

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 531.747.5

DOI 10.35266/1999-7604-2024-1-10

ЗАВИСИМОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДНОГО РАСТВОРА ХЛОРИДА НАТРИЯ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Александр Геннадьевич Заводовский

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

averin117@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе выполнено исследование поверхностного натяжения на границе воздух – водный раствор хлорида натрия с помощью высокочувствительного метода вращающейся капли на тензиометре SDT фирмы KRUSS. Определена изотерма поверхностного натяжения при температуре 20 °С в интервале концентрации 0–25 %. Для разных значений концентрации получена температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения в интервале от 20 до 70 °С. Определен температурный коэффициент поверхностного натяжения $\alpha = 0,18 \text{ мН}/(\text{м} \times \text{К})$.

Ключевые слова: поверхностное натяжение, водный раствор хлорида натрия, метод вращающейся капли, изотерма поверхностного натяжения

Для цитирования: Заводовский А. Г. Зависимость поверхностного натяжения водного раствора хлорида натрия от концентрации и температуры // Вестник кибернетики. 2024. Т. 23, № 1. С. 75–80. DOI 10.35266/1999-7604-2024-1-10.

Original article

CONCENTRATION AND TEMPERATURE DEPENDENCY OF THE SALINE SURFACE TENSION

Aleksandr G. Zavodovsky

Surgut State University, Surgut, Russia

averin117@mail.ru

Abstract. The article describes an experiment of a surface tension on the air – saline interface using a highly sensitive rotating drop method conducted on the SDT tensiometer of the KRUSS company. The surface tension isotherm was estimated at +20 °C in concentrations of 0 to 25 %. The temperature dependency of the surface tension coefficient was determined for various concentration readings within the range of +20 to +70 °C. The temperature coefficient of the surface tension (α) was estimated as 0.18 mN/(m×K).

Keywords: surface tension, saline, rotating drop method, surface tension isotherm

For citation: Zavodovsky A. G. Concentration and temperature dependency of the saline surface tension. *Proceedings in Cybernetics*. 2024;23(1):75–80. DOI 10.35266/1999-7604-2024-1-10.

ВВЕДЕНИЕ

Поверхностно-инактивными называются вещества, которые увеличивают поверхностное натяжение раствора. По отношению к воде такими веществами являются кислоты, щелочи и соли. Большой объем известных литера-

турных данных посвящен определению поверхностного натяжения водных растворов солей хлоридов щелочных металлов. Однако эти данные получены в небольшом интервале температур и концентраций раствора [1]. Также отмечалось, что при увеличении количества

соли в растворе на границе с воздухом происходит близкое к линейному возрастание поверхностного натяжения, но опыт показывает, что связь является более сложной [2]. Методом капиллярного поднятия было установлено наличие минимума на изотерме поверхностного натяжения в области низких концентраций для нескольких водно-солевых систем (эффект Джонса – Рэя), в том числе и для раствора поваренной соли [3]. В настоящее время предполагается, что этот эффект может быть связан с методикой измерения поверхностного натяжения.

В работе [4] на основании анализа опытных данных делается вывод, что с увеличением температуры раствора поверхностное натяжение уменьшается. Причем для водного раствора хлорида натрия с концентрацией 20% эта зависимость оказалась линейной [5]. Для проведения опытных исследований обычно использовались различные классические методы: метод максимального давления в пузырьке, метод капиллярного поднятия, капельный метод, анализ оптического изображения сидящей на подложке капли и другие [6]. Таким образом, для более глубокого понимания механизма поверхностного натяжения важны экспериментальные исследования поверхностных явлений в водно-солевых системах, выполненные с помощью более чувствительных экспериментальных методов. В данной работе опытным путем была изучена зависимость поверхностного натяжения водного раствора хлорида натрия на границе с воздухом от концентрации соли и температуры раствора методом вращающейся капли [7]. Этот метод был ранее использован для определения межфазного натяжения на границе жидкость–жидкость [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения опытных исследований использовался тензиометр SDT фирмы KRUSS, возможности которого позволяют проводить определение поверхностного натяжения на границе газ–жидкость и жидкость–жидкость с очень высокой степенью точности. С помощью тензиометра SDT можно теоретически измерить межфазное натяжение в интервале от 10^{-6} до 2000 мН/м, однако реаль-

ный диапазон и точность измерения могут быть ограничены свойствами конкретного образца. Экспериментальная установка состоит из монитора 1, главной консоли 2, системного блока 3 и термостата 4 (рис. 1).

