

УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕН, СОДЕРЖАЩИХ ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

Н.Г. Вилкова, С.И. Мишина, О.В. Дорчина

Наталья Георгиевна Вилкова, Ольга Васильевна Дорчина

Кафедра физики и химии, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
ул. Германа Титова, д. 28, Пенза, Российская Федерация, 440028

E-mail: ngvilkova@mail.ru, dorchina88@mail.ru

Светлана Ивановна Мишина *

Кафедра химии и теории и методики обучения химии, Пензенский государственный университет,
ул. Красная, д.40, Пенза, Российская Федерация, 440026

E-mail: elancv@mail.ru*

В работе проведена сравнительная характеристика устойчивости пен, образованных додецилсульфатом натрия и желатиной при их различных концентрациях в присутствии дизельного топлива под действием приложенного перепада давления. Показано, что изменение соотношения желатина/ ПАВ в исходном растворе изменяло устойчивость таких пен в присутствии органической жидкости. Определены концентрации ПАВ и белка, при которых данные дисперсные системы являются наиболее устойчивыми в присутствии органической фазы. Изучены изолированные пенные пленки, полученные из раствора додецилсульфата натрия + желатина/ дизельное топливо. Показано отсутствие корреляции между устойчивостью изолированной пленки и пены под действием приложенных перепадов давлений: пленки при контакте с дизельным топливом сохраняли значительную устойчивость в отличие от пен, полученных из указанного водного раствора желатина и ПАВ в присутствии указанного органического вещества. Рассчитаны коэффициенты начального растекания дизельного топлива по поверхности водного раствора, содержащего желатин и ПАВ. Исследовано изменение межфазного натяжения на границе раздела водный раствор додецилсульфата натрия + желатина/ дизельное топливо со временем при изменении соотношения ПАВ: белок в исходном растворе и различной концентрации органической жидкости. Изменение межфазного натяжения на границе раздела водный раствор додецилсульфата натрия + желатина/ дизельное топливо со временем сопровождалось значительным уменьшением устойчивости пен, полученных из водных растворов, содержащих желатин и ионогенный ПАВ. При неизменном межфазном натяжении или его незначительном снижении пены, содержащие дизельное топливо, сохраняют устойчивость.

Ключевые слова: пена, дизельное топливо, межфазная энергия, поверхностное натяжение, устойчивость пен

STABILITY OF FOAMS CONTAINING DIESEL FUEL

N.G. Vilkova, S.I. Mishina, O.V. Dorchina

Natalya G. Vilkova, Olga V. Dorchina

Department of Physics and Chemistry, Penza State University of Architecture and Construction, Germana Titova st., 28, Penza, 440028, Russia

E-mail: ngvilkova@mail.ru, dorchina88@mail.ru

Svetlana I. Mishina*

Department of Chemistry and Theory and Methodology Teaching Chemistry, Penza State University, Krasnaya st., 40, Penza, 440026, Russia

E-mail: elancv@mail.ru*

The comparative characteristic of the stability of foams formed by sodium dodecylsulfate and gelatin at their various concentrations at the presence of the diesel fuel under the action of an applied pressure drop was carried out in this work. It was shown that the change in the gelatin/surfactant ratio in the initial solution changed the stability of such foams at the presence of an organic liquid. The surfactant and protein concentrations when these dispersions are more stable at the presence of the organic phase were determined. The isolated foam films obtained from a solution of sodium dodecyl sulfate + gelatin / diesel fuel were studied. It was shown that there was no correlation between the stability of the isolated film and the foam under the action of applied pressure drops: the films in contact with diesel fuel retained considerable stability, unlike the foams obtained from this aqueous solution of gelatin and surfactant in the presence of said organic substance. The coefficients of initial spreading of diesel fuel on the surface of an aqueous solution containing gelatin and surfactant were calculated. The change in the interfacial energy at the interface of the aqueous solution of sodium dodecylsulfate + gelatin/ diesel fuel with time when changing of the surfactant: protein ratio in the initial solution and different concentrations of the organic liquid was investigated. The change in the interfacial tension at the interface of the aqueous solution of sodium dodecylsulfate + gelatin/ diesel fuel over time was accompanied by a significant decrease in the stability of foams obtained from aqueous solutions containing gelatin and an ionic surfactant. If the interfacial tension did not change or slightly decreased, the foams containing diesel fuel remained stable.

