

УДК 541.8

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

¹Масимов Э.А., ²Эйвазов Э.А., ²Ибрагимли А.Б., ²Мирзоева Г.Г.

¹Бакинский Государственный Университет», Баку;

²Азербайджанский Государственный Педагогический Университет», Баку;

e-mail: Aygunibrahimli@yahoo.com

Методом потенциалов установлено, что вне зависимости от природы жидкости коэффициент поверхностного натяжения определяется как $\sigma = 2q(T_c - T)/(T_c + T)$, где q – удельная теплота поверхностнообразования, T_c – критическая температура. Удельная теплота поверхностнообразования (УТП), согласно нашему подходу, в свою очередь, также зависит от температуры: $q = q_0 + \alpha \cdot (T - T_{\text{пл}})$. (q_0 – удельная теплота поверхностнообразования при температуре плавления, α – термический коэффициент (УТП). С учётом температурной зависимости теплоты поверхностнообразования, посредством нами установленного аналитического выражения для σ можно вычислить температурную зависимость коэффициента поверхностного натяжения. С учётом постоянства термического коэффициента теплоты поверхностнообразования ($\alpha = \text{Const}$) по значениям поверхностного натяжения при двух произвольных температурах для девяти разно-родных жидкостей вычислена температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения. Выявлено, что вычисленные нами предложенным методом значения σ удовлетворительно согласуются с имеющимися экспериментальными значениями. Подытоживая вышесказанные можно сказать, что в настоящей работе предлагается некий полуфеноменологический универсальный подход для поверхностного натяжения жидкостей.

Ключевые слова: Теплота поверхностнообразования, жидкость, поверхностное натяжение

ANALYSIS OF TEMPERATURE DEPENDS ON THE LIQUID SURFACE TENSION

¹Masimov E.A., ²Eyvazov E.A., ²Ibragimli A.B., ²Mirzayeva G.G.

¹Baku State University», Baku;

²State Pedagogical University Azerbaijan», Baku, e-mail: Aygunibrahimli@yahoo.com

The method of potentials found that regardless of the nature of the liquid surface tension is defined $\sigma = 2q(T_c - T)/(T_c + T)$ as where q -specific heat surface formatation, T_c – is a critical temperature. Specific heat surface formatation (TSS) according to our approach, in turn, also depends on temperature: $q = q_0 + \alpha \cdot (T - T_{\text{mel}})$. (q_0 – is the specific heat of surface formatation at the melting temperature, α – thermal coefficient (TSS). Taking into account the temperature dependence on the heat of surface formatation through our established analytical expression can be calculated for the σ temperature dependence of the coefficient of surface formatation. In view of constancy of the thermal coefficient of heat surface formatation ($\alpha = \text{Const}$) the values of the surface tension at two arbitrary temperatures for nine different-native liquids calculate the temperature dependence of the surface tension. It was revealed that the method proposed by us σ values are in good agreement with the available experimentally values. Summing up above we can say that in this paper we propose a semiphenomenological universal approach for the surface tension of liquids.

Keywords: Heating of surface, liquid, surface tension

Природа и температурная зависимость поверхностного натяжения жидкостей в течении более чем ста лет исследовались многими авторами [2; 5; 6; 7]. Однако, на сегодняшний день не существуют подходов, или теории поверхностного натяжения жидкостей хотя бы качественно носящих универсальный характер.

В настоящей работе предлагается некий полуфеноменологический подход, позволяющий вычислить температурную зависимость коэффициента поверхностного натяжения жидкостей во всей области температур существования жидкости.

Методами термодинамических циклов [9], а также потенциалов [3] можно показать, что термический коэффициент поверхностного натяжения жидкости, в общем случае, определяется как

$$\frac{d\sigma}{dT} = -\frac{q}{T}, \quad (1)$$

где q – количество тепла, поглощающееся при обратимом изотермическом изменении еди-

ничной площади поверхности, равно разности удельной поверхности энергии и работы при изотермическом расширении поверхности раздела на единицу. Эту величину в дальнейшем будем называть удельной теплотой поверхностнообразования (УТП). Очевидно, что УТП является функцией от температуры, т.е. $q = q(T)$. Если пренебречь этой зависимостью и учесть, что в критической точке ($T = T_c$) поверхностного натяжения жидкости равно нулю ($\sigma = \sigma_c = 0$), то из (1) имеем

$$\sigma = q \ln \left(\frac{T_c}{T} \right). \quad (2)$$

Выражению (2) можно придать более удобный для практических целей вид. Для этого будем исходить из того, что при $x > 0$