На главной консоли (рис. 2) расположены измерительная ячейка 1, дисплей 2 и ручки управления 3.

В измерительной ячейке размещаются капилляр с исследуемым образцом и видеокamera контроля диаметра пузырька воздуха. Дисплей панели управления используется для вывода информации и ее контроля. Ручки и кнопки консоли применяются для базовых настроек скорости вращения, температуры раствора и подсветки капилляра.

В измерительной установке для создания необходимой температуры капилляра используется циркуляционный термостат KISS K6. С помощью термостата можно поддерживать температуру образца в интервале от 0 до 100 °C с точностью ± 1 °C.

Тензиометр SDT позволяет измерять межфазное натяжение на границе воздух – водный раствор соли. Для этого горизонтальный капилляр заполняется раствором, а пузырек воздуха вводится в него с помощью шприца. Капилляр помещается в рабочую кювету и вращается в ней. Межфазное натяжение коррелируется с диаметром или кривизной пузырька, который вытягивается в цилиндр под действием центробежных сил. Обработка результатов производится с помощью специальной программы системного блока. Программа ADVANCE выполняет анализ изображения (рис. 3) по функции приближения Воннегута и, определяя скорость вращения и температуру образца, производит расчет коэффициента поверхностного натяжения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 4 представлена зависимость коэффициента поверхностного натяжения (изотерма) на границе водный раствор хлорида натрия – воздух от концентрации соли при температуре 20 °C.

Для приготовления исследуемого раствора использовались дистиллированная вода

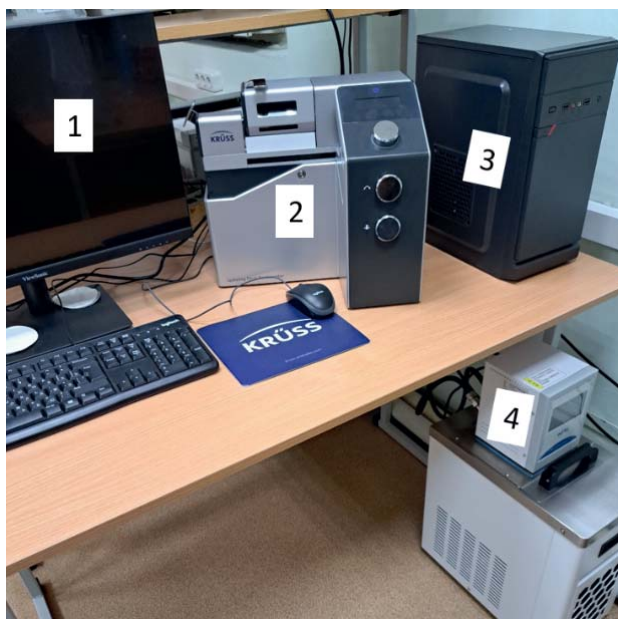


Рис. 1. Тензиометр SDT фирмы KRÜSS

Примечание: составлено автором.

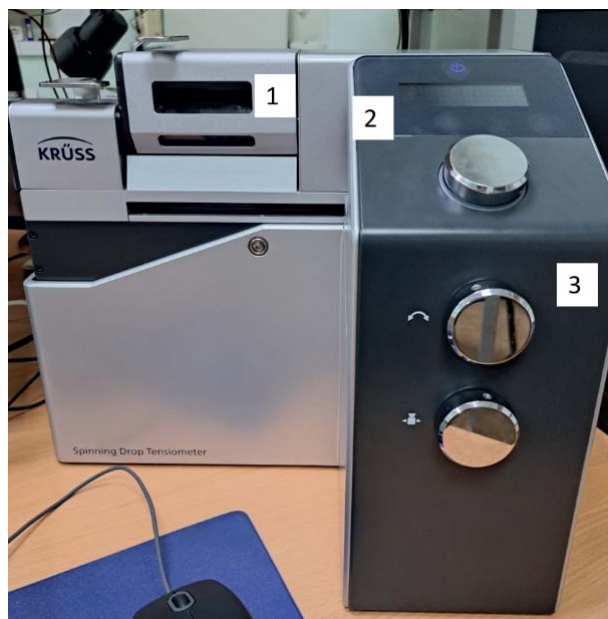


Рис. 2. Главная консоль тензиометра

Примечание: составлено автором.

