

ИЗУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРОВ ЭТАНОЛ-АЦЕТОН

© Джамбулатов Роман Суламбекович (а), Альтемиров Магомед Алхазурович (б), Абдуллаев Рамзан Магомедович (с)

- (а) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; отдел физико-математических исследований, заведующий отделом, научный сотрудник. Чеченский Государственный Университет им. А.А. Кадырова, г. Грозный; asldzam@mail.ru
- (б) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; отдел физико-математических исследований, младший научный сотрудник, m_altemirov@bk.ru
- (с) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; отдел физико-математических исследований, младший научный сотрудник, ramzan007abd@mail.ru

Аннотация. В работе представлены экспериментальные данные по поверхностному натяжению ацетона и этанола и растворов ацетон-этанол различных концентрации. Поверхностное натяжение измерено методом висящей капли, на тензиометре DSA-100 «KRUSS». Систематическая ошибка измерения поверхностного натяжения на тензиометре DSA-100 не превышает 1%. В приборе предусмотрена возможность проведения многократных измерений поверхностного натяжения в автоматическом режиме, что существенно снижает случайную ошибку измерения ($\Delta\sigma \pm 0,18-0,23$ мН/м). Полученные экспериментальные данные показали, что концентрационные зависимости поверхностного натяжения в пределах погрешности эксперимента описываются аддитивной прямой. Расчеты изотерм поверхностного натяжения по уравнению, полученному для идеальных растворов, показали, что теоретическая кривая в пределах погрешности эксперимента совпадает с экспериментальной. На основе полученных данных сделан вывод об идеальности растворов ацетон-этанол во всем интервале составов.

Ключевые слова: Поверхностное натяжение, плотность, ацетон- этанол, политерм, изотерм, поверхностный слой, межфазный слой.

STUDY OF THE CONCENTRATION DEPENDENCE OF THE SURFACE TENSION OF ETHANOL-ACETONE SOLUTIONS

© Dzhambulatov Roman Sulambekovich (a), Altemirov Magomed Alkhazurovich (b), Abdullaev Ramzan Magomedovich (c).

- (a) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; department of physical and mathematical research, head of department, researcher. Chechen State University named after A.A. Kadyrov, Russian Federation, Grozny; asldzam@mail.ru
- (b) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; department of physical and mathematical research, junior scientific researcher, m_altemirov@bk.ru
- (c) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; department of physical and mathematical research, junior researcher, ramzan007abd@mail.ru

Abstract. In the work the experimental data about the surface tension of acetone and ethanol and solutions of acetone-ethanol of different concentrations are presented. The surface tension was measured by the method of hanging drop on tensiometer DSA-100 "KRUSS". The systematic error of measuring the surface tension on tensiometer DSA-100 does not exceed 1%. The device provides the ability to conduct repeated measurements of surface tension in automatic mode, which significantly reduces the random error of measurement ($\Delta\sigma \pm 0.18-0.23$ mN/m). The experimental data obtained showed that the concentration dependences of surface tension are described by an additive straight line within the experimental error. Calculations of isotherms of surface tension according to the equation obtained for ideal solutions showed that the theoretical curve within the experimental error coincides with the experimental one. On the basis of the obtained data the conclusion about the ideality of acetone-ethanol solutions in the whole composition interval has been made.

Key words: Surface tension, density, acetone-ethanol, polytherm, isotherm, surface layer, interfacial layer.

Введение. Поверхностное натяжение (ПН) является фундаментальной термодинамической величиной, данные по политермам и изотермам которой дают ценную информацию о строении и свойствах межфазного слоя. При этом важно отметить, что для жидкой фазы поверхностное натяжение является наиболее точно измеряемым свойством поверхностного слоя. По температурной и концентрационной зависимости поверхностного натяжения можно определить такие свойства межфазного слоя как энтропия, состав и эффективная толщина поверхностного слоя. В связи с этим экспериментальные исследования зависимости поверхностного натяжения от состава и температуры двойных и многокомпонентных растворов представляют определенный научный и практический интерес.

В работе [3], при изучении некоторых металлических бинарных расплавов (In-Sn; Tl-Pb) на изотермах σ были обнаружены особенности в виде минимумов. Природа этих минимумов до конца неясна, так как на диаграммах состояния отсутствуют какие-либо особенности [8], которые могли бы служить причиной этих экстремумов. В работе [3] на основе теоретического анализа адсорбции компонентов показано, что особенность в виде максимума или минимума может появиться и в идеальных растворах, если чистые компоненты этих растворов близки по физико-химическим свойствам.

