

УДК 534.64

О. П. Богдан, канд. техн. наук, доц.

А. Р. Залалутдинова, студент

E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Исследование акустического импеданса растворов резонансным методом

В работе представлены результаты измерения акустического импеданса водных растворов глицерина и ацетона различной концентрации с помощью резонансного метода, основанного на изменении параметров электрической эквивалентной схемы пьезопластины, нагруженной на воздух, эталонную среду и раствор, и дальнейшем пересчете их с использованием электромеханических аналогий. Результаты измерения акустического импеданса растворов показали схожий характер зависимости от концентрации теоретической и экспериментальной кривых.

Ключевые слова: акустический импеданс, раствор, резонансный метод, пьезопластина, измерение, концентрация.

Введение

Различные растворы применяются повсеместно в промышленности (например, нефтегазовой, атомной и т. п.), дефектоскопии (магнитная, проникающими веществами), медицине, фармакологии и других областях. Помимо контроля концентрации растворенных веществ в растворах, необходимо контролировать качество как самих растворов, например сточных вод [1], так и отдельных компонентов, входящих в их состав. Существующие методы [1–7] не обладают достаточной универсальностью и применимы только либо для контроля определенных растворов [1–5], например, оптически прозрачных [2], либо для контроля конкретного вещества в нем [6], к тому же каждый из них имеет ряд своих недостатков.

Для оценки качества растворов перспективными являются методы, основанные на измерении их акустических свойств, например, акустического импеданса, скорости звука, затухания звука и др. Измерение акустического импеданса раствора позволяет определить не только качество раствора по его отклонению от истинного значения, но и другие физические свойства, знание которых может позволить расширить об-

ласть их применения, а также фиксировать их изменение в процессе эксплуатации раствора.

Целью работы является исследование возможности измерения акустического импеданса растворов различной концентрации с использованием резонансного метода.

Используемый подход

Для измерения акустического импеданса исследуемых растворов используется резонансный метод, основанный на измерении напряжения на резонансной частоте, снимаемого через сопротивление развязки с пьезопластины, поочередном нагружаемой на воздух, эталонную и исследуемую среды, представлении пьезопластины в виде электрической эквивалентной схемы и расчете импеданса с использованием электро-механических аналогий [8, 9]. Экспериментальная установка, реализующая данный метод, представлена на рис. 1.

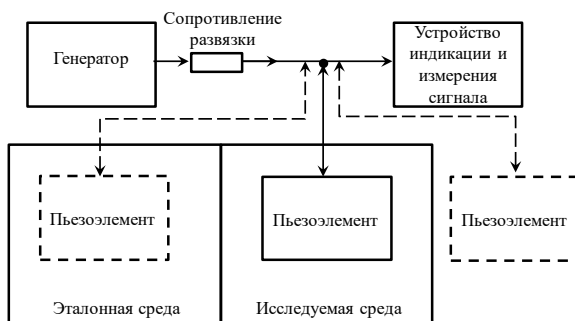


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Определение экспериментального значения акустического импеданса растворов $Z_{\text{эксп}}$ подробно описано в [6, 7].

Теоретическое значение акустического импеданса растворов $Z_{\text{теор}}$ определялось по формуле:

$$Z_{\text{теор}} = \sqrt{\frac{\rho}{C_V \beta + (1 - C_V) \beta_0}}, \quad (1)$$

где ρ – плотность раствора; C_V – объемная концентрация раствора; β – сжимаемость растворяемого вещества; β_0 – сжимаемость растворителя.

Результаты эксперимента и их обсуждение

С использованием резонансной методики измерен акустический продольный импеданс водных растворов глицерина и ацетона различной объемной концентрации C_V (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %), а также чистых глицерина и ацетона, что соответствует 100%-й концентрации, при следующих параметрах установки (рис. 1): напряжение генератора $U_{\Gamma} = 10$ В, сопротивление развязки $R_p = 200$ Ом, продольная пьезопластина ЦТС-19 размерами $20 \times 20 \times 1$ мм (электрическая емкость $C_1 = 5,8$ нФ), эталонная среда – вода ($Z_0 = 1,5 \cdot 10^6$ Па·с/м). Результаты измерения акустических импедансов водных растворов глицерина и ацетона различной концентрации показаны на рис. 2.