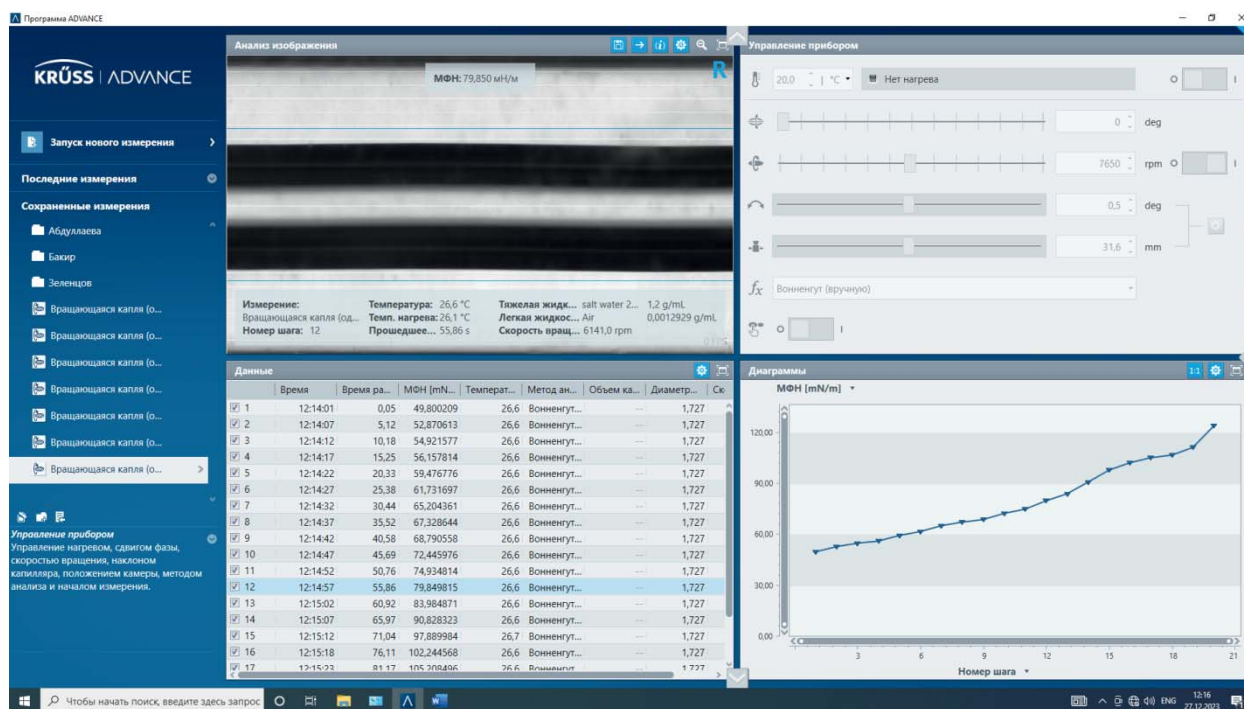


Рис. 3. Результаты анализа изображения пузырька воздуха в растворе хлорида натрия с помощью программы ADVANCE (скриншот экрана монитора)

Примечание: составлено автором.

и пищевая поваренная соль (массовая доля хлорида натрия не менее 99,7%). Для экспериментальных исследований были подготовлены растворы с концентрацией соли до 25 %, т. к. уже при 26 % наблюдалось выпадение в растворе осадка. Точность приготовления концентрации раствора составляла

$\pm 0,1$ %. Значение коэффициента поверхностного натяжения определялось с точностью $\pm 0,1$ мН/м.

Опытные результаты сравнивались с известными данными [9], полученными при небольших концентрациях раствора (5 и 10 %) и температуре 20 °C. Анализ изо-

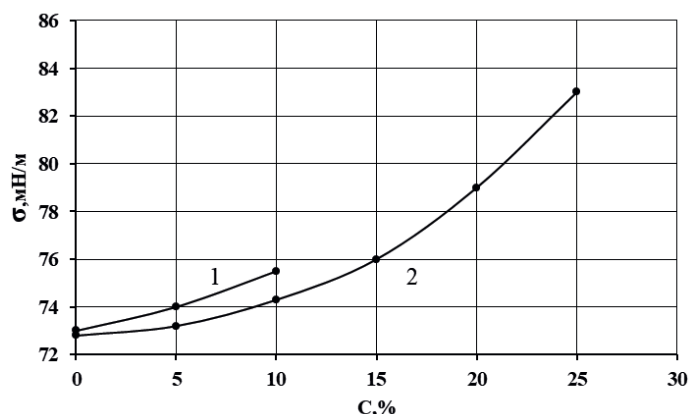


Рис. 4. Изотерма поверхностного натяжения на границе водный раствор хлористого натрия – воздух (температура раствора $t = 20^\circ\text{C}$, 1 – данные работы [9], 2 – экспериментальные результаты)

Примечание: составлено автором.

