

ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 675.043.42

DOI 10.55421/3034-4689_2026_29_2_146

Г. Г. Лутфуллина, Ф. Р. Валеева, Я. Л. Люлинская

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПАВ
ПРОИЗВОДСТВА ООО «ШИХ»*Ключевые слова: поверхностное натяжение, поверхностно-активные вещества (ПАВ), размер частиц, ζ-потенциал, критическая концентрация мицеллообразования.*

Изучены функциональные свойства ПАВ (СН-22Ш, СН-МБ – композиции из анионных и неионогенных ПАВ, СН-20-з – неионогенный ПАВ) производства ООО «Шебекинская индустриальная химия». На тензиометре фирмы KRUSS определены значения поверхностного натяжения, благодаря которым выявлено, что исследуемые образцы проявляют высокую поверхностную активность и способны к образованию коллоидных ПАВ: критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) составила от 0,25 до 0,5 г/л. Среди исследуемых препаратов незначительно выделяется СН-20-з, у которого даже при небольшой концентрации (0,0625 г/л) резко сокращается поверхностное натяжение от 72,0 до 35,0 мН/м, после чего рост концентрации практически не влияет на изменение характера изотермы. Эксперименты по определению размеров частиц и дзета потенциала изучаемых ПАВ были проведены на анализаторе размера частиц Zetasizer Nano компании Malvern. Установлено наличие в образцах как нано, так и микрочастиц. Минимальное значение гидродинамического радиуса частиц до ККМ составило 99,3 нм для СН-22-Ш, максимальное – для СН-20-з. После ККМ рост продолжился и составил соответственно 294,6 нм и 625,7 нм. Для СН-МБ существенной разницы до стадии мицеллообразования и после нее не наблюдалось и радиус частиц составил 241,1 нм–257,8 нм. Установлено, что исследуемые СН-22Ш и СН-МБ обладают высокой агрегативной устойчивостью начиная с концентраций 4,0 г/л и 0,4 г/л соответственно. Для СН-20-з количество ПАВ, при котором наблюдается агрегативная устойчивость не найдена: значения ζ-потенциала не фиксировались в диапазоне $30\text{ мВ} < \zeta < -30\text{ мВ}$ во всем интервале концентраций.

G. G. Lutfullina, F. R. Valeeva, Ya. L. Lyulinskaya

DETERMINATION OF FUNCTIONAL PROPERTIES
OF AQUEOUS SURFACTANT SOLUTIONS PRODUCED BY LLC SHIKH*Keywords: surface tension, surfactants (surface-active agents), particle size, zeta potential, critical micelle concentration.*

The functional properties of surfactants produced by LLC “Shebekinskaya Industrial Chemistry” were investigated: SN-22Sh and SN-MB – blends of anionic and nonionic surfactants, SN-20-z – a nonionic surfactant. Surface tension measurements were carried out using a KRUSS tensiometer. The results revealed that all tested samples exhibit high surface activity and are capable of forming colloidal aggregates, with CMC values ranging from 0.25 to 0.5 g/L. Among the studied formulations, SN-20-z stands out: even at a low concentration of 0.0625 g/L, it causes a sharp reduction in surface tension—from 72.0 to 35.0 mN/m—after which further increases in concentration have practically no effect on the shape of the surface tension isotherm. Particle size and zeta potential measurements were performed using a Malvern Zetasizer Nano particle analyzer. Both nano- and microparticles were detected in the samples. The minimum hydrodynamic radius prior to CMC was 99.3 nm for SN-22Sh, while the maximum was observed for SN-20-z. Above the CMC, particle sizes increased further, reaching 294.6 nm and 625.7 nm, respectively. In contrast, SN-MB showed no significant change in particle size before and after micellization, remaining within 241.1–257.8 nm. Aggregation stability was observed for SN-22Sh starting at concentrations of 4.0 g/L and for SN-MB from 0.4 g/L. However, for SN-20-z, no concentration yielded aggregation stability: zeta potential values never entered the stability range ($|\zeta| > 30\text{ mV}$) across the entire tested concentration interval, indicating a tendency toward rapid flocculation.

