



Научная статья

УДК 661.18

DOI: 10.52957/2782-1900-2026-7-3-54-60

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СИНЕРГИЗМА ИЛИ КОНКУРЕНЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ИОНОГЕННЫХ И НЕИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

А.Н. Колосова^{1,2}, А.Е. Терешко¹, А.А. Ильин¹

Анастасия Николаевна Колосова, аспирант, инженер-эколог ООО «ЭкоЦентр»; Анастасия Евгеньевна Терешко, канд. хим. наук, доцент; Александр Алексеевич Ильин, д-р. хим. наук, профессор

¹ ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», 150023, Российская Федерация, г. Ярославль, Московский пр., д. 88; lyapisniska@yandex.ru

² ООО «ЭкоЦентр», 150040, Россия, г. Ярославль, ул. Некрасова, д. 68

Ключевые слова:

поверхностно-активные вещества, ионогенные поверхностно-активные вещества, неионогенные поверхностно-активные вещества, синергизм, полярность, критическая концентрация мицеллообразования, поверхностная активность, адсорбция.

Аннотация.

Проведена оценка влияния синергизма или конкуренции ионогенных поверхностно-активных веществ (ИПАВ) и неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ) при их различном соотношении. Взаимодействие ПАВ оценивалось по следующим параметрам: критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), поверхностная активность, предельная адсорбция на границе раздела фаз, площадь молекулярной площадки. Установлено, что более полярные ИПАВ (глицерин, ПЭГ-4000) оказывают более выраженный синергетический эффект в системе с ИПАВ. Полученные результаты исследований могут быть использованы в регулировании свойств водно-дисперсионных лакокрасочных материалах.

Для цитирования:

Колосова А.Н., Терешко А.Е., Ильин А.А. Изучение влияния синергизма или конкуренции взаимодействия систем ионогенных и неионогенных поверхностно-активных веществ // От химии к технологии шаг за шагом. 2026. Т. 7, вып. 3. С. 54-60. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/7500/view>

Введение

Современное производство моющих средств, эмульсий, водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, и нефтепродуктов основывается на использовании многокомпонентных систем. Добавление в рецептуру поверхностно-активных веществ (ПАВ) ионогенного (ИПАВ) и неионогенного (НПАВ) типа позволяет достичь синергетического эффекта при их совместном использовании. Например, улучшить смачивание, стабилизировать дисперсные системы. Одной из проблем является



отсутствие информации о характере взаимодействия между представителями ИПАВ и НПАВ [1-5]. Понимание того, какой тип взаимодействия происходит (синергизм или конкуренция) при взаимодействии в паре ИПАВ и НПАВ, имеет особое значение. Это необходимо для снижения расхода дорогостоящих компонентов лакокрасочных материалов, для определения ухудшения свойств такой системы или прогнозирования их эксплуатационных свойств [6-8].

Одной из основных проблем является отсутствие критериев, позволяющих заранее предсказать, приведет ли смешение ИПАВ и НПАВ к образованию устойчивой системы (усиление стабилизации, снижение поверхностного натяжения) или к ухудшению агрегативной устойчивости системы.

В связи с этим целью данного исследования является анализ условий проявления взаимодействия или конкуренции в смесях ИПАВ и НПАВ, возможность установления зависимости между составом смеси и свойствами системы (поверхностная активность, критическая концентрация мицеллообразования (ККМ)) [9-13].

Объекты исследований

Объектами исследования являлись ИПАВ и НПАВ. В качестве НПАВ были взяты: поливиниловый спирт (ПВС) [14], глицерин, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), ОП-7, полиэтиленгликоль с молекулярной массой 4000 (ПЭГ-4000). Для исследования ИПАВ были выбраны: силиконовый пеногаситель на основе полисилоксанов и полигликолей (ВУК-21), полиуретановый загуститель с гидрофобной модификацией (acrisol2020), полимерный диспергатор (на основе полиакриловой кислоты) (Orotan-731A), полимерный диспергатор (на основе полиакриловой кислоты) (Orotan-681), сульфанол, триполифосфат натрия, оксиэтилированный спирт (ОС-20). Оценка степени влияния ПАВ проводилась путем сравнения следующих показателей: ККМ [15], поверхностная активность, предельная адсорбция и площадь молекулярной площадки на границе раздела фаз.

