

КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ НЕИОНОГЕННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ ЖИРНЫХ КИСЛОТ КУКУРУЗНОГО МАСЛА И ДИЭТАНОЛАМИНА**Г.Г. Лутфуллина, А.А. Фатхутдинова, В.Е. Проскурина**

Гульназ Гусмановна Лутфуллина (ORCID 0000-0002-6309-4740)*

Кафедра плазмохимических технологий наноматериалов и покрытий, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, Казань, Российская Федерация, 420015

E-mail: gulnaz777@bk.ru*

Альмира Альбертовна Фатхутдинова (ORCID 0000-0002-0033-0590)

Учебно-методическое управление, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, Казань, Российская Федерация, 420015

E-mail: almirafathutdinova@yandex.ru

Виктория Евгеньевна Проскурина (ORCID0000-0003-0138-4774)

Кафедра физической и коллоидной химии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, Казань, Российская Федерация, 420015

E-mail: ProskurinaVE@corp.knrtu.ru

На основе неионогенного поверхностно-активного вещества из жирных кислот кукурузного масла и диэтаноламина разработаны композиции. С использованием современных методов и приборов исследованы коллоидно-химические и физико-химические свойства композиций. Доказано, что разработанные композиции обладают поверхностно-активными свойствами. Определено значение критической концентрации мицеллообразования, которое составило 0,5-1,0 г/дм³. При этом поверхностное натяжение растворов композиций при концентрации 1,0 г/дм³ составляет 34,2-36,0 мН/м. Отмечено наличие смачивающих свойств композиций поверхностно-активных веществ по отношению к гидрофильной (желатиновой) поверхности. Так, оценка краевого угла смачивания при концентрации композиций 1,0 г/дм³ показала значения 87,0-96,0 °. Подтверждено наличие эмульгирующих свойств композиций (стабильность более 2 ч) по отношению к индустриальному маслу. Определена концентрация эмульсий водных растворов композиций поверхностно-активных веществ (4,0 г/дм³), при которой отслеживается наибольшая устойчивость. Измерения проводили в температурном диапазоне от 20 до 40 °С. Установлена принадлежность разработанных систем к высокодисперсным с диаметром частиц в интервале от 10,0 нм до 1,0 мкм. При этом системы характеризуются монодисперсностью. Размеры частиц до достижения критической концентрации мицеллообразования составляют 80,1-112,1 нм, в точке критической концентрации мицеллообразования – 144,8-195,0 нм, а после – 174,0-272,2 нм. Экспериментально доказана агрегативная устойчивость изучаемых композиций. Таким образом, их частицы не предрасположены к быстрой коагуляции до достижения критической концентрации мицеллообразования. При этом значения дзета-потенциала ниже ± 10 мВ не зарегистрированы. По результатам исследований рекомендованы к применению все композиции, но композиции с содержанием анионного ПАВ 35-40% и неионного ПАВ 7% обладают оптимальным набором показателей.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, композиции, Бетол Н, свойства, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, эмульгирование, пенообразование, размер частиц

Для цитирования:

Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А., Проскурина В.Е. Композиции на основе неионогенного поверхностно-активного вещества из жирных кислот кукурузного масла и диэтаноламина. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. Вып. 6. С. 83–91. DOI: 10.6060/ivkkt.20256806.7154.

For citation:

Lutfullina G.G., Fatkhutdinova A.A., Proskurina V.E. Compositions based on a non-ionogenic surfactant from corn oil fatty acids and diethanolamine. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 6. P. 83–91. DOI: 10.6060/ivkkt.20256806.7154.

**COMPOSITIONS BASED ON A NON-IONOGENIC SURFACTANT
FROM CORN OIL FATTY ACIDS AND DIETHANOLAMINE**

G.G. Lutfullina, A.A. Fatkhutdinova, V.E. Proskurina

Gulnaz G. Lutfullina (ORCID 0000-0002-6309-4740)*

Department of Plasma-Chemical Technologies of Nanomaterials and Coatings, Kazan National Research Technological University, K. Marx st., 68, Kazan, 420015, Russia

E-mail: gulnaz777@bk.ru*

Almira A. Fatkhutdinova (ORCID 0000-0002-0033-0590)

Educational and Methodological Department, Kazan National Research Technological University, K. Marx st., 68, Kazan, 420015, Russia

E-mail: almiragathutdinova@yandex.ru

Viktoria E. Proskurina

Department of Physical and Colloid Chemistry, Kazan National Research Technological University, K. Marx st., 68, Kazan, 420015, Russia

E-mail: ProskurinaVE@corp.knrtu.ru

Compositions have been developed based on a non-ionic surfactant made from fatty acids of corn oil and diethanolamine. Using modern methods and devices, the colloidal-chemical and physicochemical properties of the compositions were studied. It has been proven that the developed compositions have surface-active properties. The value of the critical micelle concentration was determined to be 0.5-1.0 g/dm³. In this case, the surface tension of the solutions of the compositions at a concentration of 1.0 g/dm³ is 34.2-36.0 mN/m. The presence of wetting properties of surfactant compositions in relation to a hydrophilic (gelatinous) surface was noted. Thus, the assessment of the contact angle of wetting at a composition concentration of 1.0 g/dm³ showed values of 87.0-96.0 °. The presence of emulsifying properties of the compositions (stability over 2 h) in relation to industrial oil has been confirmed. The concentration of emulsions of aqueous solutions of surfactant compositions (4.0 g/dm³) was found, at which the greatest stability is observed. The temperature measurement scale varied from 20 to 40 °C. The developed systems were found to be highly dispersed with an internal particle diameter of 10.0 nm to 1.0 µm. In this case the systems are characterized by monodispersity. Particle sizes before reaching the critical micelle concentration are 80.1-112.1 nm, at the point of critical micelle concentration – 144.8-195.0 nm, and after – 174.0-272.2 nm. The aggregative stability of the studied compositions has been experimentally proven. Thus, their particles are not prone to rapid coagulation before reaching the critical micelle concentration. However, zeta potential values below ± 10 mV were not recorded. According to the research results, all compositions are recommended for use, but compositions with an anionic surfactant content of 35-40% and a nonionic surfactant content of 7% have an optimal set of indicators.