Введение

В химической технологии широко применяются разнообразные дисперсные системы, которые играют ключевую роль в протекании многих процессов – от синтеза и катализа до разделения фаз и получения материалов с заданными свойствами [1]. Отличительным показателем дисперсных систем является имеющаяся межфазная поверхность, определяющими являются свойства поверхности, а не частиц в целом [2]. Характерными являются процессы, протекающие непосредственно на границе фаз, а не в объеме. Результаты определения поверхностного натяжения используются для комментирования капиллярности, явления

смачивания и многих других областях [3,4]. Именно на границе раздела фаз концентрируется свободная энергия системы, что и обуславливает высокую реакционную способность и адсорбционную активность дисперсных систем. Поверхностные явления становятся доминирующими по мере увеличения степени дисперсности, когда размер частиц уменьшается, а площадь межфазной поверхности резко возрастает [5].

Одним из ключевых параметров, влияющих на физические и химические свойства частицы, а также качественные характеристики, является ее размер [5].

От следующего параметра зависит стабильность дисперсных систем, и он является мерой

электростатического взаимодействия между частицами. Это ζ -потенциал. Диагностирование ζ -потенциала играет решающую роль при изучении, анализе и контроле механизмов диспергирования, агрегации или флокуляции. Кроме этого, исследование данного показателя может применяться для совершенствования свойств дисперсий, коллоидных растворов, эмульсий и суспензий на этапах разработки и производства [5].

Целью работы является анализ популярной продукции ООО «ШИХ», предназначенной для обработки кожевенного и мехового сырья на примере ПАВ (СН - МБ, СН - 22Ш, СН - 20-з) и исследование их свойств: поверхностное натяжение, размер частиц, дзета-потенциал [6,7].

Экспериментальная часть

Поверхностное натяжение исследуемых ПАВ измеряли на цифровом тензиометре фирмы KRUSS [8]. Показатель определяли методом отрыва кольца (Дю-Нуи). Метод основан на постепенном отрыве кольца до тех пор, пока оно не оторвется от поверхности жидкости. В момент отрыва фиксируется сила, требуемая для удержания кольца, и на ее основе вычисляется значение поверхностного натяжения [9,10].

Вторым этапом исследования являлось определение размера частиц и дзета-потенциала. Данные параметры измеряли на анализаторе размера частиц Zetasizer Nano компании Malvern методом динамического рассеяния света. Принцип данного метода основан на взаимосвязи скорости диффузии молекул и частиц, находящихся в постоянном Броуновском движении, с размером частиц. Анализируя рассеянный свет, можно определить распределение частиц по их величине [11].

Принцип измерения ζ -потенциала заключается в следующем: мельчайшие частицы в растворе несут положительный или отрицательный заряд и окружены ионами противоположного знака. Под действием электрического поля они движутся к противоположно заряженному электроду, причем их скорость прямо пропорциональна заряду. При лазерном облучении рассеянный свет испытывает доплеровский сдвиг, по величине которого определяют ζ -потенциал [12].

Результаты и их обсуждение

Для исследования поверхностного натяжения получены кривые зависимости поверхностного натяжения растворов ПАВ (σ , мН/м) от их концентрации (С, г/л) (рис. 1- 3).

Результаты экспериментов свидетельствуют, что все три исследованных препарата - СН-22Ш, СН-МБ и СН-20-з демонстрируют схожее поведение: их поверхностное натяжение снижается с высокой эффективностью, что указывает на выраженную поверхностную активность. Наиболее ярко это проявляется у СН-20-з: даже при минимальной концентрации (0,0625 г/л) поверхностное натяжение воды резко падает с 72,0 до 35,0 мН/м, а дальнейшее

увеличение концентрации практически не изменяет форму изотермы.

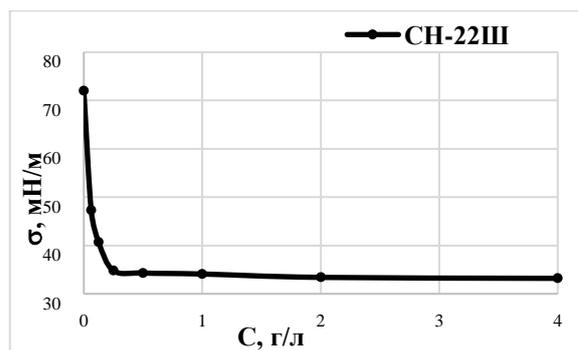


Рис. 1 – Зависимость поверхностного натяжения ПАВ СН-22Ш от концентрации

Fig. 1 – Dependence of surface tension (σ) of surfactant SN-22SH on concentration