Критическая концентрация мицеллообразования и поверхностная активность ПАВ рассчитывались с использованием зависимостей поверхностного натяжения водных растворов ПАВ от их концентрации. Определение поверхностного натяжения водных растворов ПАВ осуществлялось по методу Вельгельми. Предельная величина адсорбция на границе раздела «раствор-воздух» и размер молекулярной площадки ПАВ определялись с помощью уравнения Шишковского.

Результаты исследований

Для изучения синергизма или конкуренции проводились исследования свойств ИПАВ и НПАВ в водных растворах [14]. Результаты исследования свойств ПАВ представлены в таблице 1.



Таблица 1. Свойства ПАВ

Наименование ПАВ	ККМ, г/л	Поверхностная активность, мН/м	Предельная величина адсорбции, г/м ²	Размер молекулярной площадки ПАВ, м ²
ВУК-21	0.09	0.37	$1.97 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-21}$
acrisol2020	0.05	0.15	$1.31 \cdot 10^{-4}$	$12.8 \cdot 10^{-21}$
Orotan-681	0.02	0.30	$1.23 \cdot 10^{-4}$	$13.5 \cdot 10^{-21}$
Orotan-731A	0.23	0.37	$1.52 \cdot 10^{-4}$	$10.9 \cdot 10^{-21}$
Сульфанол	0.20	0.44	$1.07 \cdot 10^{-4}$	$15.5 \cdot 10^{-21}$
Триполифосфат натрия	0.10	0.20	$9.03 \cdot 10^{-5}$	$18.4 \cdot 10^{-21}$
ОС-20	0.05	0.27	$1.52 \cdot 10^{-4}$	$10.9 \cdot 10^{-21}$
ПВС	0.09	0.32	$1.10 \cdot 10^{-4}$	$14.5 \cdot 10^{-21}$
ОП-7	0.13	0.5	$1.48 \cdot 10^{-4}$	$11.2 \cdot 10^{-21}$
КМЦ	0.11	0.20	$1.60 \cdot 10^{-4}$	$10.4 \cdot 10^{-21}$
ПЭГ-4000	0.07	0.21	$1.72 \cdot 10^{-4}$	$9.65 \cdot 10^{-21}$

Показано, что наибольшей поверхностной активностью в водных растворах обладают ОП-7 (0.50 мН/м), сульфанол (0.44 мН/м) и ВУК-21 (0.37 мН/м). Эти ПАВ способны эффективно снижать поверхностное натяжение водных систем при малых концентрациях. Наименьшую поверхностную активность проявили acrisol2020 (0.15 мН/м), триполифосфат натрия и КМЦ (по 0.20 мН/м). Эти ПАВ более склонны к мицеллообразованию в объёме, а не на поверхности раздела фаз. Самая низкая ККМ наблюдается для Orotan-681 (0.015 г/л), что указывает на высокую гидрофобность и способность к мицеллообразованию при малых концентрациях. Размер молекулярной площадки ПАВ варьируется от $8.4 \cdot 10^{-21}$ м² (ВУК-21) до $18.4 \cdot 10^{-21}$ м² (триполифосфат натрия). Причем отмечается, что для ПАВ с более высоким значением поверхностной активности наблюдается меньшее значение молекулярной площадки, что свидетельствует о более плотной упаковке молекул ПАВ на границе раздела фаз.

Исследование синергизма или конкуренции ионогенных и неионогенных ПАВ проводились при введении ИПАВ в водные растворы НПАВ: ПВС, глицерина, КМЦ, ОП-7, ПЭГ-4000 при их различной концентрации (0.2%; 0.5%; 1%).

В таблице 2 представлены результаты исследования свойств ИПАВ в среде ПВС при концентрации 0.2%; 0.5%; 1%.

