках резервуаров. Как правило, резервуары технологических аппаратов работают с суровых климатических условиях в широком температурном диапазоне ($-50^{\circ}\text{C} \div +50^{\circ}\text{C}$), что в свою очередь накладывает особые требования к температурной стабильности их характеристик. Одним из путей решения проблемы повышения температурной стабильности и точности результатов измерений при неинвазивном ультразвуковом методе контроля уровня, в частности, в приборе «Рубин-1М», является использование не прямого метода измерения амплитуд сигналов, а отношение энергетических характеристик некоторых из них. Данный способ и его реализация устройством защищены патентом и описан в статье [1,2]. Однако остается технологический аспект изготовления самих первичных преобразователей, построенных на пьезоэлектрических преобразователях (ПЭП). Производители ПЭП не приводят температурных зависимостей их параметров, а лишь указывают

температурный диапазон, в котором гарантируются основные их значения. Тем не менее, как показала практика, эти характеристики имеют достаточный разброс и, кроме этого, элементы конструкции вносят свою дополнительную составляющую в общую передаточную характеристику преобразователя, увеличивая технологический разброс ее значений. Один из существенных факторов этого разброса является появление температурного гистерезиса. На рис. 1 представлен характер такой зависимости, на котором штрих-пунктиром выделены разные циклы нагрева/охлаждения первичного преобразователя. Начало цикла представлено сплошной линией, завершение цикла — штрихпунктирной. Эта зависимость характеризуется общей нелинейностью, относительной устойчивостью и меньшей нелинейностью в диапазоне от -50°C до $+20^{\circ}\text{C}$, завалом характеристики (спад) в диапазоне $+20^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$, общим температурным разбросом (неповторяемость) и некоторым трендом постепенного снижения коэффициента передачи от цикла к циклу («старение») при начальных испытаниях. Проведенные исследования и испытания первичных ультразвуковых