Keywords: surfactants, compositions, Betol H, properties, surface tension, contact angle, emulsification, foaming, particle size

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальность и популярность создания и исследования композиций по-

верхностно-активных веществ (ПАВ), то есть смешанных систем ПАВ неоспорима. Объясняется это разительной эффективностью в практике применения композиций ПАВ по многим коллоидно-химиче-

Таблица 1

Соотношение аПАВ и нПАВ в композициях
Table 1. The ratio of asurfactants and nsurfactants in compositions

Номер композиции	аПАВ	нПАВ	Вода
№ 1	30%	5%	65%
№ 2	35%	5%	60%
№ 3	40%	5%	55%
№ 4	30%	7%	63%
№ 5	35%	7%	58%
№ 6	40%	7%	53%

ским показателям (изменение поверхностного натяжения, улучшение смачивания, стабилизация эмульсий, солюбилизирующая, пенообразующая способности и т.д.) [1-13]. Безусловно, синергизм в композициях ПАВ различной природы вызывает интерес в отношении их использования как в промышленности, так и в быту, благодаря улучшенным потребительским характеристикам и заданным свойствам, например, моющих составов.

Вне всякого сомнения, индивидуальное вещество по сравнению с композициями ПАВ с набором свойств, имеет недостатки, например, низкая эмульгирующая способность. Именно поэтому эмульгаторам из смеси ПАВ свойственна отличная стабильность эмульсии, благодаря наличию в системе неионогенных ПАВ (нПАВ), предотвращающих осаждение частиц и анионных ПАВ (аПАВ), гарантирующих устойчивость к действию жесткой воды [14].

Ассортимент используемых ПАВ и спектр их применения многочисленны: моющие препараты, стабилизаторы пен и эмульсий, смачивающие агенты, антистатические средства, диспергаторы и т.д. [15-31].

Невзирая на то, что по-прежнему нефтехимическое сырье занимает лидирующее место для синтеза ПАВ, наблюдается возрастающий интерес к производству ПАВ из природных источников сырья [15-21]. Следует отметить, что воспроизводимое экологическое сырье для производства ПАВ активно используется в «зеленой» тенденции.

Целью данной работы является разработка и изучение коллоидно-химических свойств композиций из аПАВ и нПАВ. В качестве анионного ПАВ использован алкилсульфонат натрия – известное и широко используемое в различных областях промышленности ПАВ. Для получения нПАВ использованы жирные кислоты кукурузного масла (ЖККМ) [20, 29-31]. В составе кукурузного масла содержатся непредельные ненасыщенные жирные кислоты: олеиновая, линолевая (~85%); насыщенные: пальмитиновая и стеариновая (~15%).

Таким образом, разработка композиций ПАВ на основе синтезированного нПАВ и аПАВ является целесообразной.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

С целью приготовления композиций навеску нПАВ (5-7 г) и аПАВ (35-45 г) помещают в колбу на 100 см³. К получившейся системе добавляют дистиллированную воду до 100 дм³. Далее происходит тщательное перемешивание до полного растворения массы. В табл. 1 представлено процентное содержание ПАВ в разработанных композициях.

Следующий этап работы заключался в определении наличия и оценке коллоидно-химических и физико-химических свойств разработанных композиций ПАВ, а именно: поверхностного натяжения, смачивающей и пенообразующей способностей, эмульгирующих свойств, гидродинамического радиуса частиц и агрегативной устойчивости систем (дзета (ζ)-потенциала).

Используя метод отрыва кольца в динамическом режиме, анализировали способность композиций ПАВ снижать поверхностное натяжение (σ) и смачивать поверхности (смачивающая способность (θ)). Измерения проводили на тензиометре DCAT 11 (DataPhysics, Германия). В основе метода лежит измерение максимально возможного усилия для отрыва платинового кольца с заданной геометрией от поверхности исследуемого вещества. При поднятии кольца жидкость стремится стечь с него. Это, в свою очередь, приводит к постепенному сокращению толщины пленки жидкости и отрыву кольца [32, 33].

Смачивающая способность композиций ПАВ определялась на гладкой гидрофильной подложке – желатине. На последнем непрерывное уменьшение краевого угла смачивания (θ) имеет место на всем пути.

При анализе пенообразующей способности композиций ПАВ изначально проводилась органолептическая оценка дисперсности пены, далее рассчитывалась кратность пены и регистрировалась ее стабильность по ГОСТ 22567.1-77. Сущность метода Росс-Майлса заключается в определении высоты столба пены, возникающей при свободном падении 200 см³ водного раствора композиций с высоты 900 мм на поверхность такого же раствора. Концентрации композиций ПАВ составляли 0,5-5,0 г/дм³. Кратность пены рассчитывали по следующей формуле:

$$K = V_f/V_1, \text{ ед.} \quad (1)$$

где V_f – объем пены, м³, V_1 – объем раствора пенообразователя, м³.

Для изучения эмульгирующих свойств разработанных композиций ПАВ использовали индустриальное масло (ГОСТ 20799-88), которое в количестве 25 см³ смешивали поочередно со всеми композициями ПАВ, добавляя 25 см³ дистиллированной воды. Эмульсии создавали микроизмельчителем марки РТ-2, позволяющим проводить диспергирование грубодисперсной системы, сочетающей в себе два несмешивающихся жидких слоя. Интенсивность вращения мешалки микроизмельчителя составляла 5000 мин⁻¹, время диспергирования - 1 мин. Далее наблюдалось постепенное расслаивание системы: на гидрофильную и гидрофобную части. Фиксировали начальные и конечные фазы дестабилизации.

Гидродинамический радиус частиц композиций ПАВ и величина ζ -потенциала измерялись на анализаторе Zetasizer Nano-ZS (Malvern instruments Ltd (Великобритания)), оснащённом гелий-неоновым лазером (633 нм, 4 мВт), методом динамического светорассеяния. Он охватывает этапы замера и последующей обработки обнаруживаемых сигналов флуктуаций в разные интервалы времени интенсивности рассеяния электромагнитных волн видимого диапазона при их взаимодействии с веществом. При этом непостоянство интенсивности рассеянного света является следствием хаотического движения частиц в растворе. Эксперименты предусматривали предварительное центрифугирование растворов композиций ПАВ. Параметры обработки: продолжительность 20 мин, количество оборотов 4000 об/мин. Использована центрифуга марки Т23 осадительного типа.

Агрегативная устойчивость системы проявляется в возможности системы противодействовать укрупнению частиц дисперсной фазы в процессах диспергирования, агрегации и флокуляции. Дзета (ζ)-потенциал является метрикой оценки устойчивости коллоидных систем. В работе использовался метод электрофоретического рассеяния света с применением технологии МЗ-PALS. Известно, что чем выше величина электрокинетического потенциала, тем более стабильна система [32].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработаны композиции с использованием синтезированного ранее ККДА – нПАВ, продукта конденсации жирных кислот кукурузного масла и диэтаноламина [20, 29-31].

Одной из значимых характеристик ПАВ и композиций на их основе является способность снижать поверхностное натяжение на границе раз-

дела двух фаз. В качестве контрольного ПАВ использовали отечественный реагент - Дельтанол (Бетол) Н (ООО «Бетакхим»).

Обнаружено, что поверхностное натяжение (σ) композиций 1-6 (табл. 1) при изменении концентрации и при температуре 20-22 °С снижается неинтенсивно: при концентрации 1,0 г/дм³ σ находится в пределах 34,2-36,0 мН/м. Поверхностное натяжение контрольного ПАВ Бетол Н при той же концентрации составляет 28,9 мН/м.

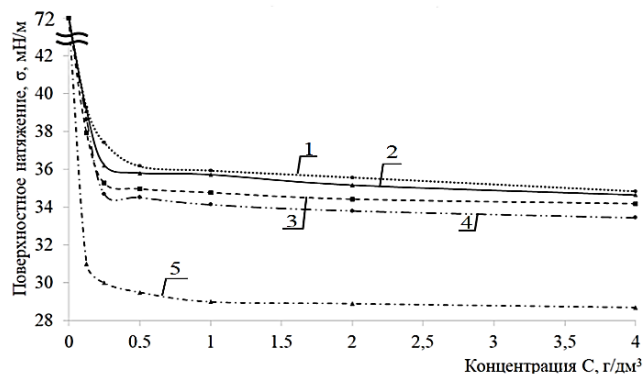


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения ПАВ от концентрации: 1 – композиция 6, 2 – композиция 3, 3 – композиция 5, 4 – композиция 2, 5 – Бетол Н

Fig. 1. Dependence of surface tension of surfactants on concentration: 1– composition 6, 2– composition 3, 3– composition 5, 4– composition 2, 5– Betal H

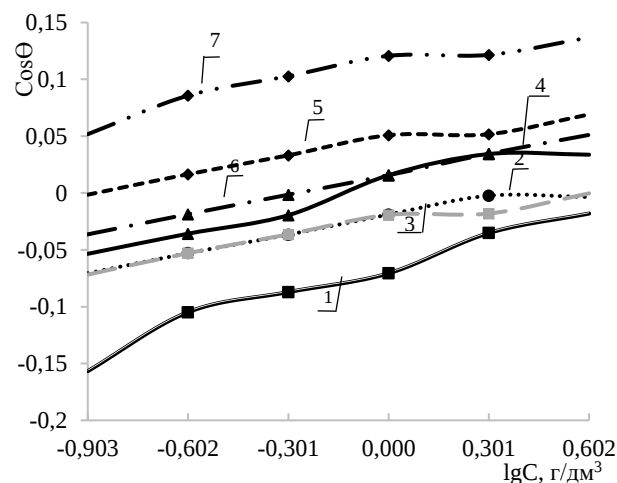


Рис. 2. Зависимость показателя угла смачивания ПАВ на гидрофильной поверхности: 1 – композиция 1, 2 – композиция 2, 3 – композиция 3, 4 – композиция 4, 5 – композиция 5, 6 – композиция 6, 7 – Бетол Н

Fig. 2. Dependence of the wetting angle index of surfactants on a hydrophilic surface: 1 – composition 1, 2 – composition 2, 3 – composition 3, 4 – composition 4, 5 – composition 5, 6 – composition 6, 7 – Betal H

ККМ соответствует 0,5 г/дм³ для композиций 1-5 и 0,5-1,0 г/дм³ для композиции 6. Для контрольного ПАВ Бетол Н - 1,5-2 г/дм³.

Как следует из литературного обзора, ПАВ присущи ценные свойства, которые зависят от различных факторов, в частности, от степени дисперсности, характеризующей внешний вид водной эмульсии.

На рис. 2 представлены результаты измерений показателя угла смачивания (θ) для исследуемых композиций.

