

УДК 538.9

Булавин Л.А., Николаенко Т.Ю.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко. Украина, Киев

РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД И УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХФАЗНЫХ ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ

Анотація

Запропоновано методику вимірювань та схему автоматизованої експериментальної установки для неперервного вимірювання реологічних властивостей рідинних систем в процесі фазових перетворень.

Abstract

The measurement technique and the base of experimental setup for fluid systems rheological properties determination are described. The main feature of the technique proposed is its suitability for performing continuous measurements during a phase transition.

Измерение реологических свойств (например, вязкости) жидкостных систем в процессе фазовых превращений позволяет получать ценную информацию о структуре этих объектов. С этой целью широко применяются, в частности, резонансные методы. Однако известные резонансные методы [1, 2] измерения вязкости оказываются неприменимы в случае, когда образец изменяет в ходе эксперимента свое фазовое состояние. В данной работе предложен метод измерений, свободный от этого ограничения, и конструкция экспериментальной установки (рис. 1) для его реализации.

Исследуемую жидкостную систему 1 помещают в тонкостенную трубку 2 из упругого материала; один из концов трубки фиксируют держателем 3, а другой оставляют свободным, позволяя трубке совершать поперечные колебания. Суть метода измерения, реализуемого с помощью предложенной установки, состоит в определении резонансных характеристик (основной собственной частоты ω_0 и коэффициента затухания β) образованной колебательной системы и последующем расчете на их основе реологических свойств исследуемой жидкостной системы 1.

Преимуществом такого метода определения реологических свойств является одинаковая его пригодность для исследования образца как в жидкой, так и твердой фазе. Кроме того, для исследований достаточно небольшого (единицы см³) объема вещества, а поскольку образец находится в закрытой трубке, то предлагаемый метод применим для исследования летучих и/или токсичных веществ.

Для возбуждения колебания свободного конца трубки на нем закреплена проволочная рамка 4, нижнее (на рис. 1) ребро которой помещено в магнитное поле B постоянного магнита (изображен пунктиром). Рамка 4 соединена тонкими гибкими проводниками с генератором переменного тока 5, частота ω которого задается с ПЭВМ 6. При прохождении по рамке 4 переменного тока на нее со стороны магнитного поля действует периодическая во времени сила частоты ω , возбуждающая колебания свободного конца трубки в вертикальной плоскости.

Для измерения амплитуды колебаний служит катушка 7, закрепленная на свободном конце трубки и подключенная к генератору переменного тока высокой частоты 8. По обе стороны от катушки 7 на одинаковом расстоянии от нее закреплены неподвижно катушки 9 и 10. Они образуют дифференциальный датчик смещения: соответствующий расчет показывает, что разность индуцируемых в катушках 9 и 10 э.д.с. пропорциональна (при малых смещениях) отклонению свободного конца трубки от положения равновесия. Сигнал от катушек 9 и 10 подается на линейный аудио-вход ПЭВМ 6, программное обеспечение которой вычисляет по полученным данным амплитуду колебаний a .

Измерение амплитуды a производится автоматизировано для ряда различных частот ω , а полученные результаты аппроксимируются зависимостью

$$a(\omega) = \frac{a_0}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}}$$

в результате чего определяются параметры ω_0 (частота собственных колебаний) и β (коэффициент их затухания).

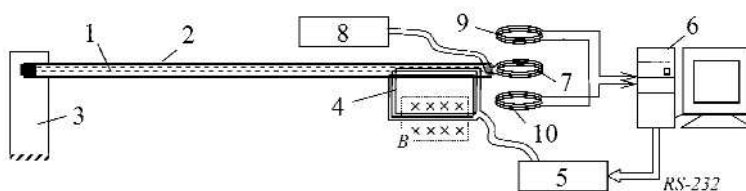


Рис. 1. Схема установки

Такие измерения проводятся сначала для пустой трубки 2, а затем — для той же трубки, заполненной исследуемым веществом 1. Искомая вязкость η жидкостной системы определяется по полученным ω_0 и β на основании численного решения уравнений теории вязко-упругости для жидкости в трубке заданных геометрических размеров.

Для исследования фазовых переходов в жидкостной системе 1, рабочий участок помещают в термостат и проводят измерения и обработку зависимости $a(\omega)$ для ряда температур из диапазона, включающего температуру фазового перехода.

Генераторы переменного тока 5 и 8 выполнены в виде единого электронного устройства, блок-схема которого представлена на рис. 2.