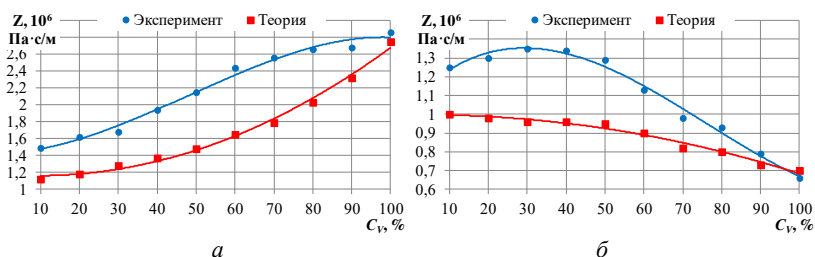


Рис. 2. Результаты измерения акустических импедансов Z водных растворов глицерина (а) и ацетона (б) различной концентрации C_V

На рис. 2, а показано изменение акустического импеданса водного раствора глицерина от объемной концентрации. При этом на графиках, соответствующих экспериментальным измерениям и теоретическому расчету по формуле (1), наблюдается рост акустического импеданса с увеличением концентрации, это связано с тем, что акустический импеданс чистого глицерина ($Z_{\text{табличное}} = 2,42 \cdot 10^6$ Па·с/м) больше, чем воды ($Z_{\text{табличное}} = 1,5 \cdot 10^6$ Па·с/м), следовательно, при увеличении доли глицерина в воде значение акустического импеданса их раствора также будет расти. Для водного раствора ацетона наблюдается обратная зависимость (рис. 2, б), т. к. чистый ацетон ($Z_{\text{табличное}} = 0,92 \cdot 10^6$ Па·с/м) имеет значение акустического импеданса меньше, чем у его растворителя – воды. Отличие экспериментального значения акустического импеданса растворов от теоретического может быть связано с отклонением свойств глицерина, ацетона и воды от табличных значений, что может быть обусловлено наличием примесей и поверхностно активных веществ, а так-

же погрешностями при измерении плотности раствора и при подготовке растворов.

Выводы

Результаты исследований показали возможность применения резонансного метода для измерения акустического импеданса растворов, что может позволить оценить их качество и другие физические свойства (скорость звука, упругие модули), а также метод может быть использован в качестве аналитического для проведения количественного анализа по определению концентрации растворенного вещества в растворе с помощью калибровочных графиков.

Список литературы

1. *Алексеев, В. А.* Интерполяционный контроль сточных вод / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 117–125.
2. *Нужин, А. В.* Оптический метод контроля неоднородности растворов по углу смачивания / А. В. Нужин, А. А. Слободянюк // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2005. – Т. 48, № 9. – С. 55–57.
3. *Копытков, В. В.* Метод контроля срока годности водных растворов полимеров / В. В. Копытков // Пластические массы. – 2007. – № 8. – С. 32–34.
4. 06.12-19И.215 Методы и средства контроля качества растворов // РЖ 19И. Общие вопросы химической технологии. – 2006. – № 12.
5. *Жданов, Д. Н.* Сорокин / Д. Н. Жданов // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 110–111.
6. *Жданов, Д. Н.* Оптико-электронная система контроля биологической активности растворов ионного серебра / Д. Н. Жданов // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 99–102.
7. *Корепанов, М. А.* Идентификация виртуальных аналогов жидких ракетных топлив / М. А. Корепанов, С. Н. Храмов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 49–56.
8. Методика и устройство для экспериментальной оценки акустического импеданса вязкоупругих сред / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, Д. В. Злобин, О. П. Богдан, В. Н. Сяктерев, В. В. Волков // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 314–326.
9. Пат. RU 2672774 С1. Способ измерения акустического импеданса среды и устройство для его осуществления / Муравьева О. В., Злобин Д. В., Богдан О. П., Муравьев В. В. № 2017125620 ; заявл. 17.07.2017 ; опубл. 19.11.2018.

O. P. Bogdan, CSc in engineering, associate professor

A. R. Zalalutdinova, student

E-mail: pmkk@istu.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Investigation of the Acoustic Impedance of Solutions by the Resonant Method

The paper presents the results of measuring the acoustic impedance of aqueous solutions of glycerol and acetone of different concentrations using a resonant method based on changing the parameters of the electrical equivalent circuit of a piezo plate loaded on air, a reference medium, and a solution, and then recalculating them using electromechanical analogies. The results of measuring the acoustic impedance of solutions showed a similar nature of the dependence on the concentration of the theoretical and experimental curves.

Ключевые слова: acoustic impedance, aqueous solution, resonant method, piezo plate, measurement, concentration.