термы показывает, что при увеличении концентрации соли в растворе поверхностное натяжение увеличивается, при этом увеличение является нелинейным и наличие минимума на изотерме (эффект Джонса – Рэя) не наблюдается. При малых значениях концентрации (до 10 %) увеличение поверхностного натяжения небольшое и немного отличается (меньше) от литературных данных.

На рис. 5 представлены результаты температурных исследований поверхностного натяжения при концентрации раствора $C = 20\%$.

Анализ данных показывает, что при увеличении температуры раствора коэффициент поверхностного натяжения линейно уменьшается, что подтверждает выводы рабо-

ты [5]. Наблюдаемая разница в результатах (рис. 4 и 5) может быть связана с величиной массовой доли хлорида натрия в поваренной соли, используемой в эксперименте, а также с применяемой в данной работе методикой определения поверхностного натяжения.

На рис. 6 представлены результаты температурных исследований поверхностного натяжения при различных значениях концентрации раствора.

Зависимость 3 на рис. 6 получена для чистой воды. Для нее определен температурный коэффициент поверхностного натяжения $\alpha = 0,16 \text{ мН}/(\text{м}\times\text{K})$. Экспериментальные результаты для воды совпадают с табличными данными [9]. Анализ опытных зависимостей для разных концентраций водного раствора

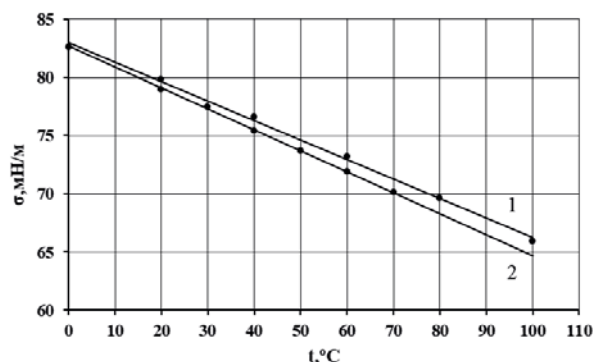


Рис. 5. Температурная зависимость поверхностного натяжения на границе воздух – водный раствор хлорида натрия (концентрация раствора $C = 20\%$, 1 – данные работы [5], 2 – экспериментальные результаты)

Примечание: составлено автором.

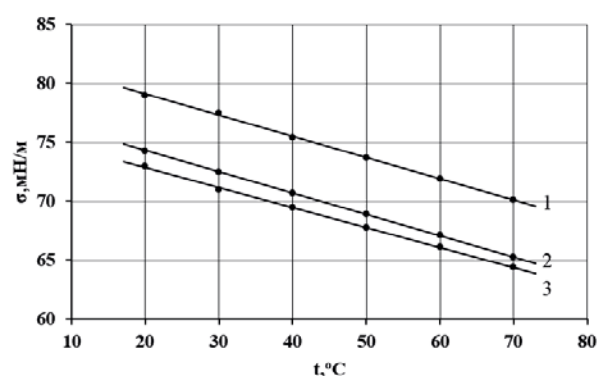


Рис. 6. Температурная зависимость поверхностного натяжения на границе воздух – водный раствор хлорида натрия при различных концентрациях раствора (1 – $C = 20\%$, 2 – $C = 10\%$, 3 – $C = 0\%$)

Примечание: составлено автором.

хлорида натрия показывает, что с увеличением температуры раствора поверхностное натяжение линейно уменьшается с температурным коэффициентом, равным $\alpha = 0,18 \text{ мН}/(\text{м} \times \text{К})$. Причем величина коэффициента не зависит от концентрации раствора. Уменьшение поверхностного натяжения связано с тем, что с ростом температуры увеличивается интенсивность теплового движения молекул жидкости и в результате ослабляется межмолекулярное взаимодействие. В настоящее время не существует универсальной модели поверхностного натяжения жидкостей, которая позволила бы количественно объяснить экспериментальные результаты [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В природе и технике чрезвычайно распространены разнообразные поверхностные явления. Их изучение важно для более глубокого понимания различных физико-химических

процессов и решения многих научных и инженерных задач в области физики, биологии, медицины, химии, а также при исследовании атмосферных явлений [1]. В связи с этим актуальным направлением является изучение поверхностных свойств воды и водных растворов солей. Результаты данного исследования имеют как фундаментальное, так и прикладное значение. Полученные в работе данные по поверхностному натяжению водного раствора хлорида натрия в широком интервале концентрации при различных температурах могут служить справочным материалом при проведении различных технологических расчетов, а также в ходе анализа процессов разделения и очистки жидких смесей [5]. Кроме этого, водные растворы хлорида натрия являются основными объектами при экспериментальных исследованиях структуры и термодинамических свойств водных растворов электролитов [3].