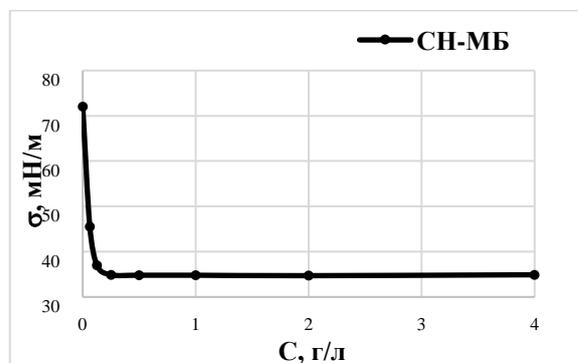


Рис. 2 – Зависимость поверхностного натяжения σ ПАВ СН-МБ от концентрации

Fig. 2 – Dependence of surface tension (σ) of surfactant SN-MB on concentration

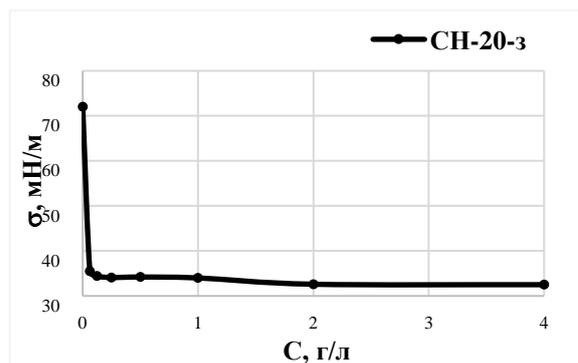


Рис. 3 – Зависимость поверхностного натяжения σ ПАВ СН-20-з от концентрации

Fig. 3 – Dependence of surface tension (σ) of surfactant SN-20-z on concentration

Значения точек ККМ расшифровать соответствуют истинной растворимости ПАВ и лежат в диапазоне от 0,25 до 0,5 г/л [13].

Выполнены экспериментальные исследования для определения среднего размера частиц анализируемых препаратов. Анализ диаграммы (рисунок 4) показывает, что с увеличением

концентрации веществ гидродинамический радиус их частиц возрастает. До ККМ наименьшее значение радиуса наблюдается у препарата СН-22Ш - 99,3 нм. Согласно прогнозируемому поведению, при достижении ККМ молекулы начинают самопроизвольно агрегировать и формировать мицеллы: гидродинамический радиус частиц увеличивается и составляет для СН-22Ш 111,1 нм, для СН-МБ 244,7 нм, а для СН-20-з 528,5 нм. При концентрациях выше ККМ радиус продолжает демонстрировать рост, что доказывает увеличение дисперсной фазы [14]. Наиболее резкий скачок в сторону роста радиуса отмечен у СН-22Ш что, вероятно, указывает на повышенную склонность к агрегации по сравнению с другими ПАВ.

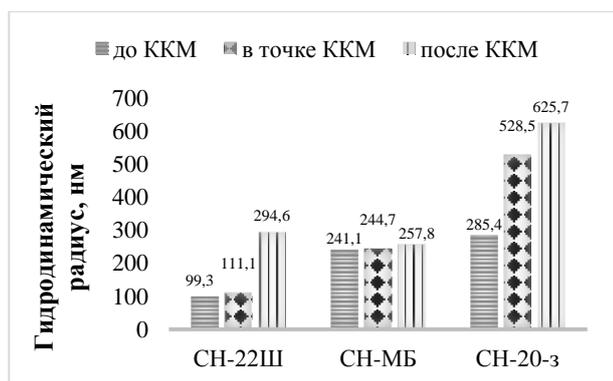


Рис.4 – Зависимость гидродинамического радиуса образцов ПАВ от концентрации

Fig. 4 – Dependence of the hydrodynamic radius of surfactant samples on concentration

На основании полученных данных можно предположить, что исследуемые препараты ООО «ШИХ» занимает промежуточное положение между нано- и микрочастицами [15].

ζ -потенциал служит показателем взаимодействия между частицами, в следствии чего, его измерение позволяет оценить стабильность самой дисперсной системы [12]. Графики зависимостей значений ζ -потенциала от интенсивности сигнала представлены на рисунке 5.

