

СЕКЦИЯ 8 «ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕПЛОФИЗИКА»

УДК 542.3

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИНАРНОЙ ЖИДКОЙ СМЕСИ ЦИКЛОГЕКСАН + ТОЛУОЛ

Хасаншин Т.С., Самуйлов В.С., Щемелёв А.П., Голубева Н.В.
Могилевский государственный университет продовольствия
г. Могилев, Беларусь

Выполнен обзор, систематизация и анализ имеющейся экспериментальной информации по термодинамическим свойствам бинарной жидкой смеси циклогексан + толуол в широком диапазоне температур и давлений. Показано, что для указанной смеси наиболее исследованными являются свойства при атмосферном давлении и температурах близких к комнатным. Наибольшее число работ посвящено определению плотности. В области высоких давлений данные по всем свойствам отсутствуют в литературе. Сведения о других термодинамических свойствах, таких как изохорная c_v и изобарная c_p теплоёмкости, адиабатной β_S и изотермической β_T сжимаемости при атмосферном давлении немногочисленны. Для устранения дефицита по термодинамическим свойствам бинарной жидкой смеси нами был применён акустический метод исследования свойств вещества. Проведенными нами ранее исследованиями и расчёты в [1–3] показали, что данные по скорости звука могут быть использованы для расчёта плотности, изобарной и изохорной теплоёмкости, адиабатической и изотермической сжимаемости с погрешностью, не превышающей погрешности прямого экспериментального определения указанных величин.

Для измерения скорости звука применялась экспериментальная установка, в которой используется метод прямого определения времени прохождения импульса через исследуемую жидкость. Главным элементом экспериментальной установки является акустическая ячейка, которая состоит из разделительной трубки длиной 0,069864 м, на торцах которой расположены пьезокерамическая пластина из ЦТС-19 и стальной рефлектор. В качестве рефлектора была применена цилиндрическая поверхность с продольными треугольными углублениями на задней торцевой поверхности. Применение данного рефлектора позволяет сократить возможные искажения акустического импульса, вызываемые интерференцией акустических волн отраженных от передней и задней торцевых поверхностей рефлектора.

Температура опыта определялась с использованием платинового термометра сопротивления первого разряда с точностью 0,02 К. Измерения скорости звука производились с использованием многофункционального измерительного комплекса UNIPRO, который состоит из генератора импульсов произвольной формы и цифрового осциллографа. Погрешность измерения скорости звука не превышает 0,1 %. Измерения скорости звука производились по изотермам как при повышении, так и при понижении давления, при этом отличия между прямым и обратным ходом не превышали 0,01 %. После проведения всей серии опытов, производились повторные измерения на начальной изотерме. Согласование между результатами повторных измерений находится в пределах 0,03 %. Результаты повторных измерений показали, что состав смеси не менялся в течение всей серии эксперимента.

На представленной экспериментальной установке были выполнены систематические измерения скорости звука в бинарной жидкой смеси циклогексан + толуол в интервале температур 298–433 К, давлений 0,1–100 МПа и мольных долей толуола в смеси 0,25, 0,50 и 0,75. Для исследования использовались толуол

производства "ЭКОС-1" марки ЧДА и циклогексан производства "Carl Roth" с чистотой по массе основного компонента >99.5 %. Дальнейшая очистка образцов не производилась. Смеси готовились весовым способом.

Экспериментальные данные для исследуемой смеси получены впервые и представлены как в табличной форме, так и в форме аналитических зависимостей. Среднеквадратичное и максимальное отклонение экспериментальных величин от рассчитанных значений не превышает соответственно 0.02 и 0.05 %.

Далее был выполнен расчёт термодинамических свойств для каждого исследованного состава смеси в интервале температур 298–348 К и давлений до 100 МПа. В качестве исходных данных использовались результаты собственных измерений по скорости звука во всем расчётном диапазоне температур и давлений. Для выполнения расчёта также необходимо знать плотность и изобарную теплоёмкость во всем расчётном диапазоне температур при атмосферном давлении. Имеющиеся данные в литературе по плотности были представлены в виде полиномиальной зависимости от температуры. Так как данные по изобарной теплоёмкости для бинарной жидкой смеси циклогексан + толуол в литературе отсутствуют, то для получения значений по этому свойству использовались имеющиеся данные по изобарной теплоёмкости чистого толуола и чистого циклогексана. Далее используя молярно-аддитивное правило, были рассчитаны значения изобарной теплоёмкости для каждого состава смеси, которые также были затем представлены в виде аналитической зависимости от температуры. Погрешность исходных данных привлекаемых для расчёта свойств оценивается нами: для скорости звука – 0.1 %, для плотности – 0.1 %, для изобарной теплоёмкости – 1 %.

Используя пошаговый итерационный метод с небольшим шагом по давлению был выполнен расчёт термодинамических свойств бинарной жидкой смеси толуол + циклогексан трёх составов в интервале температур 298–348 К и давлений 0.1–100 МПа. Методика расчёта основывается на известных термодинамических соотношениях, связывающих акустические и термодинамические величины. В ходе расчёта были вычислены значения плотности, изобарной и изохорной теплоёмкости, адиабатической и изотермической сжимаемости. Рассчитанные свойства представлены в виде подробных таблиц.

Полученные в ходе расчёта значения термодинамических свойств сравнивались с имеющимися литературными данными. Результаты сравнения показали, что имеющиеся немногочисленные экспериментальные величины хорошо согласуются с результатами наших расчётов. Отклонения нигде не превышают суммарную погрешность экспериментов и расчётов.

Рассчитанные значения плотности во всём исследованном диапазоне температур и давлений были обобщены уравнением состояния типа уравнения Тейта для каждого отдельного состава смеси. Это позволило представить полученные значения плотности в компактной форме удобной для практического применения.

Литература:

1. Хасаншин, Т.С. Определение термодинамических свойств жидкого н-гексадекана по измерениям скорости звука / Т.С. Хасаншин, В.С. Самуйлов, А.П. Щемелёв // Инженерно-Физический журнал. – 2009. – Т. 82, №1. – С. 150-156.
2. Термодинамические свойства бинарных жидких смесей н-алканов: н-декан + н-гексадекан / Т.С. Хасаншин, В.С. Самуйлов, А.П. Щемелёв // теплофизика Высоких Температур. – 2010. – Т. 48, № 5. – С. 699–706.
3. Speed of sound and thermodynamic properties of ternary liquid mixture octane + dodecane + hexadecane / T.S. Khasanshin [et al] // Fluid Phase Equilibria. – 2014. – Vol. 404. – P. 161–170.