Список источников

1. Чулкова Е. В., Емельяненко А. М., Емельяненко К. А. и др. Параметры переохлажденных капель воды и водных растворов хлоридов щелочных металлов в интервале от 25 до -19°C // Журнал физической химии. 2020. Т. 94, № 3. С. 436–442.
2. Русанов А. И., Прохоров В. А. Межфазная тензометрия. СПб.: Химия, 1994. 397 с.
3. Федорова А. А., Улитин М. В. Поверхностное натяжение и адсорбция электролитов на границе раздела фаз водный раствор – газ // Журнал физической химии. 2007. Т. 81, № 7. С. 1278–1281.
4. Хайдаров Г. Г., Хайдаров А. Г., Машек А. Ч. и др. Влияние температуры на поверхностное натяжение // Вестник Санкт-Петербургского университета. Физика и Химия. 2012. № 1. С. 24–28.
5. Варгафтик Н. В. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.
6. Ролдугин В. И. Физикохимия поверхности. 2-е изд., испр. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 565 с.
7. Vonnegut B. Rotating bubble method for the determination of surface and interfacial tensions. *Review of Scientific Instruments*. 1942;13(1):6–9.
8. Трумбетова З. М., Заводовский А. Г. Исследование коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор АСП для различных ПАВ // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2016. № 5. С. 86–90. DOI 10.31660/0445-0108-2016-5-86-90.
9. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М. и др. Физические величины: справочник / под ред.

References

1. Chulkova E. V., Emelyanenko A. M., Emelyanenko K. A. et al. Parameters of supercooled droplets of water and aqueous solutions of chlorides of alkali metals in the temperature range of $+25$ to -19°C . *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 2020;94(3):436–442. (In Russian).
2. Rusanov A. I., Prokhorov V. A. *Mezhfaznaia tenzometriia*. St. Petersburg: Khimiia; 1994. 397 p. (In Russian).
3. Fedorova A. A., Ulitin M. V. Surface tension and adsorption of electrolytes at the aqueous solution–gas interface. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 2007;81(7):1278–1281. (In Russian).
4. Khaidarov G. G., Khaidarov A. G., Mashek A. Ch. et al. Temperature influence on surface tension. *Vestnik SPbSU. Physics and Chemistry*. 2012;(1):24–28. (In Russian).
5. Vargaftik N. V. *Spravochnik po teplofizicheskim svoistvam gazov i zhidkosti*. Moscow: Nauka; 1972. 720 p. (In Russian).
6. Roldugin V. I. *Fizikokhimiia poverkhnosti*. 2nd ed., rev. ed. Dolgoprudny: Intellekt; 2011. 565 p. (In Russian).
7. Vonnegut B. Rotating bubble method for the determination of surface and interfacial tensions. *Review of Scientific Instruments*. 1942;13(1):6–9.
8. Trumbetova Z. M., Zavadovskiy A. G. Study of the surface tension factor at the boundary oil – ASP solution for various surfactants. *Oil and Gas Studies*. 2016;(5):86–90. DOI 10.31660/0445-0108-2016-5-86-90. (In Russian).
9. Babichev A. P., Babushkina N. A., Bratkovsky A. M. et al. *Fizicheskie velichiny*. Reference book. Grigorye-

- И. С. Григорьева, Е. З. Мейликова. М. : Энергоатомиздат, 1991. 1231 с.
10. Масимов Э. А., Эйвазов Э. А., Ибрагимли А. Б. и др. Анализ температурной зависимости поверхностного натяжения жидкостей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12–4. С. 622–624.
- va I. S., Meylikova E. Z., editors. Moscow: Energoatomizdat; 1991. 1231 p. (In Russian).
10. Masimov E. A., Eivazov E. A., Ibragimli A. B. et al. Analysis of temperature depends on the liquid surface tension. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*. 2015;(12–4):622–624. (In Russian).

Информация об авторе

А. Г. Заводовский – кандидат физико-математических наук, доцент.

Information about the author

A. G. Zavodovsky – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent.