**РАЗДЕЛ V. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ.
СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.00.00.****КАПИЛЛЯРНАЯ ПОСТОЯННАЯ НОРМАЛЬНОГО БУТАНА НАСЫЩЕННОГО
ВОДОРОДОМ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ 138,15 ДО 205,15 К****CAPILLARY CONSTANT OF NORMAL BUTANE SATURATED WITH
HYDROGEN IN TEMPERATURE REGION FROM 138.15 TO 205.15 K****АНДБАЕВА В.Н.****ANDBAEVA V.N.***ФГБУН Институт теплофизики
Уральского отделения РАН**Institute of Thermal Physics Ural Branch of
RAS**andbaeva@mail.ru**andbaeva@mail.ru**doi: 10.18411/pivsn-20**idsp: pivsn-20***АННОТАЦИЯ**

Дифференциальным вариантом метода капиллярного поднятия измерена капиллярная постоянная нормального бутана, насыщенного водородом. Опыты проведены в интервале температур 138,15 – 205,15 К при давлениях до 4 МПа. Предложено уравнение, аппроксимирующее барическую зависимость капиллярной постоянной.

Ключевые слова: капиллярная постоянная, раствор, нормальный бутан, водород.

ABSTRACT

The differential variant of the method of capillary rise has been used to measure the capillary constant of normal butane saturated with hydrogen. Experiments have been conducted in the temperature range from 138.15 to 205.15 K at pressures up to 4 MPa. An approximating equation for the baric dependence of the capillary constant has been suggested.

Keywords: capillary constant, solution, normal butane, hydrogen.

ВВЕДЕНИЕ

Поверхностные явления играют важную роль в природных и технологических процессах, в существенной мере определяют работу образования зародышей новой фазы, фазовое поведение и перенос в пористых средах, адсорбцию, катализ. Одним из параметров межфазной границы и наиболее доступным для измерения является капиллярная постоянная a^2 . При известной разности ортобарических плотностей данные по капиллярной постоянной позволяют рассчитать поверхностное натяжение. Величина a^2 в существенной мере определяет форму висящей капли, форму поверхности жидкости у границы с твердым телом.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

В виду отсутствия литературных данных по поверхностному натяжению растворов нормальный бутан–водород, на первый план выдвигаются экспериментальные исследования. Цель исследования – получить надежные данные по капиллярной постоянной раствора нормальный бутан–водород в интервале температур 138,15 – 205,15 К и построить аппроксимационное уравнение для определения a^2 .

ЭКСПЕРИМЕНТ

Капиллярная постоянная раствора нормальный бутан–водород измерена дифференциальным капиллярным методом. В опытах использовались газы высокой чистоты. Паспортная чистота нормального бутана 99.999 %, водорода – 99.995 %. Измерительная ячейка содержала три стеклянных капилляра. Внутренние радиусы капилляров определены калибровкой с помощью капелек ртути и равны $r_1 = 0.6393$ мм, $r_2 = 0.2297$ мм, $r_3 = 0.09607$ мм. Погрешность определения радиусов не превышает 0.05 %. Ячейка с капиллярами помещалась в медный блок. Температура в блоке поддерживалась с точностью ± 0.005 К и измерялась платиновым термометром сопротивления с погрешностью ± 0.02 К. Охлаждение производилось жидким азотом.

Раствор готовился в измерительной ячейке. Равновесие достигалось интенсивным перемешиванием смеси. Давление в ячейке измерялось набором пружинных манометров с погрешностью не более 0.007 МПа. Разность высот поднятия менисков жидкости в капиллярах Δh определялось с помощью катетометра. Погрешность значений Δh составляет ± 0.02 мм. Капиллярная постоянная рассчитывалась по формуле

$$a^2 = \Delta h / (1/b_i - 1/b_j), \quad (1)$$

где b_i , b_j – радиусы кривизны вершин менисков в капиллярах i и j . Значения b_i рассчитывались по данным об размерности капилляров из уравнения Лейна [1]. Погрешность определения a^2 оценивается в 0.5 %. Более подробно экспериментальная установка и методика проведения опытов описаны в монографии [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты измерений a^2 представлены на рис. 1.