Keywords: foam, diesel fuel, interfacial energy, surface tension, foam stability

Для цитирования:

Вилкова Н.Г., Мишина С.И., Дорчина О.В. Устойчивость пен, содержащих дизельное топливо. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2018. Т. 61. Вып. 6. С. 48–53

For citation:

Vilkova N.G., Mishina S.I., Dorchina O.V. Stability of foams containing diesel fuel. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 6. P. 48–53

Исследование свойств пен, содержащих нефтепродукты, является актуальным для разработки технологических процессов их удаления из воды [1, 2]. В частности, в работе [3] изучена устойчивость пен, образованных из водных растворов, содержащих органические вещества, при добавлении к растворам поверхностно-активного вещества и диспергированных частиц геля. Устойчивость пены зависела от количества ПАВ, концентрации частиц, содержания солей, концентрации нефти и соотношения газа и жидкости. Одной из

причин повышения устойчивости указанных дисперсных систем авторы считают изменение вязкости раствора. Аналогично в [4] показано значительное влияние на стабильность пены типа поверхностно-активного вещества, вязкости и плотности масла. Метод флотации был применен для обработки эмульсий типа масло-в-воде (эмульсии O/W), полученных из синтетических масел путем добавления катионного поверхностно-активного вещества (ЦТАБ) и коагулянтов [5]. В работе [6] пенную флотацию, работающую в непрерывном

режиме, применяли для очистки нефтесодержащих сточных вод. Использовали модельную эмульсию (загрязняющее масло в воде) и додецилсульфат натрия в качестве пенообразователя. Были изучены влияние электролита, скорости потока воздуха, времени удержания гидравлической жидкости на производительность процесса. В последнее время для флотационного выделения дизельного топлива (ДТ) из сточных вод помимо ПАВ применяют сочетание ПАВ с некоторыми белками. В работе [7] для удаления нефтепродуктов из воды использовали казеин и додецилсульфат натрия. Было показано, что применение казеина сокращает необходимое количество ПАВ и интенсифицирует процесс флотационного выделения нефтепродуктов. Однако в работе не исследованы свойства пен, содержащих дизельное топливо и эффективность процесса флотации, обусловленного устойчивостью данных дисперсных систем при изменении соотношения белок:ПАВ в исходном растворе.

Влияние органических веществ на устойчивость пен было исследовано в работах [8-11]. В частности, было установлено, что ряд органических веществ (бензол, толуол) практически не влияли на устойчивость раствора ионогенного ПАВ – додецилсульфата натрия (DDSNa), если их добавляли в виде растворов, близких к насыщенным. Однако, при образовании гетерогенной системы (вода-органическая фаза) указанные вещества становятся сильными пеногасителями [8]. Известно также, что капли органической жидкости могут формировать пленки двух типов: капли находятся в дисперсионной среде пленки или на ее поверхности, образуя несимметричную пенную пленку. Устойчивость несимметричной пленки в основном определяется свойствами адсорбционного слоя пенообразователя на границе раздела с органической жидкостью. Свойства таких пленок в дальнейшем могут определять устойчивость пенного слоя в целом [10]. Для оценки пеногасящего действия органических веществ применяют наблюдение за поведением модельной пенной пленки (обычно макроскопической) при нанесении на нее капли антипенователя. В работе [11, 12] изучены свойства пен, стабилизированных неионогенным и ионогенным ПАВ (Тритоном X-100 и додецилбензолсульфонатом натрия), содержащими дизельное топливо, и устойчивость макроскопических пленок при их контакте с органическим веществом. Отмечено, что устойчивость таких пленок зависела от их размеров. Анализ действия различных веществ на устойчивость пенных пленок исследовался в 50-

е годы XIX века Россом. Первый вид действия – образование полимолекулярной растекающейся пленки. Известно, что характеристикой полимолекулярного растекания является начальный коэффициент растекания (S):

$$S = \sigma_A - \sigma_B - \sigma_{AB}, \quad (1)$$

где σ – поверхностное натяжение (индексы А, В, АВ относятся к растворам пенообразователя, растекающейся жидкости, межфазной поверхности). Принято считать, что условием полимолекулярного растекания является положительное значение коэффициента S.

Целью работы является исследование изменения межфазного натяжения на границе раздела водный раствор додецилсульфата натрия + желатина/дизельное топливо со временем при изменении соотношения ПАВ:белок в исходном растворе; изучение устойчивости пен, образованных додецилсульфатом натрия и желатиной при их различных концентрациях в присутствии органической фазы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы

Использовали желатину техническую, анионный ПАВ – додецилсульфат натрия (DDSNa) марки «ч», дизельное топливо техническое, плотностью 0,788 г/мл.

Исследование устойчивости пены

Пену получали пропусканием воздуха через пористую пластину в исследуемый раствор [13, 14]. Сравнительную устойчивость пен, содержащих органическую фазу, определяли по времени жизни (τ) 90% столба пены, высотой 2 см под действием приложенного перепада давления [15, 16]. Для этого пену помещали в стеклянную ячейку с пористым стеклянным фильтром. Под фильтром создавали пониженное по сравнению с атмосферным давлением (ΔP).

Определение межфазного натяжения

Межфазное натяжение на границе раздела водный раствор ПАВ + желатина/дизельное топливо определяли с помощью платиновой рамки при температуре 25 °С через 1 ч после приготовления гетерогенной системы водный раствор ПАВ + желатина/ДТ и через 24 ч после приготовления [17, 18]. Погрешность измерения составляла 0,1 мН/м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено сравнение устойчивости пен, содержащих дизельное топливо в количестве 311,2 мг/л, под действием приложенного перепада давления ($\Delta P = 2$ кПа). Показано, что изменение со-

отношения желатина/ПАВ в исходном растворе изменяло устойчивость таких пен в присутствии органической жидкости. Наиболее устойчивыми были пены, полученные из водного раствора $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л DDSNa + 0,1% (масс.) желатины: 90% пенного слоя разрушалось в течение 27 мин; 90% слоя пены, полученной из водного раствора $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л DDSNa + 0,02% желатины, разрушалось в течение 5 мин. Показано, что в отсутствие дизельного топлива пены, полученные из указанных растворов ПАВ и желатины, были более устойчивыми. В частности, 90% пенного слоя, высотой 2 см, полученного из водного раствора $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л DDSNa + 0,02% желатины, в отсутствие ДТ разрушалось в течение 10 мин ($\Delta P = 5$ кПа), пенный слой, полученный из раствора $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л DDSNa + 0,1% желатины сохранял устойчивость в течение 30 мин. Отметим, что исследование поверхностных свойств адсорбционных слоев желатины с добавками ПАВ проводилось в работах [19]. Показано, что полное связывание ПАВ желатиной с образованием поверхностно – активных комплексов наступает при соотношении концентраций (выраженных в %, масс.) $S_{\text{жел}}/S_{\text{пав}}$, равном 1,74. В работе [19] были проведены исследования процесса пенного концентрирования в растворах, содержащих желатину и ПАВ в различных соотношениях. Было установлено, что наибольшая устойчивость пены и максимальный коэффициент пенного концентрирования белка из ее водного раствора с додецилсульфатом натрия могут быть также достигнуты при указанном соотношении концентраций, соответствующем их комплексообразованию.

