

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ *n*-ОКТАНА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ

Щемелев А.П., Голубева Н.В., Самуйлов В.С.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий  
г. Могилев, Республика Беларусь

*n*-Октан ( $n\text{-C}_8\text{H}_{18}$ ) является технически важным веществом, широко используемым в химической и нефтехимической промышленности. При определении октанового числа бензинов, *n*-октан применяется как один из ключевых компонентов. В паре с изооктаном он используется для калибровки топливных смесей, что позволяет оценивать их детонационную стойкость. Добавление *n*-октана в топливо улучшает его характеристики, такие как стабильность горения и энергоэффективность. Он считается относительно безопасным веществом, так как не содержит токсичных примесей и не образует вредных продуктов разложения при нормальных условиях. Однако его пары могут быть взрывоопасны, что требует соблюдения мер безопасности при работе с ним.

Плотность *n*-октана является ключевым свойством для расчета термодинамических свойств, проектирования оборудования, моделирования и оптимизации технологических процессов. Исследование плотности в широком диапазоне температур и давлений актуально для понимания природы межмолекулярных взаимодействий и создания высокоточных уравнений состояния. Экспериментальные данные по плотности используются для создания надежных справочных баз данных, которые необходимы для научных исследований, инженерных расчетов и разработки новых технологий.

Количество экспериментальных работ, посвящённых исследованию плотности *n*-октана в жидком состоянии, достаточно велико. Эти исследования охватывают широкий диапазон температур и давлений. Из проведенного анализа имеющихся в литературе величин установлено, что измерения, выполненные при температурах до 373 К и в широком диапазоне давлений в среднем хорошо согласуются между собой, т.е. относительные отклонения данных в большинстве случаев не превышают суммарную погрешность экспериментов. Измерения плотности при температурах выше 373 К и давлениях до 100 МПа не так многочисленны, а относительные отклонения экспериментальных величин зачастую выходят за рамки суммарной погрешности экспериментов. Поэтому данные величины требуют уточнения.

Для измерения плотности жидкого *n*-октана использовалась экспериментальная установка, основным элементом которой являлся плотномер Anton-Paar НРМ с колеблющейся U-образной трубкой. В качестве вторичного прибора использовался прибор mPDS 2000 V3 производства Anton-Paar.

Принцип действия таких плотномеров основан на измерении периода колебаний U-образной трубки заполненной исследуемой жидкостью. Данная экспериментальная установка позволяет проводить точные измерения плотности в широком диапазоне температур и давлений.

Ячейка плотномера Anton-Paar НРМ помещена внутри сухоблочного термостата, снабженного водяной рубашкой в виде экранов. Температура экранов термостата, окружающих теплоизолированную ячейку, во время эксперимента имеет температуру близкую к температуре ячейки, что минимизирует ее теплопотери. Измерение температуры производилось при помощи платинового термометра сопротивления Hart Scientific (model 5608) и измерителя температуры МИТ 8.15 компании ИзТех. Термометр установлен в отверстие в центре плотномера. Погрешность измерения температуры не превышала 0.02 К.

Давление создавалось одновременно прессом, заполненным исследуемой жидкостью и масляным прессом грузопоршневого манометра МП-2500. Отсутствие разности давлений в плотномере и манометре контролировалось нуль-индикатором Ruska 2417-800. Погрешность измерения давления образцовым грузопоршневым манометром второго разряда МП-2500 не превышает 0.05%.

Плотномер был откалиброван по модели, предложенной Bouchot и Richon [1]. Некоторые изменения были внесены в оригинальную процедуру калибровки, подробно описанную в [2]. Перед каждой серией измерений плотномер калибровался дистиллированной и дегазированной водой во всем диапазоне параметров состояния.

Выполненные оценки показали, что погрешность определения плотности составляет 0.03%.

В качестве исследуемого образца использовался *n*-октан производства Sigma-Aldrich с чистотой по массе основного вещества более 99 %.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены данные по плотности для жидкого *n*-октана в диапазоне температур 298–473 К и давлений 0.1–100.1 МПа. В ходе опытов получено 85 экспериментальных точек. Графический анализ полученных значений показал, что имеет место монотонное изменение плотности *n*-октана на всех исследованных изотермах в зависимости от давления и на всех исследованных изобарах в зависимости от температуры.

Проведенное сравнение измеренных значений плотности для чистого *n*-октана показало, что в большинстве случаев имеется хорошее согласование полученных опытных величин с наиболее надежными литературными данными.

Полученные значения плотности *n*-октана были аппроксимированы полуэмпирическим уравнением состояния Тейта, которое имеет вид

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - A \ln\left(\frac{B + p}{B + p_0}\right)}$$

где  $\rho$  – плотность при повышенном давлении  $p$ , кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – плотность при атмосферном давлении  $p_0$ , кг/м<sup>3</sup>;  $A$  – константа уравнения Тейта;  $B$  – температурная функция, которая имеет вид

$$B = b_0 + b_1 \left(\frac{T_{кр}}{T}\right) + b_2 \left(\frac{T_{кр}}{T}\right)^2$$

где  $b_0$ ,  $b_1$  и  $b_2$  – постоянные аппроксимации;  $T$  – температура, К;  $T_{кр}$  – критическая температура, К. Для *n*-октана  $T_{кр} = 568,91$  К.

Плотность при атмосферном давлении была выражена уравнением вида

$$\rho_0 = a_0 + a_1(T_{кр} - T) + a_2(T_{кр} - T)^2 + a_3(T_{кр} - T)^3$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  – константы аппроксимации.

Полученное уравнение Тейта хорошо воспроизводит исходные экспериментальные данные. Максимальное и среднее квадратичное отклонения не превышают соответственно 0,03 и 0,01 %.

#### Список использованных источников

1 Bouchot, C. An enhanced method to calibrate vibrating tube densimeters/ C. Bouchot, D. Richon //Fluid Phase Equilib. – 2001. – Vol. 191, is. 1–2. – Pp. 189–208.

2 Liquid density measurements of cumene, tert-butylbenzene, and hexadecane over wide ranges of temperature and pressure / T.S. Khasanshin [et al] //Fluid Phase Equilib. – 2018. – Vol. 463. – Pp. 121–127.