Таблица 2. Свойства ИПАВ в водных растворах ПВС

ИПАВ	ККМ, г/л			Поверхностная активность, мН/м			Предельная величина адсорбции, г/м ² ·10 ⁴			Размер молекулярной площадки ПАВ, м ² ·10 ²¹		
	Концентрация раствора ПВС, % масс.											
	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1
ВУК-21	0.13	0.19	0.16	0.59	0.63	0.62	1.71	1.43	1.73	9.69	11.6	9.61
Acrisol2020	0.81	0.82	0.81	0.33	0.31	0.26	1.62	1.44	1.35	10.2	11.5	11.5
Orotan-731A	0.10	0.05	0.12	0.27	0.22	0.42	1.42	1.54	1.24	11.3	10.4	12.9
Orotan-681	0.05	0.16	0.05	0.42	0.16	0.18	1.32	1.50	1.54	12.6	11.1	10.7
Сульфанол	0.07	0.28	0.10	0.33	0.50	0.38	1.55	1.58	1.70	10.4	10.2	9.45
Триполифосфат натрия	0.08	0.13	0.23	0.16	0.26	0.10	1.60	1.75	1.71	10.0	9.2	9.39
ОС-20	0.07	0.14	0.08	0.38	0.39	0.41	1.04	1.36	1.39	12.2	10.9	11.9



Как видно из представленных данных таблицы 2, поверхностная активность большинства ИПАВ в присутствии ПВС ниже, чем в воде. Исключение составляют ВУК-21, acrisol2020 и ОС-20, которые демонстрируют некоторое увеличение поверхностной активности. Например, у ВУК-21 поверхностная активность возрастает почти в два раза (с 0.37 до 0.59–0.63 мН/м). Это говорит о том, что ВУК-21 положительно реагирует на присутствие ПВС, возможно, образуя смешанные адсорбционные слои на границе раздела фаз. Предельная адсорбция для ВУК-21 при 0.2% ПВС составляет $1.71 \cdot 10^{-4}$ г/м², что ниже, чем в воде $1.97 \cdot 10^{-4}$ г/м², то есть молекулы ПВС занимают часть межфазной поверхности. Размер молекулярной площадки увеличивается в 0.5% растворе ПВС у ВУК, Acrilos 2020, Orotan 681, Сульфанола. Затем с увеличением концентрации раствора ПВС до 1% уменьшается.

В таблице 3 представлены результаты исследования свойств ИПАВ в водных растворах глицерина.

Таблица 3. Свойства ИПАВ в водных растворах глицерина

ИПАВ	ККМ, г/л			Поверхностная активность, мН/м			Предельная величина адсорбции, г/м ² ·10 ⁴			Размер молекулярной площадки ПАВ, м ² ·10 ²¹		
	Концентрация раствора глицерина, % масс.											
	0.2	0.5	1	0.1	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1
ВУК-21	0.10	0.11	0.06	0.58	0.63	0.56	1.60	1.64	1.53	10.4	10.1	10.9
acrisol2020	0.08	0.07	0.16	0.52	0.55	0.57	1.39	1.36	1.43	11.9	12.2	11.6
Orotan-731A	0.05	0.08	0.11	0.41	0.43	0.48	1.64	1.36	1.92	9.8	11.8	8.4
Orotan-681	0.06	0.19	0.11	0.55	0.54	0.54	1.19	1.39	1.55	14.0	11.9	10.7
Сульфанол	0.78	0.1	0.10	0.53	0.55	0.55	1.33	0.88	1.68	12.1	18.3	9.6
Триполифосфат натрия	0.05	0.07	0.07	0.55	0.57	0.57	1.75	1.23	1.32	9.2	13.0	12.2
ОС-20	0.05	0.09	0.05	0.59	0.59	0.59	1.51	1.79	1.50	11.0	9.3	11.0