Согласно рис. 2, контрольный Бетол Н показывает высокую смачивающую способность. При концентрации ПАВ $1,0 \text{ г/дм}^3$ θ составляет $83,4^\circ$. Разработанные композиции активно смачивают желатин, начиная с концентрации $0,25 \text{ г/дм}^3$. При концентрации ПАВ $1,0 \text{ г/дм}^3$ θ лежит в диапазоне от 87 до 96° . Максимальный смачивающий эффект наблюдается у композиций 4, 5, 6.

Все ПАВ способны образовывать устойчивые пены. Проведены исследования по определению пенообразующей способности композиций из ПАВ различной природы и рассчитана кратность пены. Результаты по кратности пены представлены на рис. 3.

Согласно представленному графику обнаружено, что контрольный ПАВ Бетол Н отличается самыми высокими значениями: при концентрации $2,0 \text{ г/дм}^3$ кратность пены равна 4,4 единицы. Максимальные значения кратности пен для композиций 3,5,6 ($1,5-1,6$ ед.) достигаются в диапазоне концентраций $4,0-6,0 \text{ г/дм}^3$. Таким образом, композиции относятся к группе пеноэмульсий.

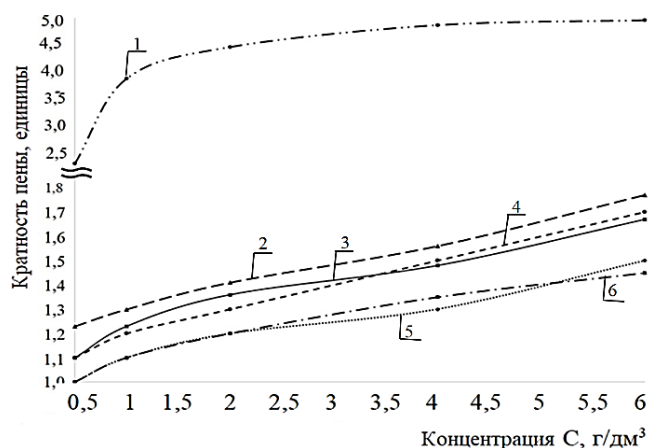


Рис. 3. Влияние композиций и контрольного ПАВ на кратность пены через 1 мин: 1 – бетол Н, 2 – композиция 6, 3 – композиция 5, 4 – композиция 3, 5 – композиция 4, 6 – композиция 2

Fig. 3. The effect of surfactants on foam expansion after 1 min: 1 – betol H, 2 – composition 6, 3 – composition 5, 4 – composition 3, 5 – composition 4, 6 – composition 2

С повышением концентрации композиций ПАВ кратность пены возрастает.

Таким образом, обнаружено, что полученные результаты доказывают наличие относительно невысоких показателей кратности пен для исследуемых композиций. Для повышения объема пены необходимо составлять композиции с большим содержанием аПАВ. Однако следует помнить, что избыточное пенообразование отрицательно сказывается как на экологии, так и на трудоемкости процессов обезжиривания, очищения различных объектов.

Результаты экспериментов подтвердили заметное влияние содержания нПАВ в составах и концентрации композиций на стабильность образуемых эмульсий. Наилучшие результаты получены для композиций 4-6, в том числе и при повышении температуры до 40°C . Контрольный ПАВ Бетол Н проявляет стабилизирующую способность более 100 минут при концентрации $4,0 \text{ г/дм}^3$.

Проведенный сравнительный анализ индивидуального ККДА и в составах композиций показал, что в композициях проявляется видимая повышенная эмульгирующая способность даже при комнатной температуре. Так, стабильность эмульсии до двух раз возрастает уже при концентрации $2,0 \text{ г/дм}^3$. Для сравнения: индивидуальный ККДА стабилен 35 мин, а композиции от 68 до 82 мин.

С ростом концентрации до 4 г/дм^3 стабильность увеличивается от 81 до 112 мин. При дальнейшем повышении концентрации до $6,0 \text{ г/дм}^3$ стабильность эмульсий составила от 114 до 194 мин. Начиная с концентраций $4,0 \text{ г/дм}^3$ композиции 4-6 проявляют эмульгирующие показатели (стабильны более 2 ч) и их можно применять в качестве эмульгаторов.

Проведена оценка показателя среднего размера частиц разработанных композиций ПАВ (табл. 2).

Таблица 2

Средние размеры частиц композиций ПАВ
Table 2. Average particle sizes of surfactant compositions

	Гидродинамический радиус частиц ПАВ, нм		
	Композиции 1,2	Композиции 3,4	Композиции 5,6
до точки ККМ	80,1-83,2	100,2-103,0	110,2-112,1
в точке ККМ	144,8-145,4	193,4-195,0	163,9-166,1
после точки КММ	174,0-176,2	248,0-249,7	270,1-272,2

Согласно полученным результатам, все композиции можно отнести к высокодисперсным системам с диаметром частиц от 10 нм до 1 мкм.

Так, при ККМ, равной $0,5 \text{ г/дм}^3$, минимальный средний радиус частиц наблюдается у композиций 1 и 2 ($144,8\text{--}145,4 \text{ нм}$).

После достижения ККМ радиусы частиц увеличиваются. Так, для композиций 1 и 2 определяемый радиус частиц составляет $174,0\text{--}176,2 \text{ нм}$.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что частицы исследуемых композиций ПАВ занимают промежуточное положение между нано- и микрочастицами.

Также в работе проведены измерения ζ -потенциала исследуемых композиций ПАВ. ζ -потенциал определяет стабильность дисперсных систем и является важнейшей характеристикой при контроле процессов диспергирования, агрегации, флокуляции. Согласно рис. 4, можно сделать вывод о том, что с ростом концентрации ПАВ наблюдается снижение ζ -потенциала.