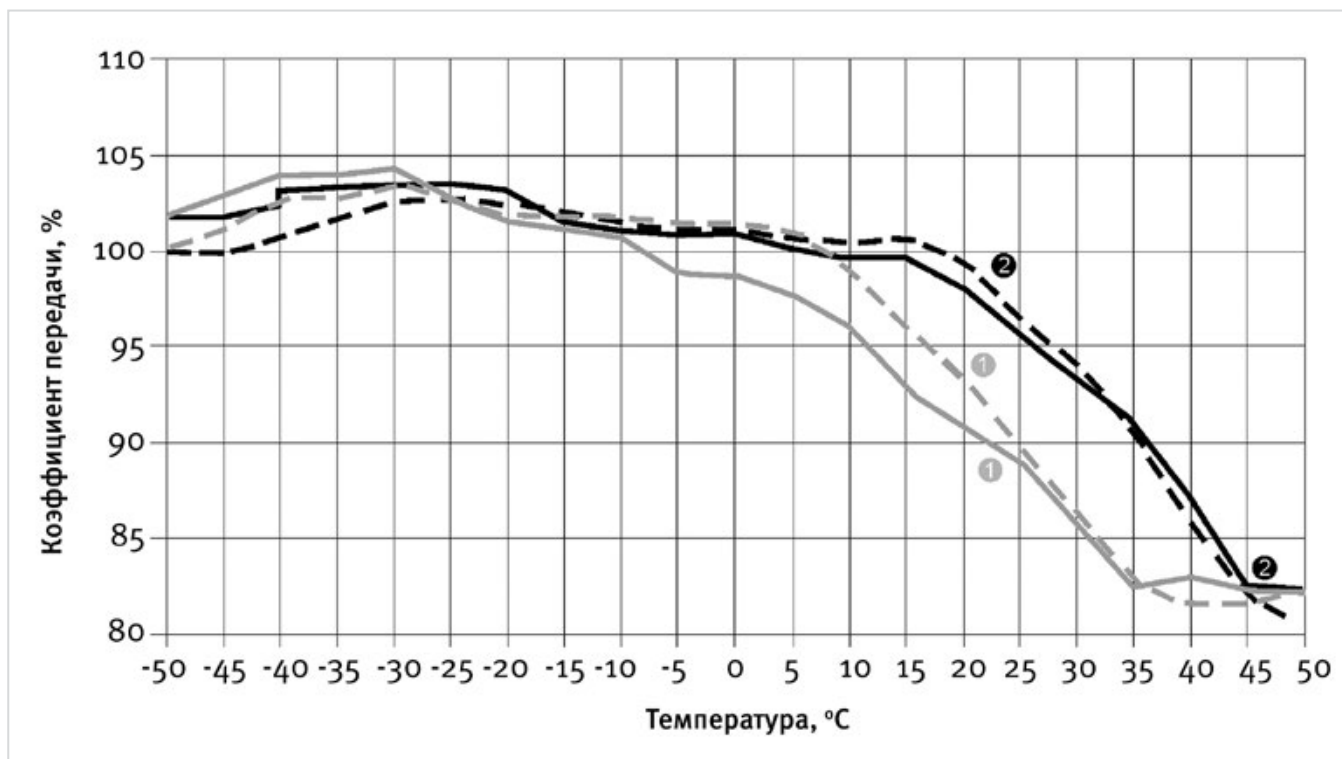


Рис. 1

преобразователей были направлены на выявление элементов конструкций, применяемых материалов и технологических режимов их сборки, позволяющие найти оптимальное решение, снижающее до приемлемого уровня влияние фактора технологического разброса и температуры на их передаточную характеристику. В испытаниях использовались прямой контактный тип конструкции преобразователя. В качестве ПЭП использовались различные, наиболее распространенные сегнетоэлектрические материалы (ЦТС-керамика), которые отличаются от других составов более высокими пьезоэлектрическими коэффициентами и точкой Кюри. Использовались следующие марки отечественных производителей: ЦТБС-8, ЦТБС-19, ЦТСС-3, ПКВ-460 и зарубежных — Туре-850. Протектором в конструкции являлось стальное дно держателя-стакана, в который помещался ПЭП. В качестве изолирующей прокладки между ПЭП и дном стакана выбирались тонкие пластины из стекла и полимерной пленки полиэтилентерефталат-электроизоляционный (ПЭТэ), материалом демфера служил герметик с полимером. Элементы конструкции склеивались эпоксидной композицией с тарированным усилием прижатия и последующей сушкой по техпроцессу.

В данном методе используется пара отдельных преобразователей (излучатель — приемник). Исследования проводились с одним и тем же излучателем, поэтому передаточную функцию двойного преобразования $K=K_{\text{и}} K_{\text{п}}$, можно представить как $K=a \cdot K_{\text{п}}$

где $K_{\text{и}}$ — передаточная функция излучателя
 $K_{\text{п}}$ — передаточная функция приемника
 a — постоянный коэффициент.

Тогда передаточную функцию преобразователя, в том числе приема, можно представить в виде

$$K_{\text{мR}} = X_{\text{мR}} + Y_{\text{мR}} = |K_{\text{мR}}| e^{-i\varphi_{\text{мR}}}$$

где $X_{\text{мR}}$, $Y_{\text{мR}}$ — вещественные и мнимые части передаточной функции $K_{\text{мR}}$;
 $|K_{\text{мR}}| = \sqrt{X_{\text{мR}}^2 + Y_{\text{мR}}^2}$ — модуль передаточной функции;
 $\varphi_{\text{мR}} = \arctg(X_{\text{мR}}/Y_{\text{мR}})$ — фазовая характеристика передаточной функции

Экспериментально установлено, что с материалом и толщиной изолирующей прокладки связано наибольшее влияние на температурную нестабильность фазовой составляющей передаточной функции. Нестабильность же модуля этой характеристики связано с материалом ПЭП. Наиболее оптимальным сочетанием элементов конструкции является применение ЦТБС-8 с изолирующей прокладкой из ПЭТэ толщиной 125 мкм. Конструкция с такими элементами позволяет добиться технологического и температурного разброса передаточной функции преобразователя во всем рабочем диапазоне температур в пределах 25%, а в суженном диапазоне от -50°C до +20°C не более 15%. Это вполне допустимый разброс, который затем компенсируется аппаратными методами, используемые в устройстве «Рубин-1М». Стеклопленочная прокладка обеспечивает приемлемый разброс только в суженном температурном диапазоне. Применение других ПЭП в такой конструкции дает худшие результаты. Разброс может достигать до 50%.

Итоги

Представлены результаты экспериментальных исследований по технологической

отработке конструкции первичных преобразователей прямого контактного типа для устройства неинвазивного контроля уровня жидкости в закрытых резервуарах.

Выводы

1. Установлены оптимальные элементы конструкции преобразователей и их параметры, позволяющие обеспечить приемлемый уровень технологического разброса общей передаточной характеристики преобразователя во всем рабочем температурном диапазоне.
2. Применение пленки ПЭТэ повышает технологичность изготовления первичного преобразователя и улучшает качество сборки, что дает существенное снижение себестоимости продукции.

Список используемой литературы

1. Токарев В.Г., Качанов О.М., Куреньков А.И., Романов А.В., Романов М.В. Патент №2437066 от 20.12.2011. Способ ультразвукового контроля уровня жидкости в резервуарах и устройство для ультразвукового контроля уровня жидкости в резервуарах.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М.: Издательство иностранной литературы, 1956.

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

Improving the technology of sensors for non-invasive (non-contact) ultrasonic method of measuring the liquid level in closed tanks

UDC 681.2

Authors:

Oleg M. Kachanov — general director¹; info@tehnnoavtomat.ru

¹LLC "NPP-Tehnnoavtomat, Engels, Russian Federation

Abstract

The article describes the technological aspects of increasing the stability of the primary characteristics of ultrasonic transducers.

Materials and methods

Laboratory experiments and commercial tests.

Results

The results of experimental studies on working out the design process

of the primary transmitters of direct contact type of non-invasive device for monitoring levels in closed containers.

Conclusions

1. Optimal design elements converters and options that allow you to provide an acceptable level of overall process variation of the transfer characteristics of the converter over the entire operating temperature range.

2. The use of Polyethylene terephthalate film for electrical insulation improves manufacturability primary converter and improves the quality of the assembly, which provides a significant reduction in production costs.

Keywords

ultrasonic technique, noninvasive monitoring, temperature tests

References

1. Tokarev V.G., Kachanov O.M., Kurenkov A.I., Romanov A.V., Romanov M.V. Patent RU №2437066 (20.12.2011) "Method of

ultrasonic control of liquid level in tanks and the device for ultrasonic control of liquid level in tanks".

2. Bergman L. Ul'trazvuk i ego primeneniye

v nauke i tekhnike [Ultrasound and its application in science and technology]. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1956.