Из данных таблицы 3 видно, что присутствие глицерина в водных системах приводит к повышению поверхностной активности ИПАВ по сравнению с водными растворами. Так Acrisol2020, имеющий в воде поверхностную активность всего 0.15 мН/м, в присутствии глицерина достигает значения 0.516 мН/м, для триполифосфата натрия значение поверхностной активности увеличивается с 0.200 мН/м до 0.546 мН/м. Для ВУК-21 наблюдается увеличение значения поверхностной активности 0.37 мН/м до 0.58–0.63 мН/м. Значение предельной адсорбции на межфазной границе раствор ИПАВ – воздух в присутствии глицерина не всегда растёт, но размер молекулярной площадки у многих ИПАВ уменьшается. Например, у сульфанола размер молекулярной площадки снижается с $15.5 \cdot 10^{-21}$ м² (в воде) до $12.1 \cdot 10^{-21}$ м² (в 0.2% растворе глицерина) и даже до $9.57 \cdot 10^{-21}$ м² (в 1% растворе глицерина). Это означает более плотную упаковку молекул ИПАВ на поверхности раздела фаз. У Orotan-681 площадь молекулярной площадки уменьшается с $13.5 \cdot 10^{-21}$ м² до $14 \cdot 10.7 \cdot 10^{-21}$ м² в присутствии глицерина.

Глицерин является полярной средой, образующей разветвлённую сетку водородных связей, за счет чего он «связывает» свободные молекулы воды, уменьшая растворимость ИПАВ в объёме и заставляя их концентрироваться на границе раздела фаз, что приводит к повышению значений поверхностной активности ИПАВ. Можно заключить, что глицерин представляет собой универсальный синергетик для исследованных ИПАВ.



В таблице 4 представлены результаты исследования свойств ИПАВ в среде КМЦ.

Таблица 4. Свойства ИПАВ в водных растворах КМЦ.

ИПАВ	ККМ, г/л			Поверхностная активность, мН/м			Предельная величина адсорбции, г/м ² ·10 ⁴			Размер молекулярной площадки ПАВ, м ² ·10 ²¹		
	Концентрация раствора КМЦ, % масс.											
	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1
ВУК-21	0.10	0.06	0.11	0.58	0.61	0.62	1.55	1.47	1.36	10.7	11.3	12.2
acrisol2020	0.09	0.05	0.08	0.59	0.58	0.60	1.02	1.57	1.27	16.3	10.6	13.1
Orotan-731A	0.08	0.06	0.10	0.43	0.44	0.47	1.39	1.69	1.43	11.6	9.54	11.2
Orotan-681	0.05	0.08	0.27	0.29	0.45	0.42	1.51	1.21	1.71	10.0	13.7	9.72
Сульфанола	0.05	0.10	0.09	0.52	0.52	0.51	1.62	1.43	1.19	9.95	11.2	13.5
Триполифостат натрия	0.05	0.08	0.05	0.42	0.47	0.42	1.66	1.08	1.56	9.69	14.9	10.3
ОС-20	0.09	0.08	0.09	0.63	0.62	0.61	1.42	1.54	1.47	11.7	10.8	11.3

В КМЦ увеличиваются значения показателей для Acrisol2020 и ОС-20, это может быть связано с тем, что КМЦ помогает ориентации молекул ИПАВ на границе раздела фаз, возможно образование водородных связей между гидроксильными группами ИПАВ и карбоксильными группами КМЦ.

Снижение поверхностной активности сульфанола в присутствии КМЦ может быть связано влиянием отрицательно заряженных карбоксильных групп КМЦ, которые могут взаимодействовать с анионной частью молекул сульфанола. В результате в системе снижается концентрация поверхностно-активных анионов ПАВ. Размер молекулярной площади для сульфанола растет с $10.9 \cdot 10^{-21}$ м² (в 0.2% растворе КМЦ) до $13.5 \cdot 10^{-21}$ м² (в 1% растворе КМЦ), что свидетельствует о более рыхлой упаковке молекул сульфанола на поверхности раздела фаз. Противоположная ситуация наблюдается для Orotan-731A и Orotan-681: их поверхностная активность в среде КМЦ снижается. Таким образом, в присутствии КМЦ наблюдается выборочная синергия с ИПАВ. Он улучшает поверхностные свойства ОС-20, acrisol2020 и ВУК-21, но ухудшает свойства остальных ИПАВ.

В таблице 5 представлены результаты исследования свойств ИПАВ в среде ОП-7.

Таблица 5. Свойства ИПАВ в водных растворах ОП-7.