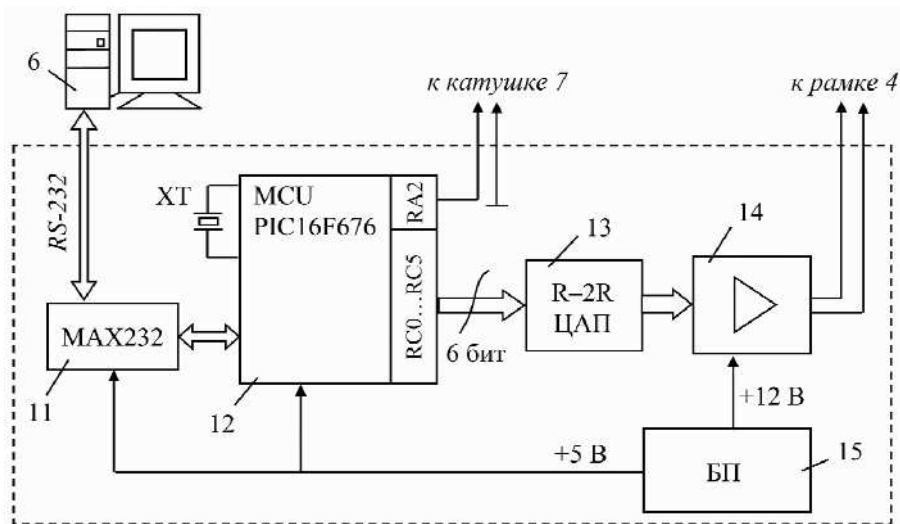


Рис. 2. Блок-схема электронной части предлагаемой автоматизированной установки

Микроконтроллер 12 (PIC16F676 [3]), работая под управлением специально разработанной программы, формирует на выходе RA2 прямоугольные импульсы фиксированной частоты 8 кГц, а на выходах RC0-RC5 — дискретное 6-разрядное представление сигнала треугольной формы, период которого задается с ПЭВМ 6 по интерфейсу RS-232. Сигнал с выхода RA2, обладая достаточной мощностью, поступает непосредственно на катушку 7 дифференциального датчика смещения. Цифровой сигнал, формируемый на выходах RC0-RC5 микроконтроллера, при помощи пассивного 6-разрядного R-2R ЦАП 13 преобразуется в аналоговый, после чего усиливается усилителем мощности 14 и поступает на рамку 4. Усилитель 14 выполнен на базе интегральной микросхемы TDA2005 [4], включенной по мостовой схеме.

Такое включение позволяет избежать использования разделительных конденсаторов на выходе усилителя (их наличие существенно бы понижало выходную мощность на низких (~10 Гц) частотах) и допускает использование однополярного источника питания 15; минимально допустимое сопротивление рамки 4 при таком включении составляет 4 Ом. Максимальная выходная мощность усилителя 14 равна 20 Вт.

Тактовая частота микроконтроллера 12 задается кварцевым резонатором XT и составляет 16 МГц. Для сопряжения уровней сигналов интерфейса RS-232 микроконтроллера и ПЭВМ использован преобразователь уровней 11, выполненный на микросхеме MAX232CP.

Экспериментальная апробация (измерение действительной и мнимой частей комплексного модуля Юнга льда в процессе его плавления, $-30^{\circ}\text{C} \div +18^{\circ}\text{C}$) показала, что описанная установка позволяет достичь точности 0,2% для частоты собственных колебаний и 6% для коэффициента их затухания.

Выводы

Разработан усовершенствованный резонансный метод и новая автоматизированная установка для его реализации, позволяющие определять реологические характеристики жидкостных систем, изменяющих свое фазовое состояние в процессе эксперимента, с точностью не хуже 6%.

Литература

1. Lakes R.S. Viscoelastic measurements techniques // Rev. Sci. Instrum. — 2004. — Vol. 75, № 4. — P. 797–810.
2. Bruschi L., Santini M. Vibrating wire viscometer // Rev. Sci. Instrum. — 1975. — Vol. 46, № 11. — P. 1560–1568.
3. PIC16F630/676 Data Sheet. 14-Pin FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers // Microchip Technology Inc. — 2003. — Режим доступа: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40039E.pdf>.
4. TDA2005. 20W BRIDGE AMPLIFIER FOR CAR RADIO. / STMicroelectronics. — 2003. — Режим доступа: <http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1451.pdf>.