

УДК 536

Євтушенко Є.В.¹, студ.,
Полянчук О.В.¹, студ.,
Мороз К.О.¹, к.ф.-м.н., доц.,
Королович В.Ф.¹, к.ф.-м.н.

Про підвищення точності ізотермічних PVT вимірювань

¹ Київський національний університет імені
Тараса Шевченка, 01601, м. Київ, вул.
Володимирська 64/13,
e-mail: morozko@univ.kiev.ua

Ye.V. Evtushenko¹, stud.,
O.V. Polyanchuk¹, stud.,
K.O. Moroz¹, PhD, Assoc. Prof.,
V.F. Korolovych¹, PhD, Sci. Res.

On the accuracy improvement of isothermal PVT measurements

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv,
01601, Kyiv, Volodymyrska Str. 64/13,
e-mail: morozko@univ.kiev.ua

Проаналізовані джерела виникнення похибки вимірювань густини для ізотермічної методики сільфонного п'єзометра з диференційним трансформаторним датчиком лінійних зміщень. Наведені поетапні оцінки похибки для експериментальних досліджень густини рідкого толуолу. Запропоновані методи оцінки точності пікнометричних вимірювань та прецизійних вимірювань під високим тиском, що дозволяють направлено здійснювати конструктивне вдосконалення методик вимірювання густини та зменшення похибки прямих вимірів. Всі оцінки виконані згідно рекомендацій міждержавного стандарту ГОСТ. Запропоновані шляхи подальшого підвищення точності вимірювань в ізотермічних PVT методиках. Знайдені оцінки похибок для модернізованої методики вимірювання густини пікнометричним методом складають 0.02%, похибка для вимірювання густини методом сільфонного п'єзометра під тиском складає 0.07% дійної вимірюваної величини, що були знайдені для толуолу.

Ключові слова: густина, похибка вимірювань, рівняння стану.

It is analyzed the sources of density measurements error for isothermal methods bellows piezometer with differential transformer sensor of linear displacement. Step-by-step procedure of error estimations for experimental studies of the density of liquid toluene is shown. It is proposed the method for experimental error evaluation that allows further directed improvement of precision methods of PVT measurements. All estimates are made according to the recommendations of interstate GOST standard. The ways of further improving the accuracy of measurements in isothermal PVT techniques by upgrading picnometer method and improving the design of linear displacement sensor are presented. The error estimation for picnometer measurements of density is 0.02%, and for the method of metallic bellows piezometer with differential inductive sensor of linear shifts is 0.07% of actual measured value. Error estimations were carried out by measuring liquid toluene in the whole range of pressures and temperatures accessible for PVT method.

Keywords: density, measurements error, equation of state.

Статтю представив: академік НАН України, д.ф.-м.н., проф. Булавін Л.А.

Задача про термодинамічні властивості рідин належить до кола актуальних питань сучасної молекулярної фізики. Експериментальний підхід до розв'язку цієї задачі включає PVT дослідження речовини в широких інтервалах зміни температури та тиску. Метод сільфонного п'єзометра належить до групи високоточних методів вимірювання PVT властивостей молекулярних рідин та рідинних систем [1]. Як відомо, сучасні сільфонометричні методи дозволяють досягати зменшення похибок визначення густини рідини в рівноважному стані

до 0.1% вимірюваного значення при зміні тиску в інтервалі від атмосферного до кількох тисяч атмосфер. Діапазон зміни можливих досліджуваних густин в методі сільфонного п'єзометра визначається конструктивними особливостями методики. Наступним після PVT вимірювань етапом в дослідженні термодинамічних властивостей є визначення значень пружних і калоричних термодинамічних властивостей рідин за експериментальними PVT даними, що потребує розрахунку похідних густини по температурі та тиску методами числового