ИПАВ	ККМ, г/л			Поверхностная активность, мН/м			Предельная величина адсорбции, г/м ² ·10 ⁴			Размер молекулярной площадки ПАВ, м ² ·10 ²¹		
	Концентрация раствора ОП-7, % масс.											
	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1
ВУК-21	0.09	0.07	0.17	0.59	0.60	0.62	1.41	1.48	1.66	11.8	11.2	9.98
acrisol2020	0.09	0.89	0.06	0.49	0.52	0.49	1.67	1.45	1.64	9.95	11.5	10.1
Orotan-731A	0.18	0.10	0.05	0.51	0.51	0.50	1.50	1.43	1.28	10.7	11.3	12.5
Orotan-681	0.13	0.10	0.11	0.49	0.49	0.51	1.32	1.58	1.40	12.6	10.5	11.9
Сульфанола	0.08	0.06	0.05	0.48	0.49	0.50	1.75	1.47	1.57	9.17	10.9	10.2
Триполифостат натрия	0.07	0.09	0.07	0.49	0.49	0.36	1.52	1.48	1.60	10.6	10.4	10.0
ОС-20	0.16	0.17	0.07	0.52	0.54	0.52	1.60	1.50	1.44	10.4	11.1	11.5



Из данных таблицы 5 следует, что по сравнению с водными растворами в присутствии ОП-7 для многих ИПАВ наблюдается увеличение поверхностной активности. Наиболее заметный синергетический эффект наблюдается для ИПАВ, которые в воде были менее активны (acrisol2020, триполифосфат натрия). Фактически, ОП-7 выравнивает все показатели ИПАВ, поверхностная активность варьируется в пределах от 0.51 мН/м до 0.60 мН/м. Предельная адсорбция для многих ПАВ в ОП-7 остаётся на уровне $1.4-1.7 \cdot 10^{-4}$ г/м², что свидетельствует о плотном расположении молекул ИПАВ на границе раздела фаз.

В таблице 6 представлены результаты исследования свойств ИПАВ в среде ПЭГ-4000.

Таблица 6. Свойства ИПАВ в водных растворах ПЭГ-4000

ИПАВ	ККМ, г/л			Поверхностная активность, мН/м			Предельная величина адсорбции, г/м ² ·10 ⁴			Размер молекулярной площадки ПАВ, м ² ·10 ²¹		
	Концентрация раствора ПЭГ-4000, % масс.											
	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1
ВУК-21	0.06	0.10	0.08	0.56	0.56	0.58	1.66	1.52	1.66	9.98	10.9	10.0
acrisol2020	0.08	0.10	0.17	0.47	0.48	0.49	1.52	1.42	1.58	10.9	11.7	10.5
Orotan-731A	0.11	0.11	0.05	0.54	0.53	0.55	1.39	1.74	1.62	11.6	9.24	9.95
Orotan-681	0.07	0.10	0.05	0.52	0.49	0.46	1.40	1.43	1.47	11.8	11.7	11.3
Сульфано	0.09	0.11	0.10	0.47	0.46	0.47	1.85	1.71	1.55	8.7	9.4	10.4
Триполифосфат натрия	0.05	0.14	0.12	0.54	0.54	0.54	1.73	1.81	1.64	9.3	8.87	9.97
ОС-20	0.06	0.09	0.11	0.56	0.58	0.55	1.52	1.69	1.69	10.9	9.8 ¹	9.84

Из результатов таблицы 6 можно отметить, что в присутствии ПЭГ-4000 также происходит увеличение значения поверхностной активности всех ИПАВ. Наиболее заметное улучшение показателей наблюдается для Acrisol2020, триполифосфат натрия и ОС-20. Здесь необходимо отметить, что полиэтиленгликоль способен образовывать мицеллы с некоторыми ИПАВ за счёт гидрофобных взаимодействий. Однако, для сульфанола значение поверхностной активности снижается в присутствии ПЭГ-4000. Таким образом, сульфано является исключением по сравнению с другими ИПАВ. В ПЭГ-4000 активность сульфанола варьируется от 0.470–0.472 мН/м.

