

Применение гармонической модуляции в измерениях адиабатического термического коэффициента давления жидкостей

Л. А. БЛАГОНРАВОВ*, А. В. СОБОЛЕВА*, Д. А. ВАСИЛЬЕВ**,
О. О. КАРЧЕВСКИЙ***

* Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
e-mail: blagonravovla@mail.ru

** Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Москва, Россия,
e-mail: lightmage77@mail.ru

*** Объединенный торговый дом «Ясенево», Москва, Россия, e-mail: actors@mail.ru

Описана установка для измерений адиабатического термического коэффициента давления жидкостей в периодическом режиме. При этом модуляция давления в системе осуществляется при помощи устройства, позволяющего создавать колебания давления синусоидальной формы. Установка испытана на дистиллированной воде в температурном интервале 20—80 °С.

Ключевые слова: адиабатический термический коэффициент давления, температурный коэффициент линейного расширения, модуляционные методы, термодинамические свойства жидкости.

An installation for the measurement of adiabatic thermal pressure coefficient of liquids in periodic mode is described. At the same time the pressure modulation in the system is carried out by means of a device allowing to create the sinusoidal pressure oscillations. The installation testing was carried out on distilled water in temperature range 20—80 °C.

Key words: adiabatic thermal pressure coefficient, thermal expansion coefficient, modulation methods, thermodynamic properties of liquid.

Изучение фазовых переходов жидкость—жидкость требует применения методов, чувствительных к проявлению слабых аномалий на температурных зависимостях термодинамических параметров. К ним относятся методы измерений температурного коэффициента объемного расширения (ТКР), а также адиабатического термического коэффициента давления (АТКД) ν , являющегося производной, которая согласно формуле Томсона имеет вид

$$\nu = (1/T) (\partial T / \partial p)_S = \alpha_p / (c_p \rho), \quad (1)$$

где T — абсолютная температура; α_p — ТКР при постоянном давлении p ; c_p — удельная теплоемкость; ρ — плотность; S — энтропия.

В [1] предложена методика измерения АТКД жидкостей в периодическом режиме. В дальнейшем при помощи этой методики обнаружены черты аномального поведения АТКД жидкого цезия при 580 К. Аномалия проявилась в виде скачка, составившего 5 % измеряемой величины [2]. В [3] описана установка для реализации метода измерения ТКР с использованием двойной модуляции. Одним из недостатков примененных в [2, 3] методов является то, что колебания, создаваемые генератором периодической составляющей давления, довольно сильно отличаются от гармонических. В установке, использованной в [3], в колебаниях давления присутствовали 60 % второй и около 30 % третьей гармоник относительно первой. Это ограничивает точность измерения. Цель настоящей работы — проверка возможности выполнения точных измерений АТКД с применением модуля-

тора, позволяющего создавать в жидком образце колебания давления, близкие по форме к синусоидальным (с минимальным содержанием гармоник).

Установка для измерений АТКД жидкостей модуляционным методом. Схема установки показана на рис. 1. Установка состоит из измерительной ячейки с исследуемым образцом 1, генератора периодической составляющей давления 2 и измерительного комплекса. Измерительная ячейка — металлический цилиндр, состоящий из стянутых тремя шпильками двух одинаковых частей, между которыми расположены уплотняющие фторопластовые кольцевые прокладки. Во избежание деформаций прокладок извне на них надевают металлическое кольцо с отверстиями для проводов горячего спая термпары, находящейся в центре ячейки, и провода которой пропущены между фторопластовыми прокладками. Температурный режим ячейки поддерживается жидкостным термостатом (термостатирующая жидкость пропускается через змеевик, намотанный вокруг ячейки).

Наиболее важным узлом установки является генератор 2, в дальнейшем называемый модулятором давления. На рис. 1 показано, что вращение эксцентрика вызывает при помощи шатуна периодические деформации пружины и это, в свою очередь, создает в сильфоне и гидравлической системе соответствующие колебания давления. Разность между максимальным и минимальным давлениями составляет 1 МПа. Сильфон можно считать практически недеформируемым вследствие несжимаемости жидкости. Вращение оси модулятора осуществляется электродвигателем 4 мощностью 250 Вт. Измеряемые величины — амплитуды колебаний давления и температуры образца. Напряжение, снима-