В таблице представлены рассчитанные коэффициенты начального растекания ДТ по поверхности водного раствора, содержащего желатину и ПАВ. Начальный коэффициент растекания был положителен для пен, полученных из водных растворов $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л DDSNa + 0,02% желатины; $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л DDSNa + 0,1% желатины ($S = 2,77$; 1 соответственно). Однако большему значению S соответствует менее устойчивая пена. Пене из раствора 10^{-3} моль/л DDSNa + 0,1% желатины соответствует $S = -1,62$, однако данная дисперсная система является довольно устойчивой, а время жизни столба высотой 2 см сопоставимо со временем жизни пены из раствора $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л DDSNa + 0,1% желатины, то есть 90% пенного слоя разрушалось в течение 27 мин.

Таким образом, положительное значение коэффициента S , полученное в данной работе, не является однозначной характеристикой устойчивости пен, полученных из додецилсульфата натрия и

желатины с добавками дизельного топлива. Аналогичные наблюдения были описаны в [20] для пен, стабилизированных сульфенолом и ОП-10 в присутствии силоксанов. Известно, что разрушение пены определяется совокупностью процессов: синерезиса, диффузионного переноса газа и коалесценции. Возможно, что присутствие дизельного топлива в растворе пенообразователя – додецилсульфата натрия и желатины приводит к ускорению процесса синерезиса и уменьшает время жизни пены.

Для изучения свойств пен, содержащих дизельное топливо, производили насыщение (в течение 1 сут) указанных в таблице водных растворов дизельным топливом.

Таблица 1

Начальный коэффициент растекания (S) и межфазное натяжение ($\sigma_{\text{ав}}$) на границе раздела водный раствор додецилсульфата натрия + желатина/ дизельное топливо

Table 1. The initial spreading coefficient (S) and the interfacial tension ($\sigma_{\text{ав}}$) at the interface of the aqueous solution of sodium dodecylsulfate + gelatine/ diesel fuel

Раствор пенообразователя	Начальный коэффициент растекания, S	Соотношение (масс.) желатина/ ПАВ	Межфазное натяжение $\sigma_{\text{ав}}$, мН/м
$5 \cdot 10^{-4}$ моль/л DDSNa + 0,02% желатины	2,77	1,39	16,17
$2 \cdot 10^{-3}$ моль/л DDSNa + 0,1% желатины	1	1,74	14,7
10^{-3} моль/л DDSNa + 0,1% желатины	-1,62	3,48	14,8

Как отмечалось ранее, для оценки пеногасящего действия органических веществ применяют наблюдение за поведением модельной пенной пленки при нанесении на нее капли антипенователя. В работе [11] изучены свойства пен, стабилизированных неионогенным и ионогенным ПАВ (Тритомом X-100 и додецилбензолсульфонатом натрия), в присутствии добавок дизельного топлива, и устойчивость макроскопических пленок при их контакте с органическим веществом. В частности, время жизни пленок из раствора неионогенного ПАВ диаметром $d = 1$ см изменялось от нескольких секунд до одного часа. Пленки диаметром $d = 0,7$ см были значительно устойчивее (время жизни от 1,5 до 24 ч при температуре 26 °С). Пленки, полученные из ионогенного ПАВ – доде-

цилбензолсульфоната натрия, были менее устойчивыми. Время их жизни изменялось от нескольких секунд до одного часа при диаметрах 1 см и 0,7 см соответственно. В данной работе установлено, что пленки, полученные из $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,02\%$ желатины, диаметром 1 см при нанесении на ее поверхность дизельного топлива сохраняли устойчивость в течение 1,5 ч, а диаметром 0,7 см были устойчивыми в течение 1 сут. Однако, как отмечалось ранее, пена из раствора $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,02\%$ желатины через сутки разрушалась за несколько секунд. Таким образом, изолированные пенные пленки, полученные из раствора $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,02\%$ желатины, при контакте с дизельным топливом сохраняли значительную устойчивость в отличие от пен, полученных из указанного водного раствора желатины и ПАВ в присутствии указанного органического вещества. Отсутствие корреляции между устойчивостью изолированных пленок и пен под действием приложенных перепадов давления описано для систем, стабилизированных неионогенным ПАВ Тритон X-100 [20].