$\ln x \cong 2 \left(\frac{x-1}{x+1} \right)$. Тогда (2) примет следую-

щий вид

$$\sigma \approx 2q \left(\frac{T_c - T}{T_c + T} \right). \quad (3)$$

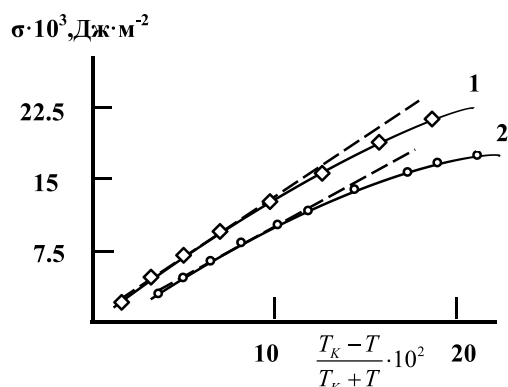


Рис. 1. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от $\frac{T_K - T}{T_K + T}$:
1 – этиловый спирт, 2 – ацетон

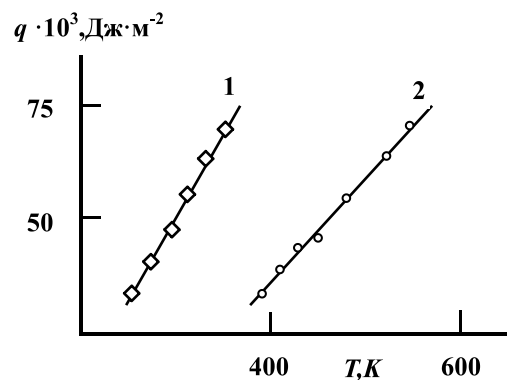


Рис. 2. Температурная зависимость удельной теплоты поверхностообразования (точки-формула (3), сплошные линии – формула (6), 1 – вода, 2 – ацетон)

Как следует из (3), коэффициент поверхностного натяжения жидкости с увеличением температуры уменьшается и при $T = T_K$ равняется нулю. Отметим, что индивидуальность жидкости, а также зависимость σ от чистоты жидкости и внешних условий в (3) отражены через T_K и q , соответственно.

Поскольку к настоящему времени критические температуры практически всех жидкостей известны, то, в принципе, по значению коэффициента поверхностного натяжения при одной температуре посредством (3) можно вычислить УТП (q), и, тем самым, определить температурную зависимость поверхностного натяжения во всей области существования жидкости. Однако, анализ, проведенный для ряда жидкостей, показал, что вычисленные вышеописанным способом значения поверхностного натяжения значительно (~20%) отличаются от соответствующих экспериментальных значений. Естественно полагать, что это расхождение, в первую очередь, связано с допущением, сделанным нами при выводе (3), о температурной независимости УТП. При правомерности сделанного предположения, как это следует из (3), в координатах $\sigma = F(T_K - T)/(T_K + T)$ должна наблюдаться нелинейная зависимость. В качестве примера (рис. 1) приведены результаты таких сопоставлений для этилового спирта и ацетона. (Экспериментальные значения σ и T_K были заимствованы из [4]). Как видно, в обоих случаях имеет место вышеупомянутая нелинейность. Следовательно, при вычислении $\sigma = \sigma(T)$ по (3) необходимо учесть температурную зависимость УТП $q = q(T)$.

Температурная зависимость удельной теплоты поверхностообразования, вычисленная посредством (3) по экспериментальным значениям σ и T_K для некоторых жидкостей приведена на рис. 2. Как видно, во всех

случаях зависимость $q = q(T)$ вплоть до критической температуры является линейной, т.е. термический угловой коэффициент УТП $\left(\alpha = \frac{dq}{dT}\right)$ для каждой жидкости есть постоянная величина и не зависит от температуры. Тогда очевидно, что

$$q(T) = \alpha \cdot T + C. \quad (4)$$

При температуре плавления твердой фазы выбранной жидкости ($T = T_{пл}$) q обозначим через q_0 . Тогда из (4) следует, что постоянная интегрирования

$$C = q_0 - \alpha \cdot T_{пл}. \quad (5)$$

Из (4) и (5) находим, что

$$q(T) = q_0 + \alpha \cdot (T - T_{пл}). \quad (6)$$

Подставляя (6) и (1), после интегрирования, получим

$$\sigma(T) = -[(q_0 - \alpha T_{пл}) \ln T + \alpha \cdot T_1] + C. \quad (7)$$

Поскольку при $T = T_K$ $\sigma \equiv 0$

$$\ln\left(\frac{T_K}{T}\right) \cong 2\left(\frac{T_K - T}{T_K + T}\right),$$

то после простых преобразований из (7) имеем:

$$\sigma(T) \approx [2q_0 - \alpha(2T_{пл} - T_K - T)] \cdot \frac{T_K - T}{T_K + T}. \quad (8)$$

(8) позволяет при известных q_0 и α вычислить температурную зависимость коэффициента поверхностного натяжения во всей области существования жидкости вплоть до критической температуры. Оно является универсальным выражением, т.к. при его выводе не было сделано каких-либо предположений о природе жидкости.