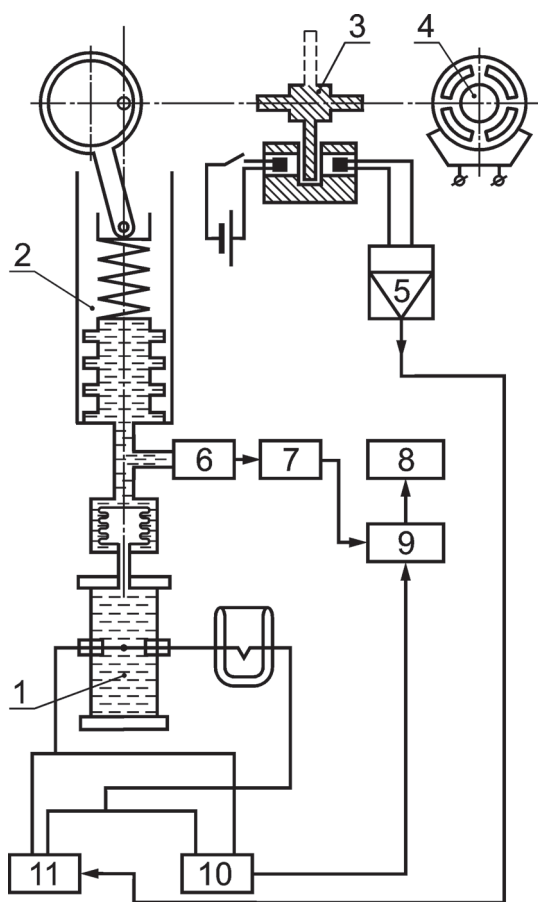


Рис. 1. Схема установки для измерений АТКД жидкостей:

1 — исследуемая жидкость; 2 — генератор (модулятор давления); 3 — секторный диск; 4 — электродвигатель; 5 — операционный усилитель; 6 — датчик давления; 7 — усилитель; 8 — компьютер; 9 — АЦП; 10, 11 — микро- и нановольтметр, соответственно

сигнал с датчика давления 6, проходит через усилитель 7 и подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 9 NI USB-9215 фирмы National Instruments. Оцифрованный сигнал обрабатывается в компьютере 8. Температурные колебания образца регистрируются нановольтметром 11 Unipan-233В при помощи хромель-алюмелевой термопары, горячий спай которой находится непосредственно в исследуемой жидкости 1. Поскольку в нановольтметре используется синхронный детектор, то для его работы необходим опор-

ный сигнал, синхронный с колебаниями давления. Опорный сигнал создается секторным диском 3, вращение которого периодически прерывает световой поток между свето- и фотодиодом, формируя последовательность прямоугольных импульсов, попадающих через операционный усилитель 5 на нановольтметр в качестве опорного сигнала. Сигнал с термопары поступает на трансформатор 233-7-1 с низкоомным входом и, пройдя через предусилитель 233-7, поступает на вход нановольтметра. Регистрация температурного сигнала нановольтметром происходит как с применением фазового детектирования, так и без него. В последнем случае нановольтметр используют в качестве усилителя, поэтому выходной сигнал снимают с линейного выхода, а не с выхода синхронного детектора. Температурный периодический сигнал в аналоговом виде поступает на второй канал высокочастотного АЦП. Оцифрованный сигнал обрабатывается в компьютере с использованием программной среды LabVIEW. Также создана программа, позволяющая проводить фурье-преобразование температурного сигнала и сигнала, приходящего с датчика давления, в режиме реального времени, т. е. непосредственно в процессе эксперимента. Температура отнесения образца определяется при помощи цифрового микровольтметра 10 Ц-68000.

Тестирование модулятора давления и измерение АТКД дистиллированной воды. Опробование модулятора давления выполняли в автономном режиме путем подключения системы к датчику давления 6 (см. рис. 1) Mediamate-1000 фирмы Honeywell. Калибровали датчик с использованием поршневого манометра МП-60М. При испытании модулятора давления сигнал, снимаемый с датчика давления, после усиления оцифровывался и обрабатывался в компьютере. Обработка заключалась в определении спектра сигнала и измерении амплитуды первой гармоники. Отношение амплитуд колебаний второй и первой гармоник составило 5 %, что вполне соответствовало ожидаемому значению при заданной длине шатуна 50 мм. Амплитуды более высоких гармоник составили менее 1 % по отношению к амплитуде первой гармоники.

После испытания в автономном режиме модулятор давления был подключен к установке для измерения АТКД так, как показано на рис. 1. На рис. 2 приведен спектр колебаний давления, создаваемых в системе модулятором (форма соответствующих колебаний показана на вставке). В качестве образца для испытания установки была выбрана дистиллированная вода. Такому выбору способствовали два обстоятельства. Во-первых, в интервале температур от комнатной до нормального кипения значительно изменяется ТКР воды, то же следует ожидать и для АТКД. Во-вторых, известно, что удельная теплоемкость воды в таком же интервале температур незначительно изменяется, т. е. остается практически постоянной [4]. Если принять во внимание формулу (1), то следует ожидать, что температурная зависимость АТКД воды должна отражать поведение ТКР.