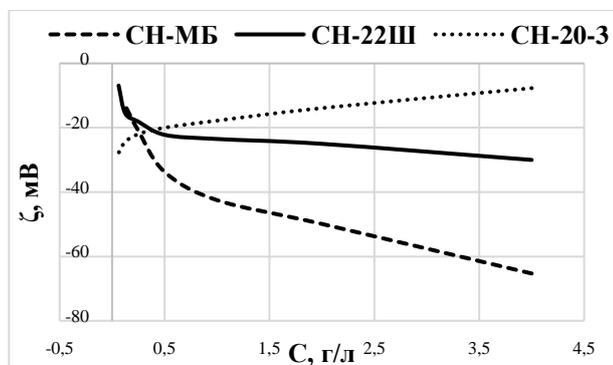


Рис.5 – Результат зависимости ζ -потенциала ПАВ СН-22Ш, СН – МБ, СН – 20 – з от концентрации (С, г/л)

Fig. 5 – Dependence of the zeta potential of surfactant SN-22Sh, SN-MB, SN-20-z on concentration (C, g/L)

Экспериментальные результаты можно охарактеризовать следующим образом: в связи с адсорбцией ПАВ, которая приводит к увеличению отрицательного заряда на поверхности частиц, с ростом концентрации ПАВ СН-22Ш и СН-МБ величина ζ -потенциала становится более отрицательной.

Общепринято, что устойчивость частиц в дисперсных системах обеспечивается при условии, что значение ζ -потенциала находится вне диапазона от -30 мВ до $+30$ мВ, то есть $|\zeta| > 30$ мВ [16].

Этим требованиям соответствуют препараты СН-22Ш и СН-МБ.

Устойчивость растворов СН-22Ш к процессу коагуляции растет, начиная с концентрации 4,0 г/л (рисунок 5), а для растворов СН-МБ эта значение этой концентрации фиксируется на отметке 0,4 г/л. До и после отмеченных точек для соответствующих ПАВ наблюдается метастабильное состояние. Необходимо отметить, что в экспериментах с СН-22Ш и СН-20-з регистрировались низкие значения ζ -потенциала (ниже ± 10 мВ). Это указывает на то, что частицы исследуемых ПАВ склонны к быстрой флокуляции.

Интерпретация данных графика для СН-20-з позволяет сделать вывод, что последний, не фиксируя значения ζ -потенциала в диапазоне $30\text{мВ} < \zeta < -30$ мВ, является нестабильной системой. Однако при минимальных концентрациях ($0,0625$ г/дм³) зарегистрированы значения электрокинетического потенциала, близкие к -30 мВ.

Литература

1. Л. М. Мансураева, И. И. Юсупова, С. А. Булаев, Вестник магистратуры: *Поверхностно-активные вещества: свойства и применение*, 2-1(125), 2022. С. 30-35.
2. Г.Г. Лутфуллина, Н.В. Саутина Н.В, М. С. Ежова,Б.Д. Зулин В сб. *Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий: материалы II Всероссийской конференции с международным участием*. Казань, 2024. С. 167-169.
3. Г.Г. Лутфуллина, Р.И. Хайрутдинова, В сб. *Новые технологии и материалы легкой промышленности: XVI Всероссийская научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых*. КНИТУ, Казань, 2020. С. 299-302.
4. Г.Г. Лутфуллина, С.А. Петрова, В сб. *Новые технологии и материалы легкой промышленности: XVI Всероссийская научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых*. КНИТУ, Казань, 2020. С. 342-345.
5. Анализатор размеров частиц Zetasizer Nano ZS [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ecointech.com/product/zetasizer-nano-zs/>.
6. ООО «Шебекинская индустриальная химия» официальный сайт [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://shebinchim.ru/contacts.html>.
7. Г.Г. Лутфуллина, Ф.Р. Валеева, Я.Л. Люлинская, В сб.: *Легкая промышленность: проблемы и перспективы*. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Омск, 2025. С. 224-229.
8. Тензиометр цифровой К9 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.infolab.ru/kruss/k9.php>.
9. М.Р. Каткова, *Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва кольца*.