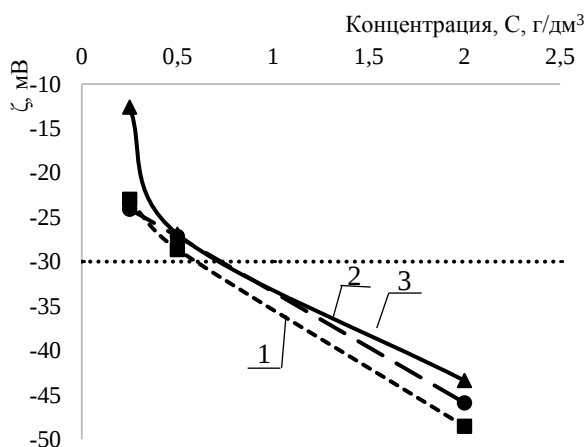


Рис.4. Зависимости ζ -потенциала композиций от концентрации ПАВ: 1 – композиция 1, 2 – композиция 3, 3 – композиция 5

Fig. 4. Dependences of the ζ -potential of the compositions on the concentration of surfactants: 1 – composition 1, 2 – composition 3, 3 – composition 5

Согласно рис. 4, можно сделать вывод о том, ростом расхода композиций ПАВ наблюдается снижение ζ -потенциала. Это указывает на то, что в результате повышения концентрации противоионов в растворе уменьшается толщина двойного электрического слоя. Концентрационные зависимости ζ -потенциала композиции 2 практически идентичны композиции 1, ζ -потенциала композиции 4 – композиции 3, ζ -потенциала композиции 6 – композиции 5 (табл. 1).

Таким образом, по полученным результатам констатируется, что исследуемые композиции ПАВ обладают агрегативной устойчивостью: до точки ККМ и после ККМ.

Исследованные свойства и показатели разработанных композиций представлены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-химические и коллоидно-химические показатели синтезированного нПАВ.

Table 3. Physico-chemical and colloid-chemical properties of the synthesized non-ionic surfactant

Наименование показателя	Показатели
Внешний вид	Светло-коричневая жидкая масса
Внешний вид водного раствора композиций ПАВ с концентрацией $10,0 \text{ г/дм}^3$	Прозрачная жидкость
ККМ, г/дм^3	$0,5 - 1,0$
Поверхностное натяжение композиций ПАВ ($1,0 \text{ г/дм}^3$), мН/м	$34,2 - 36,0$
Краевой угол смачивания композиций ПАВ концентрацией $1,0 \text{ г/дм}^3$, $^\circ$	$87,0 - 96,0$
Кратность пены, ед.	$1,5 - 1,6$
Размер (радиус) частиц композиций ПАВ: до ККМ, нм после ККМ, нм	$80,1 - 112,1$ $174,0 - 272,2$
Эмульгирующая способность (стабильность более 2 ч) композиций ПАВ концентрацией $4,0 \text{ г/дм}^3$	Стабильна