ПЭГ-4000, как и глицерин, является более полярным по сравнению с другими изученными ИПАВ. Он может образовывать водородные связи с молекулами воды, что снижает степень взаимодействия ИПАВ с молекулами воды.

Заключение

На основании данных представленных выше, можно сделать вывод, что наибольший синергизм наблюдается в ПЭГ-4000, ОП-7, глицерине. В КМЦ наблюдается выборочный синергизм, в ПВС для большинства ИПАВ наблюдается конкуренция.

ПВС обладает высокой поверхностной активностью. Он занимает место на границе раздела фаз, не давая ПАВ адсорбироваться. Таким образом, наблюдается снижение поверхностной активности ИПАВ, увеличение ККМ, рост размера молекулярной площадки.



Глицерин и ПЭГ-4000 являются более полярной средой благодаря наличию водородных связей. ПАВ адсорбируются плотнее, размер молекулярной площадки уменьшается. Универсальный положительный эффект для всех ПАВ.

Для улучшения свойств в водно-дисперсионных системах могут подойти в качестве среды глицерин, ПЭГ-4000, ОП-7, КМЦ в паре с acrisol2020 или ОС-20, ПВС в паре с ВУК-21 или сульфанолам при концентрации 0.5%.

На основании полученных результатов могут быть разработаны рекомендации для составления рецептур водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, позволяющие выбрать наиболее эффективную систему ПАВ и снизить расходы.

Финансирование

Работа выполнена в рамках проекта «Модифицирование лакокрасочных материалов, не содержащих летучих органических соединений, с целью улучшения технологических и эксплуатационных свойств» по программе развития ЯГТУ в рамках участия в программе Минобрнауки России «Приоритет 2030» в 2026 году.

Список литературы

1. Баранова В.И., Бирик Е.Е., Кожевникова Н.М., Малов В.А. Практикум по коллоидной химии. М.: Высш. шк., 1983, 215 с
2. ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 1997.
3. Русанов А.И., Щёкин А.К. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ: монография. 2-е изд., доп. СПб.: Лань, 2022, 612 с.
4. Миргородская А.Б., Кушназарова Р.А., Лукашенко С.С., Захарова Л.Я. Смешанные мицеллярные растворы гексадецилпиперидиниевых ПАВ и Твин 80: агрегационное поведение и солюбилизационные свойства. ЖФХ, 2020, 94(9), 1385-1390.
5. Куряшов Д.А., Лужецкий А.В., Захаров С.В., Кашапов Р.Р., Яцкевич Е.И., Вагапов Б.Р. Самоорганизация в смешанных мицеллярных растворах цвиттер-ионного и анионного поверхностно-активных веществ. Вестник Казанского технологического университета, 2013, 16(1), 32–36
6. Абрамзон А.А., Гаевой Г.М. Поверхностно-активные вещества. Л.: Химия (Ленингр. отд-ние), 1979, 376 с.
7. Русанов А.И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ. СПб.: Химия, 1992, 280 с.
8. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. СПб.: Профессия, 2004, 240 с
9. Мансураева Л.М., Юсупова И.И., Булаев С.А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение. Вестник магистратуры, 2022, 2-1(125), 30-35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poverhnostno-aktivnye-veschestva-svoystva-i-primenenie>.
10. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1975, 512 с.
11. Куделькина Е.О. Синергетическое действие ПАВ в процессах получения микроэмульсионных систем. Advanced science: материалы XV междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Наука и Просвещение, 2020, С. 18–20.
12. Мицеллообразование. Химическая энциклопедия, Т. 3. М.: Большая Российская энциклопедия, 1992, 95–96.
13. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1989, 464 с.
14. ГОСТ 10779-78. Спирт поливиниловый. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1987, 24 с.
15. ГОСТ 29232-91. Анионные и неионногенные поверхностно-активные вещества. Определение критической концентрации мицеллообразования. Метод определения поверхностного натяжения с помощью пластины, скобы или кольца. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004, 7 с.

Поступила в редакцию 22.06.2026

Одобрена после рецензирования 06.07.2026

Принята к опубликованию 08.09.2026