

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

© Джамбулатов Роман Суламбекович (а), Хасбулатова Зинаида Сайдаевна (b)

(а) Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Российская Федерация, Грозный.

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН, Российская Федерация, Грозный

(b) Чеченский государственный педагогический университет, Российская Федерация, Грозный; asldzam@mail.ru

Аннотация. В работе обсуждаются результаты экспериментальных и теоретических исследований поверхностного натяжения четырехкомпонентных систем ацетон – этанол–диоксан – вода (1:1:1) и тройных систем: этанол–ацетон–вода (этанол–ацетон=1:1); диоксан–ацетон–вода (диоксан: ацетон =1:1). Измерения поверхностного натяжения проводились методом висящей капли, плотность – вибрационным методом. С целью выявления степени отклонения исследуемых растворов от идеальности были проведены расчеты поверхностного натяжения по уравнению изотерм поверхностного натяжения идеальных растворов. Полученные результаты показали, что с увеличением числа компонентов в растворе, теоретические кривые приближаются к экспериментальным, т.е. с увеличением числа компонентов растворы приближаются к идеальным. Такой результат свидетельствует о том, увеличением числа компонентов повышается хаос в расположении атомов. С другой стороны маловероятно, что в присутствии третьего, или четвертого компонента взаимодействие атомов и молекул бинарной системы увеличиться. Вероятнее взаимодействие между двумя атомами уменьшится в поле других компонентов. Следовательно, уменьшение межмолекулярного взаимодействия и повышение энтропии в многокомпонентных системах приводит к приближению раствора к идеальности.

Ключевые слова: поверхностное натяжение, многокомпонентные растворы, поверхностные явления, поверхностная активность, органические вещества, методы измерения.

STUDIES OF THE CONCENTRATION DEPENDENCE OF THE SURFACE TENSION OF MULTICOMPONENT SOLUTIONS

© Dzhambulatov Roman Sulambekovich (a), Khasbulatova Zinaida Saidaevna (b)

(a) Chechen state university named after A.A. Kadyrov, Russian Federation, Grozny.
Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny

(b) Chechen State Pedagogical University, Russian Federation, Grozny

Abstract. The paper discusses the results of experimental and theoretical studies of surface tension of four-component systems acetone-ethanol-dioxane-water (1:1:1) and triple systems: ethanol-acetone-water (ethanol-acetone=1:1); dioxane-acetone-water (dioxane: acetone=1:1). Measurements of surface tension were carried out by the method of hanging drop, density - by the vibrating method. In order to identify the degree of deviation of the studied solutions from ideality, calculations of surface tension were carried out by the equation of isotherms of surface tension of ideal solutions. The results showed that as the number of components in the solution increased, the theoretical curves approached the experimental curves, i.e., as the number of components increased, the solutions approached the ideal solutions. This result indicates that increasing the number of components increases the chaos in the arrangement of atoms. On the other hand, it is unlikely that in the presence of a third or fourth component, the interaction between atoms and molecules of the binary system will increase. It is more likely that the interaction between two atoms will decrease in the field of other components. Consequently, reduction of intermolecular interaction and increase of entropy in multicomponent systems leads to the solution approaching ideality.

Key words: surface tension, multicomponent solutions, surface phenomena, surface activity, organic substances, measurement methods.

Введение

Актуальность исследований поверхностных свойств многокомпонентных растворов органических веществ обусловлена необходимостью изучения и управления процессами, происходящими на границе раздела фаз, что имеет важное значение для различных отраслей промышленности, таких как фармацевтика, нефтехимия, пищевая промышленность и др. Кроме того, результаты исследования поверхностных свойств многокомпонентных растворов органических веществ необходимы при разработке новых материалов, таких как биокomпозиты и наночастицы, полимеры, и смолы, краски и покрытия и т.д.

В последнее время активизировались исследования поверхностных явлений в системах, содержащих многокомпонентные композиции органических веществ [6,7]. Эти исследования направлены, прежде всего, на измерение поверхностного натяжения и плотности трехкомпонентных систем, содержащих воду, этанол и другие органические растворители, такие как бензол, гептан и ацетон. Кроме того, поверхностное натяжение (σ) является точно измеряемым свойством поверхности жидкости, концентрационная зависимость которой позволяет найти многие фундаментальные свойства поверхностного слоя практически важные свойства поверхности [2].