Исходя из вышеизложенного можно предположить, что аналогичные особенности свойственны и концентрационной зависимости поверхностного натяжения растворов органических веществ, содержащих компоненты, с близкими значениями физико-химических свойств (поверхностное натяжение, плотность, молярный объем). Этим условиям удовлетворяет система ацетон-этанол. Действительно значения поверхностного натяжения и плотности ацетона и этанола близки.

Кроме того, экспериментальные данные по температурной и концентрационной зависимости поверхностного натяжения, представленные в работе можно использовать в качестве справочного материала, поскольку в открытых источниках информация о температурной и концентрационной зависимости поверхностного натяжения и плотности растворов ацетон-этанол при определенных температурах (298, 288 и 278 К) противоречива или вовсе недоступна. Так, в работе [10] приводятся данные зависимости поверхностного натяжения от концентрации этанола в системе ацетон-этанол при температуре 300 К.

Известно, что благодаря водородным связям в спиртах образуются молекулярные кластеры, которые за счет увеличения энергии взаимодействия между молекулами повышают величину ПН [11-12]. Существует предположение, что когда к системе с водородными межмолекулярными связями (этанол, вода) добавляется второй компонент, например ацетон, происходит разрыв водородных связей, что приводит к разрушению молекулярных кластеров. Например, в работе [10] с целью выявления влияния ацетона на межмолекулярные взаимодействия в спиртах, относящихся к гомологическому ряду одноатомных спиртов, проведены экспериментальные исследования концентрационной зависимости поверхностного натяжения.

Методы измерений и реактивы

Для определения величины σ гомогенных растворов ацетон - этанол применялся метод висящей капли (тензиометр DSA-100 «KRUSS»). Методика измерения ПН на этой установке подробно описана в работах [4-5]. Поэтому отметим кратко, что величина ПН на тензиометре DSA-100 определяется на основе обработки профиля висящей капли исследуемой жидкости. Обработка профиля проводится с помощью программного обеспечения DSA-1, которое обеспечивает высококачественное выделение контуров и точный расчет значений ПН путем численного решения уравнения Лапласа [7,1]. Автоматизация процесса измерения, наличие высокоточной системы захвата кадра и использование компьютерной обработки экспериментальных данных позволяет использовать данную установку, как в практических целях, так и для решения научных задач. Благодаря интегрированной компьютерной программе для обработки фотоснимков, получаемых с помощью установки DSA-100, система позволяет получать большое число экспериментальных точек при небольших интервалах измерений, что снижает величину случайной погрешности измерений и упрощает процедуру определения ошибки измерения.

Согласно данным производителя, систематическая ошибка измерения поверхностного натяжения на тензиометре DSA-100 не превышает 1%. При этом в приборе предусмотрена возможность проведения многократных измерений ПН в автоматическом режиме, что существенно снижает случайную ошибку измерения. Температура исследуемого образца регулировалась с термостатирующей ячейкой, которая позволяет измерять температуру с погрешностью 0,1 К.

Благодаря высокой точности и простоте выполнения измерений, метод висящей капли является предпочтительным методом измерения ПН органических растворов. По этим критериям он превосходит другие методы измерения ПН, широко используемые в практике экспериментальных исследований поверхностных свойств жидкостей. К преимуществам данного метода можно отнести и то, что его использование позволяет существенно сэкономить дорогостоящие химически чистые образцы, так как для измерения поверхностного натяжения этим методом достаточно иметь относительно небольшое количество.

По степени чистоты исследуемые образцы, согласно принятой классификации химических реактивов, относятся: ацетон – (ХЧ); этанол – (ЧДА).

Экспериментальная часть

В общей сложности была изучена температурная зависимость ПН чистых компонентов и четырех растворов различной концентрации двойной системы ацетон – этанол, что позволило построить и изотермы поверхностного натяжения.

Изотермы ПН при температурах 278 К, 288 К и 298 К, полученные в результате проведенных измерений, представлены на рис. 1.

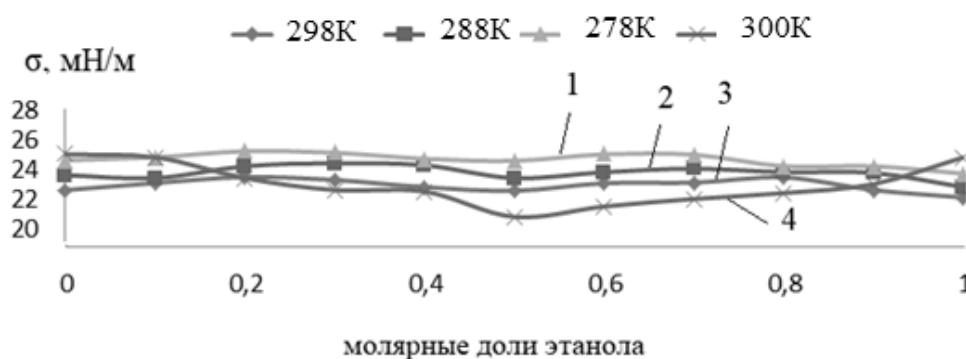


Рис. 1. Концентрационная зависимость поверхностного натяжения системы ацетон-этанол. Изотермы 1,2,3 – наши данные; изотерма 4 – по данным [6]