Таблиця 1

Похибки вимірювання фізичних величин (ФВ) при визначенні густини толуолу

ФВ	ОВ	\bar{x}	σ_x	Δx	θ	θ / σ_x	Δ_x	$\Delta_{x\%}$
ρ_0	кг/м ³	848.2	0.2	0.7	0.1	0.27	0.7	0.10
$S_{\text{еф}}$	см ²	1.701	0.007	0.02	0.007	0.94	0.007	0.40
dU_2/dx	мВ/мм	-29.6	0.1	0.5	0.01	0.09	0.5	1.60
Δv	см ³	-0.193	0.001	0.004	0.001	0.69	0.00	1.90
v	см ³	3.746	0.002	0.005	0.001	0.52	0.01	0.10
ρ	кг/м ³	892.0	0.4	1.2	0.2	0.52	1.2	0.13

диференціювання. Відомі оцінки вказують на те, що застосування методів числового диференціювання на порядок зменшує точність визначення отриманих за його допомогою фізичних величин порівняно з експериментальною похибкою вимірювання густини. Таким чином, задача підвищення точності PVT вимірювань має як фундаментальне так і прикладне значення. В поданій роботі приведені результати аналізу джерел виникнення похибки вимірювання густини для ізотермічної PVT методики сільфонного п'єзометра з диференціальним трансформаторним датчиком лінійних зміщень, що була розроблена Адаменко І.І. [1] та модернізована в пізніших дослідженнях [2]. Об'єм робочої камери v в такій методиці визначається з наступних співвідношень:

$$v_0 = m_0/\rho_0, \quad \Delta v = S_{\text{еф}} \Delta U_2 / (dU_2/dx),$$

$$v = v_0 + \Delta v, \quad (1)$$

де m_0 – маса рідини в камері, ρ_0 – густина рідини, що визначена пікнометричним методом, $S_{\text{еф}}$ – ефективна площа поперечного перерізу робочої камери, ΔU_2 – приріст напруги на вторинній обмотці датчика лінійних зміщень при зростанні тиску від атмосферного до заданого, (dU_2/dx) – кутовий коефіцієнт градування. У таблиці 1 наведені оцінки похибки визначення густини за співвідношеннями (1), де θ – систематична складова похибки, σ_x – її

випадкова складова, Δ_x – оцінка верхньої границі похибки фізичної величини. Як показує аналіз, застосування класичної пікнометричної методики при атмосферному тискові дозволяє знайти густину з похибкою 0.1%. Таку ж величину верхньої границі можна отримати для похибки густини під високим тиском. При цьому найбільший внесок у величину $\Delta_{x\%}$ приросту об'єму Δv за нашими оцінками дають розрахунки кутового коефіцієнта (dU_2/dx) . Нами апробований метод фотореєстрації для методики пікнометричних вимірювань, який при застосуванні варіації геометрії пікнометра (зміни співвідношення між діаметром капіляра та об'ємом вимірювальної камери) дозволяє знизити величину $\Delta_{x\%}$ для густини ρ_0 до 0.02%. Підвищення точності трансформаторного датчика, в силу конструктивних особливостей всієї вимірювальної частини установки, вдається досягти лише підбором параметрів трансформаторного датчика.

Таким чином, для підвищення точності визначення густини в ізотермічній методиці сільфонного п'єзометра є два конструктивні шляхи, а саме, виготовлення пікнометрів оптимізованої геометрії із застосуванням фотореєстрації та вдосконалення конструкції трансформаторного датчика лінійних зміщень, це дозволяє зменшити похибку визначення густини під високим тиском до 0.07%.

Список використаних джерел

1. Адаменко І. І. Фізика рідин та рідинних систем / І.І. Адаменко, Л.А. Булавін. – Київ: АСМІ, 2006. – 650 с.
2. Булавін Л.А. Рівняння стану магнітної рідинної системи на основі води та магнетиту, стабілізованої лауриноювою кислотою / Л. А. Булавін, К. О. Мороз, С. П. Недяк, В. І. Петренко // Укр. фіз. журн. – 2012. – Т. 57. – No. 3. – С. 350–354.

References

1. ADAMENKO, I. I. AND BULAVIN, L. A. (2006) *Physics of liquids*. Kyiv: ASMI.
2. BULAVIN, L. A., MOROZ, K. O., NEDYAK, S. P. AND PETRENKO, V. I. (2012) The equation of state for a water-based magnetic fluid stabilized by lauric acid. *Ukr. J. Phys.* 57(3). pp. 350–354.

Надійшла до редколегії 29.04.14