Процедура измерения

Плотности однородных жидких смесей, необходимых для определения величины поверхностного натяжения путем численного решения уравнения Лапласа, определялось с помощью вибрационного плотномера ВИП-2 МР [5] с контролем температуры ($\pm 0,01$ К). Точность измерения плотности этим прибором составляет $0,001$ г/см³

Для определения поверхностного натяжения водных гомогенных растворов применялся метод висящей капли. Экспериментальная установка и методика измерения поверхностного натяжения этим методом подробно рассмотрены в работах [1,3].

Профили капель, полученные из изображений висящих капель, анализировались с помощью программного обеспечения DSA-1, которое обеспечивает высококачественное выделение контуров и точный расчет поверхностного натяжения путем численного решения уравнения Лапласа. Температура внутри измерительной ячейки с образцом поддерживалась постоянной с помощью термостата.

Результаты вычисления случайной ошибки на основе большого массива экспериментальных данных по σ водных растворов органических веществ показали, что доверительный интервал измерения поверхностного натяжения при доверительной вероятности 0.95 равен $\pm 0,08$ (0,18–0,26 мН/м) [4].

Экспериментальная часть

Для построения изотерм поверхностного натяжения и плотности боковых двойных, тройных и четырехкомпонентной системы, экспериментально изучены температурные зависимости σ и плотности растворов различных составов. Полученные результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

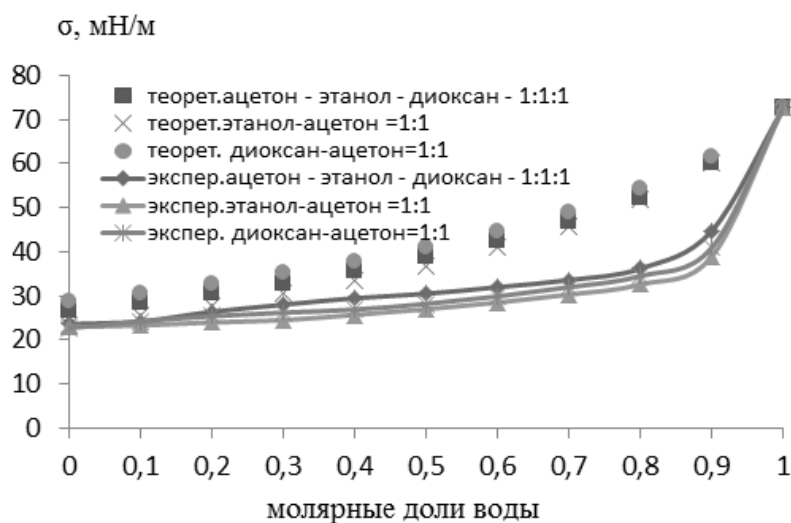


Рис. 1. Изотермы поверхностного натяжения четырехкомпонентной системы ацетон – этанол – диоксан – вода (ацетон: этанол: диоксан =1:1:1).

Тройных систем: этанол–ацетон–вода (этанол–ацетон=1:1); диоксан–ацетон–вода (диоксан: ацетон=1:1) при 293 К

Как видно из этого рисунка, экспериментальные изотермы поверхностного натяжения четырехкомпонентной системы ацетон – этанол–диоксан – вода (1:1:1) и тройных систем: этанол–ацетон–вода (этанол–ацетон=1:1); диоксан–ацетон–вода (диоксан: ацетон=1:1) представляют собой гладкие кривые без экстремумов.

При этом чистые компоненты и их растворы понижают σ воды, т.е. проявляют поверхностную активность. Следовательно, поверхность тройных и четырехкомпонентных

растворов во всей области составов обогащены поверхностно-активными веществами. При этом изотермы σ имеют классический вид, т.е. при небольших концентрациях ПАВ интенсивно снижают σ растворов, а начиная с 0.1 молярной доли органических компонентов, снижение величины σ имеет монотонный характер.

Для сравнительного анализа на рисунке представлены изотермы σ по секущим разрезам тройных и четверной системы. Как видно из рисунка, изотермы σ по разрезам четверной системы занимают промежуточное положение между изотермами σ боковых двойных систем. Какие-либо новые особенности на изотермах σ экспериментально не выявлены.

Анализ полученных кривых изотерм σ системы четырехкомпонентной системы ацетон–этанол–диоксан–вода (1:1:1) подтверждает вывод о том, что изотермы σ по лучевым разрезам треугольника составов не содержат особенности не предсказуемые изотермами σ граничных двойных растворов.