Как видно из рис. 1, на изотермах 1,2,3 концентрационная зависимость ПН при различных температурах имеет линейный характер с незначительными флуктуациями по величине в пределах 1 мН/м, (находится в пределах систематической ошибки эксперимента). С увеличением концентрации этанола ПН незначительно понижается. Следовательно, в системе ацетон-этанол, при температурах 298, 288 и 278 К второй компонент является поверхностно-активным. При этом предельная поверхностная активность этанола при температуре 278К, согласно полученным экспериментальным данным, достигает порядка 0,9 Мн/м. На изотерме 4 представлены данные из работы [10]. Как видно из этой изотермы здесь наблюдается минимум в области 0,5 молярной доли этанола. Вызывает вопрос достоверность полученных данных, поскольку значения для чистых компонентов смеси (ацетон и этанол) при данной температуре значительно отличаются от табличных данных (порядка 3 мН/м).

Для оценки величины случайной ошибки измерения, чаще всего пользуются средней квадратичной ошибкой, характеризующейся тем, что при увеличении количества измерений она достигает некоторого статистического предела, обусловленного стремлением случайных колебаний к некоторому постоянному значению [2]. Поэтому для определения случайной ошибки измерений ПН нами использованы результаты многократных измерений ПН растворов ацетон-этанол (20 измерений на одну точку) при указанных температурах. Как показали проведенные расчеты, диапазон случайной ошибки эксперимента для различных концентраций $\Delta\sigma \pm 0,18 - 0,23$ мН/м.

На рис. 2 представлены результаты концентрационной зависимости ПН системы ацетон-этанол, рассчитанные по уравнению [9].

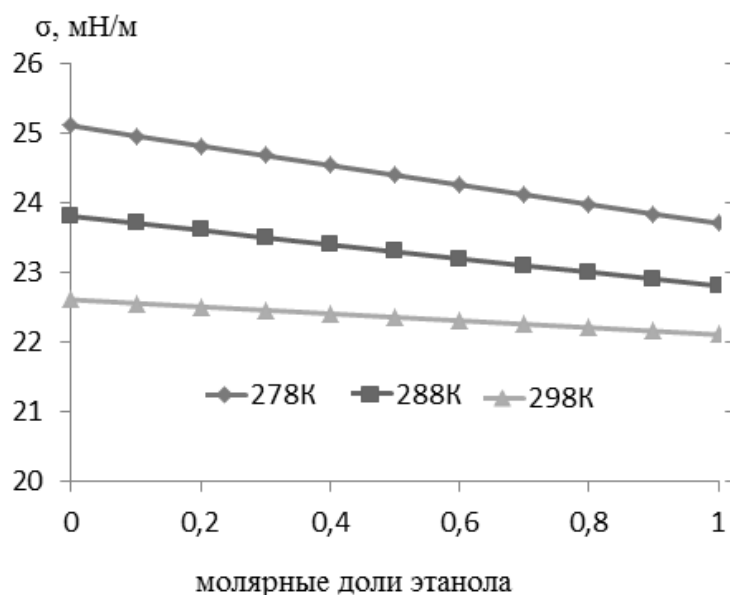


Рис. 2. Концентрационная зависимость поверхностного натяжения системы ацетон-этанол по уравнению для идеальных систем

Расчеты по уравнению [9] показывают, что концентрационная зависимость ПН при увеличении состава этанола линейно уменьшается до значений для чистого компонента.

Таким образом, анализ представленных экспериментальных результатов концентрационной зависимости ПН бинарной системы ацетон-этанол, свидетельствует об отсутствии особенностей на изотермах ПН изученной системы.

Заключение

Таким образом в работе представлены экспериментальные данные по ПН растворов ацетон-этанол. Показано, что изотермы ПН вопреки ожиданиям, описываются аддитивной прямой, что является доказательством того, что эти растворы близки к идеальным. Расчеты изотерм ПН по уравнению, полученному нами для идеальных растворов [12], показали, что теоретическая кривая в пределах погрешности эксперимента совпадает с эксперименталь-