В настоящей работе выполнены измерения АТКД дистиллированной воды в температурном интервале 290—350 К (рис. 3). Полученные результаты сопоставлены со значениями ТКР воды, рассчитанными по таблице температурной зависимости плотности [5]. Сравнение результатов АТКД и ТКР при температуре 295 К демонстрирует согласие в пределах погрешности 2,5 %, т. е. в пределах погрешности эксперимента. Эти данные измерений АТКД дистиллированной

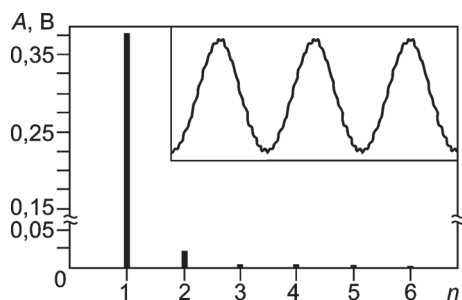


Рис. 2. Спектр колебаний давления; на вставке — соответствующая осциллограмма n — номер гармоники

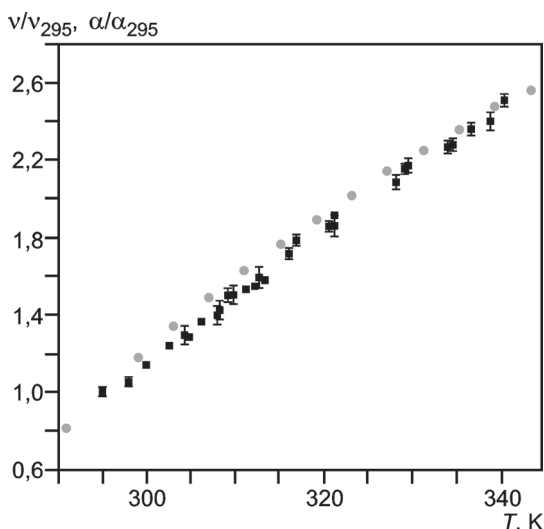


Рис. 3. Температурная зависимость нормированных значений АТКД (■) и ТКР (●) дистиллированной воды

воды можно рассматривать в качестве первого этапа модернизации установки для измерения ТКР жидких металлов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 11-08-00710).

Литература

1. Благонравов Л. А., Фейссал Модхен. Измерение адиабатического термического коэффициента давления в периодическом режиме // Приборы и техника эксперимента. 1991. № 4. С. 157—160.
2. Blagonravov L. A. et al. Phase transition in liquid cesium near 590 K // J. Non-Crystalline Solids. 2000. V. 277. P.182—187.
3. Благонравов Л. А. и др. Опыт применения двойной модуляции в измерении коэффициента теплового расширения проводящих жидкостей // Вестник МГУ. Физика. Астрономия. 2008. № 1. С. 50—55.
4. Eisenberg D., Kauzman W. Structure and Properties of Water. USA: Oxford Univ. Press, 1969.
5. Wagner W., Pruss A. The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use // J. Phys. Chem. Ref. 2002. V. 31. N 2. P. 387—535.

Дата принятия 27.12.2012 г.

543.24

Оценка метрологических характеристик стандартного образца состава молока сухого цельного с использованием первичного и вторичного государственных эталонов

М. П. КРАШЕНИНИНА*, М. Ю. МЕДВЕДЕВСКИХ*, С. В. МЕДВЕДЕВСКИХ*,
Л. К. НЕУДАЧИНА**, Е. П. СОБИНА*

* Уральский научно-исследовательский институт метрологии, Екатеринбург, Россия,
e-mail: krasheninina_m@uniim.ru

** Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

Разработан стандартный образец состава молока сухого цельного ГСО 9563—2010 с аттестованными значениями массовых долей влаги и азота (белка). Приведены его метрологические характеристики, соответствующие уровню мировых аналогов.

Ключевые слова: стандартный образец, прослеживаемость, первичный и вторичный эталоны, массовые доли влаги и азота.

A certified reference material of the dried whole milk with validated values of mass fractions of moisture and nitrogen (protein) was developed. The metrological characteristics complying with the world analogues level are presented.

Key words: certified reference material, traceability, primary and secondary standards, mass fractions of moisture and nitrogen.

Массовая доля белка — важнейший показатель качества подавляющего большинства пищевых продуктов и продовольственного сырья, в частности, сухого цельного молока. Белки-ферменты катализируют ряд химических реакций, а также белок, который наряду с жирами и углеводами является одним из показателей, характеризующих энергетическую ценность пищевых продуктов, поэтому его определение обяза-

тельно. Требования к массовой доле белка регламентированы, например в [1, 2].

На практике для оперативной оценки качества молока и молочных продуктов применяют все большее число экспрессных анализаторов, основанных на рефрактометрическом и ультразвуковом методах, инфракрасной спектроскопии. В такой ситуации возрастает необходимость увеличе-