Таким образом, разработана методика составления композиций из ПАВ различной природы. Изучены коллоидно-химические свойства смешанных систем. Доказано, что разработанные композиции обладают поверхностно-активными свойствами и позволяют снизить величину поверхностного натяжения. Обнаружено, что поверхностное натяжение растворов композиций ПАВ в точке ККМ (при концентрации $0,5\text{--}1,0 \text{ г/дм}^3$) достигает $34,2\text{--}36,0 \text{ мН/м}$, а краевой угол смачивания желатиновой подложки составляет в среднем $87,0\text{--}96,0^\circ$. Явная стабильность эмульсии (эмульгирующие свойства) водных растворов композиций регистрируется при концентрации $4,0 \text{ г/дм}^3$ при температуре $22\text{--}40^\circ\text{C}$. Отмечено, что исследуемые системы относятся к высокодисперсным с диаметром частиц в диапазоне от $10,0 \text{ нм}$ до $1,0 \text{ мкм}$ и характеризуются монодисперсностью. Подтверждена агрегативная устойчивость растворов композиций ПАВ, их частицы не предрасположены к быстрой коагуляции. По результатам проведенных оценок рекомендуются композиции 5 и 6, как наиболее оптимальные по набору показателей поверхностно-активных свойств.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Лутфуллина Г.Г., Петрова С.А., Булыгина К.А. Оптимизация состава композиции ПАВ для обработки меха по критериям кратности пены и устойчивости эмульсий. Сб. тр. Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг. Новочеркасск: Изд-во ООО «Лик». 2019. С. 59-63.
2. Лутфуллина Г.Г., Хайрутдинова Р.И. Исследование поверхностного натяжения композиций ПАВ. Сб. тр. XVI Всеросс. науч.-практ. конф. с элем. науч. шк. для студ. и мол. уч. «Новые технологии и материалы легкой промышленности». Казань: Изд-во КНИТУ. 2020. С. 299-302.
3. Лутфуллина Г.Г., Петрова С.А. Исследование поверхностного натяжения композиций ПАВ. Сб. тр. XVI Всеросс. науч.-практ. конф. с элем. науч. шк. для студ. и мол. уч. «Новые технологии и материалы легкой промышленности». Казань: Изд-во КНИТУ. 2020. С. 342-345.
4. Хайдарова Л.М., Лутфуллина Г.Г., Абдуллин И.Ш. Анализ влияния разработанных составов пав на обезжиривание меховой овчины. *Вестн. Казан. Технолог. Ун-та*. 2010. № 11. С. 605-606.
5. Козлов В.В., Алтунина Л.К., Стасьева Л.А., Чернова У.В., Шолитодов М.Р. Лабораторные исследования нефтewытесняющей способности многофункциональной химической композиции на основе поверхностно-активных веществ. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2021. № 2 (146). С. 136-146. DOI: 10.31660/0445-0108-2021-2-136-146.
6. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Кувшинов И.В., Стасьева Л.А. Композиции на основе поверхностно-активных веществ для увеличения нефтеотдачи месторождений высоковязких нефтей в арктической зоне. *Петролеомика*. 2022. Т. 2. № 1. С. 49-63. DOI: 10.53392/27823857-2022-2-1-49.
7. Силин М.А., Магадова Л.А., Крисанова П.К., Филатов А.А., Сотникова Ю.В. Композиция на основе поверхностно-активных веществ для применения в технологии кислотного гидравлического разрыва пласта. *Нефтяное хозяйство*. 2023. № 8. С. 94-98. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-8-94-98.
8. Сафаров Ф.Э., Сергеева Н.А., Ратнер А.А., Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р., Халитов И.Ф., Ленченкова Л.Е., Телин А.Г. Композиция поверхностно-активных веществ для увеличения нефтеотдачи истощенных залежей девонских песчаников волго-уральского региона. *Нефтепромысл. дело*. 2022. № 7 (643). С. 32-38. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-7(643)-32-38.
9. Козорез М.Д., Котова С.В., Люсова Л.Р. Роль поверхностно-активных веществ в клеях на основе бутадиен-нитрильных каучуков. *Каучук и резина*. 2023. Т. 82. № 4. С. 186-190. DOI: 10.47664/0022-9466-2023-82-4-186-190.
10. Кюрегян Г.П., Комаров Н.В., Кюрегян О.Д. Классификация поверхностно-активных веществ. *Вестн. всеросс. науч.-иссл. ин-та жиров*. 2021. № 1-2. С. 57-58. DOI: 10.25812/VNIIG.2021.43.74.004.
11. Лутфуллина Д.Р., Хайруллина Э.В., Лутфуллина Г.Г. Исследование пенообразующих показателей композиций ПАВ. Сб. тр. XVI Всеросс. науч.-практ. конф. с эл.
1. Lutfullina G.G., Petrova S.A., Bulygina K.A. Optimization Surfactant Composition for Fur Processing According to the Criteria of Foam Expansion and Emulsion Stability. Coll. of works. Technical regulations: quality of materials, goods and services. Novocheerkassk: Izd-vo LLC «Lik». 2019. P. 59-63 (in Russian).
2. Lutfullina G.G., Khairutdinova R.I. Study of surface tension of surfactant compositions. Coll. of proceedings of the XVI Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists. New technologies and materials for textile industry. Kazan.: Izd-vo KNRTU. 2020. P. 299-302 (in Russian).
3. Lutfullina G.G., Petrova S.A. Study of surface tension of surfactant compositions. Coll. of proceedings of the XVI Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists. New technologies and materials for textile industry. Kazan.: Izd-vo KNRTU. 2020. P. 342-345 (in Russian).
4. Khaidarova L.M., Lutfullina G.G., Abdullin I.Sh. Analysis of the influence of developed surfactant compositions on degreasing of sheepskin. *Vest. Kazan Tekhnol. Univer*. 2010. N 11. P. 605-606 (in Russian).
5. Kozlov V.V., Altunina L.K., Stasyeva L.A., Chernova U.V., Sholidodov M.R. Laboratory studies of the oil-displacing capacity of multifunctional chemical composition based on surfactants. *Izv. Vuzov. Neft Gaz*. 2021. N 2(146). P. 136-146 (in Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2021-2-136-146.
6. Altunina L.K., Kuvshinov V.A., Kuvshinov I.V., Staseva L.A. Compositions based on surfactants to increase oil recovery from high-viscosity oil fields in the Arctic zone. *Petroleomika*. 2022. V. 2. N 1. P. 49-63 (in Russian). DOI: 10.53392/27823857-2022-2-1-49.
7. Silin M.A., Magadova L.A., Krisanova P.K., Filatov A.A., Sotnikova Yu.V. Composition based on surfactants for thickening acid fracturing fluids. *Neft. Khoz-vo*. 2023. N 8. P. 94-98 (in Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2023-8-94-98.
8. Safarov F.E., Sergeeva N.A., Ratner A.A., Kovaleva L.A., Zinnatullina R.R., Khalilov I.F., Lenchenkova L.E. Telin A.G. Composition of surfactants for increasing oil recovery from depleted oilfield of the devonian sandstones of the volga-ural region. *Neftpromysl. Delo*. 2022. N 7 (643). P. 32-38 (in Russian). DOI: 10.33285/0207-2351-2022-7(643)-32-38.
9. Kozorez M.D., Kotova S.V., Lyusova L.R. The role of surfactants in adhesives based on nitrile rubbers. *Kauchuk Rezina*. 2023. V. 82. N 4. P. 186-190 (in Russian). DOI: 10.47664/0022-9466-2023-82-4-186-190.
10. Kyureghyan G.P., Komarov N.V., Kyureghyan O.D. Classification of surfactants. *Vestn. VNII Zhirov*. 2021. N 1-2. P. 57-58 (in Russian). DOI: 10.25812/VNIIG.2021.43.74.004.
11. Lutfullina D.R., Khairullina E.V., Lutfullina G.G. Investigation of Foaming Properties of Surfactants. Coll. of proceedings of the XVI Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists. New technologies and materials for textile industry. Kazan.: Izd-vo KNRTU. 2020. P. 410-413 (in Russian).
12. Kolychev E.L., Nizovtsev A.V., Ovchinnikov K.A., Podlesnova E.V., Sulimov A.V. Generalpurpose surfac-tants based on alkyltoluenes and alkylphenols. *Neftegazokhimiya*.

