

УДК 681.128.82, 53.088.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ, ОСНОВАННОГО НА СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ОТРАЖЕННОГО ОТ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА

А.В. Солнцева

г. Самара, «Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский
университет)»

Методы акустического контроля уровня заполнения резервуаров жидкими продуктами хорошо известны. Большинство из них основывается на определении времени распространения зондирующего сигнала от акустического датчика до контролируемой среды и обратно. В [1] описан метод контроля уровня, сущность которого состоит в том, что производится преобразование Фурье зондирующего и отраженного от контролируемой среды импульсов, разложение полученных спектральных плотностей на амплитудные и фазовые составляющие, выделение отсчетов фазовых составляющих на выбранной частоте и вычисление уровня границы раздела сред по выражению:

$$H = \frac{c_l}{2\omega} (\varphi(0, \omega) - \varphi(2H, \omega)),$$

где H – искомый уровень наполнения резервуара,

c_l – скорость звука в среде распространения зондирующего сигнала,

ω – частоты выборки,

$\varphi(0, \omega)$, $\varphi(2H, \omega)$ – фазовые составляющие спектральных плотностей зондирующего и отраженного акустических сигналов, соответственно.

Из дополнительных погрешностей температурная погрешность оказывает наибольшее влияние на точности производимых измерения. Дополнительные погрешности вызваны отклонением реальных условий эксплуатации от идеальных. Методика измерения уровня предполагает представление скорости звука в среде c_l полиномиальной зависимостью относительно ее плотности, простейшим случаем из которых является полином первой степени:

$$H = \frac{\varphi}{2\omega} \sum_{k=0}^n a_k \rho_l^k \approx \frac{\varphi}{2\omega} (a_0 + a_1 \rho_l).$$

Известно, что зависимость плотности от температуры определяется выражения (формула Менделеева) [2]:

$$\rho_4^{20} = \rho_4^\theta + \gamma(\theta - 20) \quad (3)$$

где ρ_4^θ - относительная плотность при температуре измерения,

γ - средняя температурная поправка плотности на 1°C,

θ - температура, при которой проводится измерение.

В более широком интервале температур, т. е. до 300 °С, и с погрешностью до 3% зависимость плотности от температуры рассчитывается по уравнению А. К. Мановяна:

$$\rho_4^\theta = 1000\rho_4^{20} - \frac{0,58}{\rho_4^{20}}(\theta - 20) - \frac{|\theta - 1200(\rho_4^{20} - 0,68)|}{1000}(\theta - 20)$$

Обобщая (3), можно записать

$$\rho_\theta = \rho_0 - \gamma(\theta - \theta_0), \quad (5)$$

где ρ_θ - относительная плотность при температуре измерения θ ,

ρ_0 - относительная плотность при температуре θ_0

γ - средняя температурная поправка плотности на 1°C [12],

θ_0 - нормальная температура, как правило, $\theta_0=20^\circ\text{C}$.

Тогда уровень жидкости при температуре θ определится по формуле:

$$H_\theta = \frac{\varphi}{2\omega} \sum_{k=0}^n a_k (\rho_{1\theta})^k = \frac{\varphi}{2\omega} \sum_{k=0}^n a_k [\rho_{10} - \gamma(\theta - \theta_0)]^k \quad (6)$$

Абсолютная температурная погрешность измерения уровня:

$$\delta H_\theta = H - H_\theta = \frac{\varphi}{2\omega} \left[\sum_{k=0}^n a_k (\rho_{10})^k - \sum_{k=0}^n a_k [\rho_{10} - \gamma(\theta - \theta_0)]^k \right] \approx \frac{\varphi}{2\omega} a_1 \gamma (\theta - \theta_0). \quad (7)$$

Последнее приближённое равенство получилось при $k=1$. Средняя температурная поправка рассчитывается исходя из плотности контролируемого продукта при 20°C, для отдельных значений плотностей сред графики изменения абсолютной погрешность измерений уровня в зависимости от температуры жидкого энергоносителя приведены на рисунке 1.

Отметим, что при изменении температуры уровень реально изменяется по двум причинам: изменяются размеры (объём) самого резервуара, изменяется объём жидкости. Поэтому не совсем корректно ставить вопрос о погрешности измерения уровня от температуры. Разработанный импульсный уровнемер работает по принципу отражения сигнала от того уровня, который имеет место быть при данной температуре. Поэтому выражение (7) показывает изменение показаний прибора при условии, что размеры бака и объём жидкости не изменяются от температуры.

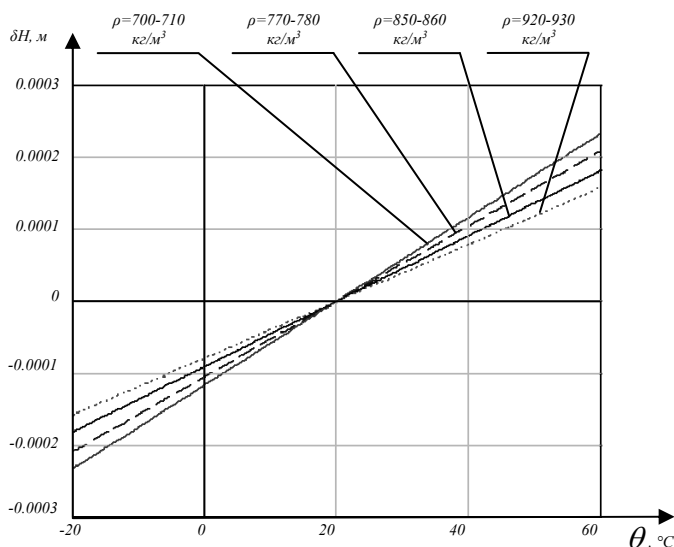


Рисунок 1 - Зависимость абсолютной погрешности измерения уровня от температуры контролируемого продукта для различных значений плотности

В статье приведены результаты исследования температурной погрешности измерений и получена зависимость абсолютной погрешности измерения уровня от температуры контролируемого продукта для различных значений плотностей.

В процессе измерения производится определение текущего уровня наполнения резервуара, для сравнения значений с паспортными производится пересчет согласно полученным зависимостям.

Список использованных источников

1 Солнцева, А.В. Метод измерения уровня заполнения резервуара на основе спектрального анализа отраженного от контролируемой среды акустического импульса [Текст] / А.В.Солнцева, С.А.Борминский // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – С. 348-351.

2 Мановян А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: Учебное пособие для вузов. 2-е изд. [Текст] / А.К.Мановян. – М.: Химия, 2001. – 568 с.