Таблица 1

Значения T_K , $T_{пл}$, q_0 и α для жидкостей

Вещества	Этиловый спирт	Метиловый спирт	Ацетон	Вода	Na	K	Rb	Cs	Hg
T_K, K	516	513	508,8	647,3	2500	2250	2100	2050	1460
$T_{пл}, K$	158,3	175	176,5	273	371	337	313	302	234
$q_0 \cdot 10^3, Дж/м^2$	-24,11	-25,61	-15,1	32,15	59,56	20,70	26,43	28,10	-107,45
$\alpha \cdot 10^5, Дж/К \cdot м^2$	26,84	29,75	22,84	32,89	6,77	5,90	4,04	2,35	0,72

Таблица 2

Табличные (σ_T) и вычисленные (σ_B) по (8) значения поверхностного натяжения жидких металлов Na и Cs

T, K	σ_T , эрг/см ²		σ_B , эрг/см ²		σ_B/σ_T	
	Na	Cs	Na	Cs	Na	Cs
400	192,1	66,7	192,09	67,07	0,999	1,005
450	187,1	64,3	186,71	64,48	0,998	1,003
500	182,1	61,9	181,39	61,95	0,996	1,000
550	177,1	59,5	176,1	59,48	0,994	0,999
600	172,1	57,1	170,9	57,06	0,993	0,999
650	167,1	54,7	165,75	54,68	0,992	0,999
700	162,1	52,3	160,66	52,34	0,991	1,000
750	157,1	49,9	155,6	50,05	0,990	1,003
800	152,1	47,5	150,6	47,80	0,990	1,006
900	142,1	–	140,8	–	0,991	–

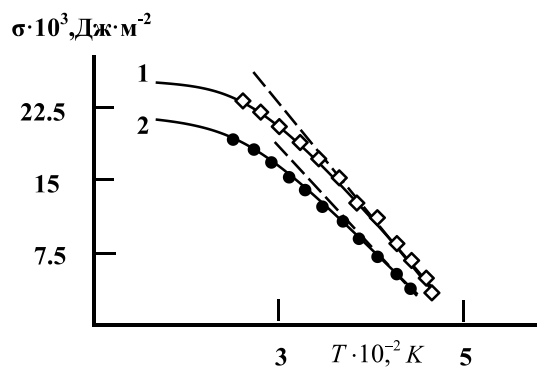


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения: 1 – этиловый спирт, 2 – ацетон; точки – эксперимент, сплошные линии – вычислены по формуле (8)

Как это вытекает из (6), величины q_0 и α является для выбранной жидкости постоянными величинами. Поэтому по значениям σ при произвольных двух температурах (полагается, что $T_{пл}$ и T_K известны) посредством (8) можно вычислить q_0 и α , и тем самым, установить явный вид температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения для данной жидкости. Результаты соответствующих вычислений для девяти разных жидкостей приведены в табл. 1–2 и рис. 3.

Как следует из табл. 2 и рис. 3, во всей температурной области существования

жидкой фазы табличные и вычисленные по формуле (8) значения поверхностного натяжения достаточно хорошо согласуются между собой. Это, в частности, свидетельствует о приемлемости предложенного нами полуфеноменологического подхода.

Таким образом, в настоящей работе предложен и проанализирован эффективный полуфеноменологический метод, позволяющий по экспериментальным значениям коэффициента поверхностного натяжения жидкости при двух произвольных температурах вычислить температурную зависимость $\sigma = \sigma(T)$ и $q = q(T)$ вплоть до критической температуры. На примере девяти разных жидкостей установлена универсальность и приемлемость предложенного метода.

Список литературы

1. Кикоина И.К. Таблицы физических величин. Справочник под ред. акад. – М., 1976.
2. Кракстон К. Физика жидкого состояния. – М.: Мир, 1978. – 287 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статическая физика. – М.: Наука, 1964. – 565 с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Изд. 2-е., М., Наука, 1972. – 537 с.
5. Резибуа Пьер, Де Ленер, Классическая кинетическая теория жидкостей и газов. – М.: Мир, 1980. – 318 с.
6. Салем Р.Р. Журнал физ. химии, 76, 2002, 2232 с.
7. Оно С., Кондо С. Молекулярная теория поверхностного натяжения жидкостей. – М.: Мир, 1963.
8. Киттель Ч. Статическая термодинамика. – М.: Наука, 1977. – 336 с.
9. Эйвазов Э.А. и др., Введение в молекулярную физику и термодинамику. – Баку, 2010. – 602 с.