- науч. шк. для студ. и мол. уч. Новые технологии и материалы легкой промышленности. Казань: Изд-во КНИТУ. 2020. С. 410-413.
12. Колычев Е.Л., Низовцев А.В., Овчинников К.А., Подлеснова Е.В., Сулимов А.В. Поверхностно-активные вещества широкого назначения на основе алкилтолуолов и алкилфенолов. *Нефтегазохимия*. 2023. № 2. С. 30-33. DOI: 10.24412/2310-8266-2023-2-30-33.
13. Третьяков Н.Ю., Паничева Л.П., Турнаева Е.А., Волкова С.С., Адаховский Д.С., Матвеев М.Р., Кольцов И.Н., Громан А.А. Синтез и изучение свойств алкилфосфатов как поверхностно-активных компонентов щелочно-ПАВ-полимерного состава для повышения нефтеотдачи пласта. *Изв. вузов. Приклад. химия и биотехнология*. 2021. Т. 11. № 1. С. 147-158. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-1-147-158.
14. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. СПб.: Профессия. 2004. 240 с.
15. Лутфуллина Г.Г., Валеева Э.Э. Синтез поверхностно-активного средства из природного сырья. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 6. С. 45-54. DOI: 10.6060/ivkkt.20246706.6984.
16. Лутфуллина Г.Г. Поверхностно-активные свойства алканоламидов. *Вестн. технолог. Ун-та*. 2024. Т. 27. № 5. С. 5-9. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_5_5.
17. Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А. Исследование моющей способности анионного ПАВ. Сб. тр. XIX Всеросс. науч.-практ. конф. с эл. науч. шк. для студ. и мол. уч. «Новые технологии и материалы легкой промышленности». Казань: Изд-во КНИТУ. 2023. С. 257-259.
18. Лутфуллина Г.Г. Неионогенные ПАВ из жирных кислот рапсового и подсолнечного масел. *Вестн. Казан. технолог. Ун-та*. 2023. Т. 26. № 10. С. 116-119.
19. Лутфуллина Г.Г., Сизмина И.О., Мирзагитов И.Ф., Лазарева А.С. Исследование строения и свойств синтезированного диэтаноламида с использованием олеиновой кислоты и диэтаноламина. В сб.: «Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации». Сб. Ст. III Междунар. науч.-техн. конф. Минск. 2021. С. 52-56.
20. Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А. Растительное сырье как источник получения неионогенных ПАВ. В сб.: «Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации». Сб. Ст. III Международ. науч.-техн. конф. Минск. 2021. С. 56-61.
21. Лутфуллина Г.Г., Хайрутдинова Р.И., Петрова С.А. Исследование влияния нового анионного ПАВ на процесс обводнения шкурок норки при отмоке. *Изв. вузов. Технол. легкой пром.* 2020. Т. 49. № 3. С. 49-50. DOI: 10.46418/0021-3489_2020_49_3_7.
22. Жеребцов Д.А. Синтез наноматериалов с использованием ПАВ. *Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Металлургия»*. 2019. Т. 19. № 3. С. 66-96. DOI: 10.14529/met190308.
23. Будагова Р.Н., Зейналов С.Б., Ходжаев Г.Х. Синтез и свойства новых неионогенных поверхностно-активных веществ на основе эпихлоргидрина, нафтенных спиртов и ортофосфорной кислоты. *Нефтехимия*. 2019. Т. 59. № 2. С. 222-226. DOI: 10.1134/S0028242119020047.
24. Ахтямов Э.К., Тептерева Г.А., Шаммазов А.М. Некоторые аспекты динамики применения поверхностно-активных веществ в России. *Промышл. произв. и использ. эластомеров*. 2022. № 2. С. 28-33. DOI: 10.24412/2071-8268-2022-2-28-33.
2023. N 2. P. 30-33 (in Russian). DOI: 10.24412/2310-8266-2023-2-30-33.
13. Tretyakov N. Yu., Panicheva L.P., Turnaeva E.A., Volkova S.S., Adakhovskii D.S., Matveev M.R., Koltsov I.N., Groman A.A. Synthesis of alkyl phosphates and investigation of their surfaceactive properties in an alka-line surfactant polymer system for enhanced oil recovery. *Izv. Vuzov. Priklad. Khim. Biotekhnol.* 2021. V. 11. N 1. P. 147-158 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-1-147-158.
14. Lange K.R. Surfactants: synthesis, properties, analysis, application. SPb.: Professiya. 2004. 240 p. (in Russian).
15. Lutfullina G.G., Valeeva E.E. Synthesis of surfactants from natural raw materials. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 6. P. 45-54 (in Russian). DOI: DOI: 10.6060/ivkkt.20246706.6984.
16. Lutfullina G.G. Surface-active properties of alkanolamides. *Vest. Kazan Tekhnol. Univer.* 2024. V. 27. N 5. P. 5-9 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_5_5.
17. Lutfullina G.G., Fatkhutdinova A.A. Study of the cleaning ability of anionic surfactants. Coll. of proceedings of the XIX Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists. New technologies and materials for textile industry. Kazan.: Izd-vo KNRTU. 2023. P. 257-259 (in Russian).
18. Lutfullina G.G. Nonionic surfactants from fatty acids of rapeseed and sunflower oils. *Vest. Kazan Tekhnol. Univer.* 2023. V. 26. N 10. P. 116-119 (in Russian).
19. Lutfullina G.G., Sizmina I.O., Mirzagitov I.F., Lazareva A.S. Study of the structure and properties of synthesized diethanolamide using oleic acid and diethanolamine. Coll. of proceedings of the III International Scientific and Technical Conference «Ecological, Economic and Technological Aspects of Sustainable Development of the Republic of Belarus and the Russian Federation». V. 2. Minsk: BGUTU. 2021. P. 52-56 (in Russian).
20. Lutfullina G.G., Fatkhutdinova A.A. Plant raw materials as a source of obtaining nonionic surfactants. Coll. of proceedings of the III International Scientific and Technical Conference «Ecological, Economic and Technological Aspects of Sustainable Development of the Republic of Belarus and the Russian Federation». V. 2. Minsk: BGUTU. 2021. P. 56-61 (in Russian).
21. Lutfullina G.G., Khairutdinova R.I., Petrova S.A. Study of the effect of a new anionic surfactant on the process of watering of mink skins during soaking. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekhnol. Luogk. Prom.* 2020. V. 49. N 3. P. 49-50 (in Russian). DOI: 10.46418/0021-3489_2020_49_3_7.
22. Zherebtsov D.A. Nanomaterials synthesis with the use of surfactants. *Vestn. YuUrGU. Ser. Metallurgiya*. 2019. V. 19. N 3. P. 66-96 (in Russian). DOI: 10.14529/met190308.
23. Budagova R.N., Zeinalov S.B., Khodzhaev G.K. The synthesis and properties of new nonionic surfactants based on epichlorohydrin, naphthenic alcohols, and orthophosphoric acid. *Neftekhimiya*. 2019. V. 59. N 2. P. 228-232 (in Russian). DOI: 10.1134/S0028242119020047.
24. Akhtyamov E.K., Teptereva G.A., Shammazov A.M. Some aspects of the dynamics of the use of surfactants in Russia. *Prom. Proizvod. Ispol. Elastomerov*. 2022. N 2. P. 22-33 (in Russian). DOI: 10.24412/2071-8268-2022-2-28-33.
25. Kuzina Zh. I., Manevich B.V. The choice of surfactants for the hydrolysis of proteinat deposits in the production of functional milk-based products. *Pishch. Prom-st'*. 2021. N 8. P. 47-50 (in Russian). DOI: 10.52653/PPI.2021.8.8.012.