Рис.1 Барическая зависимость капиллярной постоянной раствора н-бутан–водород. 1 – $T = 138,15$ К; 2 – $168,15$; 3 – $205,15$. Пунктирная линия – капиллярная постоянная нормального бутана [3].

Во всем исследованном интервале температур и давлений барическая зависимость капиллярной постоянной близка к линейной. Величина и знак производной $(\partial a^2 / \partial p)_T$ определяются, в основном, природой растворяемого вещества (водородом).

Результаты измерений капиллярной постоянной аппроксимированы уравнением вида

$$a^2 = a_0^2 + A_1(T) + A_2(T) \cdot (p - p_0), \quad (2)$$

где a_0^2 и p_0 – капиллярная постоянная и давление насыщенных паров нормального бутана, A_i – функции температуры.

Согласно [3], для капиллярной постоянной нормального бутана имеем

$$a^2 = \alpha \varepsilon^n (1 + a_1 \varepsilon + a_2 \varepsilon^{12}), \quad (3)$$

где $\varepsilon = 1 - \tau$, $\tau = T / T_c$, $T_c = 424.40$ К – температура в критической точке, $\alpha = 13.558$ мм², $n = 0.931$, $a_1 = -0.0080273$, $a_2 = 1.0674$.

Давление насыщенных паров нормального бутана описано уравнением, представленным в [4].

Функции $A_i = A_i(T)$ имеют вид

$$A_1(T) = \sum_{i=0}^1 c_i \tau^i, \quad (4)$$

$$A_2(T) = \sum_{i=0}^3 d_i \tau^i, \quad (5)$$

где $c_0 = -0.126854$ мм², $c_1 = 0.133292$ мм², $d_0 = -0.487279$ мм²/МПа, $d_1 = 1.36178$ мм²/МПа, $d_2 = -1.54713$ мм²/МПа, $d_3 = 0.613117$ мм²/МПа. Отклонения экспериментальных данных от уравнения (2) представлены на рис. 2. Максимальная погрешность аппроксимации a^2 не превышает 0,9 %.

Концентрация водорода в растворе x_L определялась по данным об уравнении состояния чистого бутана [4] и по фазовому равновесию жидкость-пар раствора нормальный бутан–водород [5,6].

Рис. 2 Отклонения экспериментальных данных от уравнения (2). Обозначения см. рис. 1

Нам не известны эксперименты по измерению капиллярной постоянной системы н-бутан–водород. Для нормального бутана полученные в данной работе значения a^2 в пределах 0.6–1.2 % согласуются с результатами более ранних измерений нашей лаборатории [3].

1. Lane J.E. Correction terms for calculation surface tension from capillary rise // J. Coll. Interf. Sci. 1973. V. 42. P.145–149.
2. Байдаков В.Г. Межфазная граница простых классических и квантовых жидкостей / под ред. В.И. Кононенко. — Екатеринбург.: УИФ «Наука», 1994. — 374 с.
3. Сулла И.И., Байдаков В.Г. Поверхностное натяжение нормального бутана // Фазовые превращения в энергонапряженных процессах. 1988. С.34–36.
4. Bückner D., Wagner W. Reference equations of state for the thermodynamic properties of fluid phase n-butane and isobutane // J. Phys. Chem. Ref. Data. 2006. V.35 P.929–1019.
5. Nelson E.E., Bonnell W.S. Solubility of hydrogen in n-butane // Ind. Eng. Chem. 1943. V. 35. P. 204–206.
6. Aroyan H.J., Katz D.L. Low temperature vapor-liquid equilibria // Ind. Eng. Chem. 1951. V. 43. P. 185–189.