- Нижегородский госуниверситет, Нижний Новгород, 2021. 16 с.
10. Г.Г. Лутфуллина *Вестник технол. ун-та*, 27,5, 5-9 (2024).
11. Динамическое светорассеяние [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.microtrac.com/ru/products/dynamic-light-scattering/> (дата обращения 10.12.2025).
12. Определение дзета-потенциала [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.j-analytics.ru/files/article_pdf/6/article_6131_44.pdf.
13. С. А. Петрова, Р. И. Хайрутдинова, Г. Г. Лутфуллина, В сб. Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2019. С. 190-192.
14. Е.В. Михеева, Л.С. Анисимова, *Определение поверхностного натяжения. Расчет молекулярных характеристик исследуемого ПАВ. Исследование мицеллообразования в растворах коллоидных ПАВ.* Томский политехнический университет, Томск, 2009. –24 с.
15. Б.Д. Сумм, *Основы коллоидной химии.* М, Академия, 2009. 240 с.
16. Г. Г. Лутфуллина, С. А. Петрова, К. А. Булыгина, В сб. *Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг.* Лик, Новочеркасск, 2019. С. 59-63.
4. G.G. Lutfullina, S.A. Petrova. In: *New Technologies and Materials of the Light Industry: XVI All-Russian Scientific and Practical Conference with Elements of a Scientific School for Students and Young Scientists.* KNITU, Kazan, 2020. Pp. 342-345.
5. Zetasizer Nano ZS Particle Size Analyzer [Electronic resource] / Access mode: <https://ecointech.com/product/zetasizer-nano-zs/> (accessed 10.12.2025).
6. "Shebekinskaya Industrial Chemistry" LLC official website [Electronic resource] / Access mode: <https://shebinchim.ru/contacts.html> (accessed 10.12.2025).
7. G.G. Lutfullina, F.R. Valeeva, Ya. L. Lyulinskaya In: *Light industry: problems and prospects. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference.* Omsk, 2025. Pp. 224-229.8.
8. Digital Tensiometer K9 [Electronic resource] / Access mode: <http://www.infolab.ru/kruss/k9.php> (accessed 10.12.2025).
9. M.R. Katkova. *Measurement of the Liquid Surface Tension Coefficient by the Ring Detachment Method.* Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod, 2021. 16 p.
10. G.G. Lutfullina. *Bulletin of the Technological University*, 27(5), 5-9 (2024) DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_5_5
11. Dynamic Light Scattering [Electronic resource] / Access mode: <https://www.microtrac.com/ru/products/dynamic-light-scattering/> (accessed 10.12.2025).
12. Determination of Zeta Potential [Electronic resource] / Access mode: https://www.j-analytics.ru/files/article_pdf/6/article_6131_44.pdf (accessed 10.12.2025).
13. S. A. Petrova, R. I. Khairutdinova, G. G. Lutfullina. In: *Youth and Science: Current Problems of Fundamental and Applied Research: Proceedings of the II All-Russian National Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists.* Komsomolsk-on-Amur, 2019. Pp. 190-192.
14. E.V. Mikheeva, L.S. Anisimova. *Determination of Surface Tension. Calculation of Molecular Characteristics of the Studied Surfactant. Study of Micellization in Colloidal Surfactant Solutions.* Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2009. 24 p.
15. B.D. Summ. *Fundamentals of Colloidal Chemistry.* Moscow, Academia, 2009. 240 p.
16. G. G. Lutfullina, S. A. Petrova, K. A. Bulygina. In: *Technical Regulation: The Basic Foundation for the Quality of Materials, Goods and Services.* Lik, Novocherkassk, 2019. Pp. 59-63.

References

© Г. Г. Лутфуллина – доктор технических наук, профессор каф. Плазмохимических технологий наноматериалов и покрытий, Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, gulnaz777@bk.ru; Ф. Р. Валеева – магистр, КНИТУ, who_i_am702@mail.ru; Я. Л. Люлинская – аспирант, КНИТУ, m23.lyulinskaya.y.l@inhn.ru.

© G. G. Lutfullina – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor of the Department of Plasma-Chemical Technologies of Nano materials and Coatings, Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, gulnaz777@bk.ru; F. R. Valeeva – Master-student, KNRTU, who_i_am702@mail.ru; Ya. L. Lyulinskaya – PhD-student, KNRTU, m23.lyulinskaya.y.l@inhn.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 24.12.25

Дата принятия рукописи в печать – 21.01.26