ной. Вывод об идеальности растворов ацетон-этанол находится в хорошем согласии с экспериментальными данными по значениям коэффициентов термодинамических активностей компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамсон, А.В. Физическая химия поверхностей / А.В. Адамсон. Л.: Мир, 1979. 568 с.
2. Алентьев, А. Н. Статистические методы обработки результатов физического эксперимента: уч. пособие. / А. Н. Алентьев, А. Г. Ильченко, А. Ю. Токов. Иваново: 2007. 143 с.
3. Дадашев Р.Х. Термодинамика поверхностных явлений. М.: Физматиздат, 2008. 278 с.
4. Дадашев, Р. Х. Установка по исследованию поверхностных свойств границы раздела фаз (DSA-100) / Р. Х. Дадашев, Р. С. Джамбулатов, Д. З Элимханов // Вестник Академии наук ЧР. Грозный; 2011. №.1 С. 13-17.
5. Дадашев, Р.Х. Измерение поверхностного натяжения методом висящей капли на тензиометре DSA-100 / Р. Х. Дадашев, Р. С. Джамбулатов, Д. З Элимханов // Сборник Тр. КНИИ РАН. Грозный; 2012. № 5. С. 3-7.
6. Инструкция вибрационного плотномера ВИП-2МР. Режим доступа: www.labteh.com (дата обращения: 25.05.2022).
7. Русанов, А. И. Межфазная тензометрия / А. И. Русанов, В. А. Порхаев. СПб.: Химия, 1994. 398 с.
8. Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов. Том 2. М.: Metallurgizdat, 1962. 609 с.
9. Dadashev R.Kh., Elimkhanov Dj.Z., Bichueva Z.I., Khokonov Kh.B. Concentration dependence of the surface tension for binary systems Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2007. Т. 71. № 2. С. 257-259.
10. Jonathan L. Madhurima V. Surface tension study of concentration dependent cluster breaking in acetone-alcohol systems // Science Vision.2012. № 12 (3). Pp.102-105.
11. Provencal R.A., Casaes R.N., Roth K., Paul J.B., Chapo C.N., Saykally R.J., Tschumper, G S & Schaefer III H F. Hydrogen bonding in alcohol clusters: A comparative study by infrared cavity ring down laser absorption spectroscopy. J Phys. Chem A, 2000. № 104. Pp 1423-1429.
12. Wakisaka A. Matsuura K. Microheterogeneity of ethanol-water binary mixtures observed at the cluster level. J Mol Liq, 2006. № 129. Pp. 25-32.

REFERENCES

1. Adamson, A.V. Physical Chemistry of Surfaces / A.V. Adamson. L.: Mir, 1979. 568 c.
2. Alentyev A.N. Statistical Methods of Processing the Results of Physical Experiments: tutorial / A.N. Alentyev, A.G. Ilchenko, A.Yu. Tokov. Ivanovo: 2007. 143 p.
3. Dadashev R.Kh. Thermodynamics of surface phenomena. M.: Fizmatizdat, 2008. 278 p.
4. Dadashev R. H. Installation to study the surface properties of the interface (DSA-100) / R. H. Dadashev, R. S. Dzhambulatov, D. Z. Elimkhanov // Bulletin of the Academy of Sciences of the CR. Grozny, 2011. №1 Pp. 13-17.

5. Dadashev R. Kh. Measuring surface tension by hanging drop method on tensiometer DSA-100 / R. H. Dadashev, R. S. Dzhambulatov, D. Z. Elimkhanov // Proceedings of KRC RAS. Z. ELIMKHANOV // PROCEEDINGS OF THE KOMI SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES. Grozny: 2012. № 5. Pp. 3-7.
6. Instruction of the vibration density meter VIP-2MR. URL: www.labteh.com (accessed: 25.05.2022).
7. Rusanov, A. I. Interphase tensometry / A. I. Rusanov, V. A. Porkhaev. Sankt-Peterburg: Chemistry, 1994. 398 с.
8. Hansen M., Anderko K. Structure of double alloys. Vol. 2. M.: Metallurgizdat, 1962. 609 p.
9. Dadashev R.Kh., Elimkhanov Dj.Z., Bichueva Z.I., Khokonov Kh.B. Concentration dependence of the surface tension for binary systems Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2007. T. 71. № 2. Pp. 257-259.
10. Jonathan L. Madhurima V. Surface tension study of concentration dependent cluster breaking in acetone-alcohol systems // Science Vision.2012. №12 (3). Pp.102-105.
11. Provencal RA, Casaes R N, Roth K, Paul J B, Chapo C N, Saykally R J, Tschumper, G S & Schaefer III H F. Hydrogen bonding in alcohol clusters: A comparative study by infrared cavity ring down laser absorption spectroscopy. J Phys. Chem A, 2000. № 104. Pp 1423-1429.
12. Wakisaka A. Matsuura K. Microheterogeneity of ethanol-water binary mixtures observed at the cluster level. J Mol Liq, 2006. № 129. Pp. 25-32.