Для анализа и обсуждения результатов выбраны типичные соотношения по лучевым разрезам образцов многокомпонентных систем. Для определения степени отклонения изотерм σ от идеальных кривых, нами проведены расчеты σ по теоретическому уравнению, полученному в предположении идеальности поверхностного слоя и объемной фазы. Как видно из графиков теоретические изотермы, полученные для идеальных растворов, расположены значительно выше экспериментальных. Как видно из представленного графика, с ростом концентрации ПАВ во всем интервале концентрации ПАВ в воде происходит монотонное снижение величины σ . При этом теоретические кривые в многокомпонентных растворах расположены несколько ближе к экспериментальным. Этот результат имеет определенное научное и практическое значение, однако для окончательных выводов необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

Выводы

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что с увеличением числа компонентов в растворе, система стремится к идеальности. Этот эффект, прежде всего, связан с уменьшением межмолекулярных взаимодействий в многокомпонентных системах, что приводит к уменьшению отклонения от идеального поведения т.е. связан с термодинамической идеальностью растворов. Известно, что термодинамически идеальный раствор – это раствор, в котором межмолекулярные взаимодействия между различными компонентами отсутствуют. В реальных многокомпонентных системах межмолекулярные взаимодействия могут приводить к отклонениям от идеального поведения. Эти отклонения обычно проявляются в изменении термодинамических свойств раствора, таких как давление насыщенных паров, коэффициенты активности и поверхностное натяжение. Однако, можно предположить, что с увеличением числа компонентов в растворе, попарные межмолекулярные взаимодействия между компонентами боковых бинарных систем уменьшаются с добавлением третьего и четвертого компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Дадашев Р.Х. Термодинамика поверхностных явлений. М.: Физматиздат, 2008. 278 с.
3. 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.
4. Дадашев, Р. Х. Джамбулатов Р. С. О методических особенностях и ошибках измерения поверхностного натяжения водных суспензий // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. 2022. Т. 22, № 4. С. 57-66. DOI 10.47928/1726-9946-2022-22-4-57-66.
5. Инструкция виброденсиметра ВИП-2МР. Режим доступа: www.labteh.com
6. Mirjana Lj. Kijevcanin, Ines S. A. Densities, Viscosities, and Surface and Interfacial Tensions of the Ternary Mixture Water + Ethyl Butyrate + Methanol at 303.15 K / J. Chem. Eng. 2003.N48. Pp. 1266-1270
7. Santos, B. M. S.; Ferreira, A. G. M.; Fonseca, I. M. A. Surface and Interfacial Tensions of the Systems Water+n-Butyl Acetate+Methanol and Water+n-Pentyl Acetate+Methanol at 303.15 K. / Fluid Phase Equilib. 2003. N 208. Pp 1-21.

REFERENCES

1. Dadashev R.Kh. Measurement of surface tension by the method of a hanging drop on tensiometer DSA-100 / R.Kh. Dadashev, R.S. Dzhambulatov, D.Z. Elimkhanov // Proceedings of KRCI RAS. KNII RAS. Grozny, 2012. № 5. Pp. 3-7.
2. Dadashev R.Kh. Thermodynamics of surface phenomena. Moscow: Fizmatizdat, 2008. 278 p.
3. Dadashev R.Kh. Installation for Research of Surface Properties of the Phase Interface Boundary (DSA-100) / R.Kh. Dzhambulatov, R.S., D.Z. Elimkhanov // Bulletin of Academy of Sciences of CR. Grozny, 2011. №1. Pp. 13-17.
4. Dadashev, R. Kh. S. On the methodological features and errors in measuring the surface tension of aqueous suspensions // Reports of the Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences. 2022. Т. 22, № 4. Pp. 57-66. DOI 10.47928/1726-9946-2022-22-4-57-66.
5. Instruction of the vibration density meter VIP-2MR. Access mode: www.labteh.com
6. Mirjana Lj. Kijevcanin, Ines S. A. Densities, Viscosities, and Surface and Interfacial Tensions of the Ternary Mixture Water + Ethyl Butyrate + Methanol at 303.15 K / J. Chem. Eng. 2003.N48. Pp.1266-1270
7. Santos, B. M. S.; Ferreira, A. G. M.; Fonseca, I. M. A. Surface and Interfacial Tensions of the Systems Water+n-Butyl Acetate+Methanol and Water+n-Pentyl Acetate+Methanol at 303.15 K. / Fluid Phase Equilib. 2003. N 208. Pp 1-21.