25. Кузина Ж.И., Маневич Б.В. Выбор поверхностно-активных веществ для гидролиза белково-жировых отложений при производстве функциональных продуктов на молочной основе. *Пищ. промышл.* 2021. № 8. С. 47-50. DOI: 10.52653/PP1.2021.8.8.012.
26. Нгуен В.М., Нгуен Т.Х., Горобинский С.В. Использование поверхностно-активных веществ для синтеза качественных нанопорошков гидроксидного и металлического кобальта. *Журн. Белорус. гос. ун-та. Физика.* 2021. № 1. С. 4-11 DOI: 10.33581/2520-2243-2021-1-4-11.
27. Рубан О.В., Киселева-Логина К.В., Попов Е.В. Получение силиконакрилового поверхностно-активного вещества методом безэмульсионной сополимеризации. *Вост.-европ. журн. перед. технол.* 2014. Т. 6. № 6 (72). С. 24-28. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.33109.
28. Лутфуллина Г.Г., Гусева К.С., Гришин П.В., Хайрутдинова Р.И. Синтез и исследование свойств поверхностно-активных веществ на основе жирных кислот пальмового масла и метанола. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2018. Т. 61. Вып. 6. С. 88-95. DOI: 10.6060/tcct.20186106.5685.
29. Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А. Синтез и исследование свойств неионогенного поверхностно-активного вещества на основе жирных кислот кукурузного масла и диэтаноламина. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 11. С. 20-26. DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.6640.
30. Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А. Строение и свойства ПАВ, полученных из жирных кислот кукурузного масла. *Вест. Казан. технол. ун-та.* 2022. Т. 25. № 4. С. 40-42. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_4_40.
31. Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А. Определение смачивающей способности неионогенного ПАВ из растительного источника сырья. Сб. тр. XVIII Всеросс. науч.-практ. конф. с эл. науч. шк. для студ. и мол. уч. Новые технологии и материалы легкой промышленности. Казань: Изд-во КНИТУ. 2022. С. 282-284.
32. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии. М.: Изд. Центр «Академия». 2009. 240 с.
33. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. М.: Химия. 1974. 416 с.
26. Nguyen V.M., Nguyen T.H., Gorobinsky S.V. Application of surfactants for the synthesis of qualitative hydroxide and metallic cobalt nanopowders. *Zhurn. Belorus. Gos. Un-ta. Fizika.* 2021. N 1. P. 4–11 (in Russian). DOI: 10.33581/2520-2243-2021-1-4-11.
27. Ruban O.V., Kiseleva-Loginova K.V., Popov E.V. Production of silicone acrylic surfactant by emulsion-free copolymerization. *Vost. Evrop. Zhurn. Peredov. Tekhnol.* 2014. V. 6. N 6 (72). P. 24-28 (in Russian). DOI: 10.15587/1729-4061.2014.33109.
28. Lutfullina G.G., Guseva K.S., Grishin P.V., Khairutdinova R.I. Synthesis and study of properties of surfactants based on fat acids of palm oil and methanol. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2018. V. 61. N 6. P. 88-95 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.2018 6106.5685.
29. Lutfullina G.G., Fatkhutdinova A.A. Synthesis and study of properties of nonionic surfactant based on fatty acids of corn oil and diethanolamine. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 11 P. 20-26 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.6640.
30. Lutfullina G.G., Fatkhutdinova A.A. Structure and properties of surfactants synthesized from fat acids of corn oil. *Vest. Kazan Tekhnol. Univer.* 2022. V. 25. N 4. P. 40-42 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_4_40.
31. Lutfullina G.G., Fatkhutdinova A.A. Determining wetting ability of nonionic surfactant synthesized from plant raw materials. Coll. of proceedings of the XVIII Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists. New technologies and materials for textile industry. Kazan.: Izd-vo KNRTU. 2022. P. 282-284 (in Russian).
32. Summ B.D. Foundations of Colloid Chemistry. M.: Akademiya. 2009. 240 p. (in Russian).
33. Zimon D. Liquid Adhesion and Wetting. M.: Khimiya. 1974. 416 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 21.10.2024

Принята к опубликованию 03.02.2025

Received 21.10.2024

Accepted 03.02.2025