Исследовали изменение свойств пен, содержащих дизельное топливо, при одновременном наблюдении за межфазным натяжением водных растворов желатины и ПАВ на границе раздела с дизельным топливом через 1 ч (табл. 1) и через 1 сут после их приготовления. Устойчивость через 1 сут сохраняли пены, полученные из растворов 10^{-3} моль/л $\text{DDSNa} + 0,1\%$ желатины и $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,1\%$ желатины. При этом изменение

межфазного натяжения для указанных водных растворов на границе раздела с ДТ через 1 сут после формирования системы не превышало 1 мН/м и было равно 14,63 мН/м и 14,24 мН/м соответственно, а 90% столба высотой 2 см разрушалось в течение 15 мин и 17 мин соответственно. Пена из раствора $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,02\%$ желатины через 1 сут была крайне неустойчивой. Изменение межфазного натяжения через 1 сут до значения 13,52 мН/м в системе водный раствор $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,02\%$ желатины/ ДТ сопровождалось заметным снижением времени жизни, а полное разрушение пены происходило за 2-3 с в гравитационном поле.

Таким образом, изменение межфазного натяжения на границе раздела водный раствор $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,02\%$ желатины/ДТ со временем сопровождалось значительным уменьшением устойчивости пен, полученных из водных растворов, содержащих желатину и ионогенный ПАВ. При неизменном межфазном натяжении на границах раздела 10^{-3} моль/л $\text{DDSNa} + 0,1\%$ желатины/ДТ и $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л $\text{DDSNa} + 0,1\%$ желатины/ДТ или его незначительном снижении пены, содержащие дизельное топливо, сохраняют устойчивость.

В заключение отметим, что проведенное в работе исследование устойчивости пен, стабилизированных желатиной и ПАВ в присутствии дизельного топлива, может быть использовано при разработке технологических процессов выделения органических веществ из водных растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вилкова Н.Г., Еланева С.И., Шумкина А.А., Дорчина О.В. Очистка сточных вод: перспективы использования структурированных дисперсных систем. *Региональная архитектура и строительство*. 2013. № 3. С. 115-119.
2. Вилкова Н.Г., Мишина С.И., Деревянкина О.В. Очистка воды от дизельного топлива. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 12-5 (54). С. 42-46. DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.029.
3. Zhao G., Dai C., Wen D., Fang J. Stability mechanism of a novel three-Phase foam by adding dispersed particle gel. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2016. V. 497. P. 214-224. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.02.037.
4. Osei-Bonsu Kofi, Shokri N., Grassia P. Foam stability in the presence and absence of hydrocarbons: From bubble- to bulk-scale. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2015. V. 481. P. 514-526. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2015.06.023.
5. Karhu M., Leiviska T., Tanskanen J. Enhanced DAF in breaking up oil-in-water emulsions. *Separat. Purific. Technol.* 2014. V. 122. P. 231-241. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.11.007.
6. Apichay B., Orathai Pe., Suchaya N., Jittipan C., Sumaeth C. Cutting oil removal by continuous froth flotation with packing media under low interfacial tension conditions. *Separat. Purific. Technol.* 2013. V. 107. N 82. P. 118-128. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.01.024.

REFERENCES

1. Vilkova N.G., Elaneva S.I., Shumkina A.A., Dorchina O.V. Wastewater treatment: prospects for using structured disperse systems. *Regionalnaya Arkhitektura i Stroitelstvo*. 2013. N 3. P. 115-119 (in Russian).
2. Vilkova N.G., Mishina S.I., Derevyankina O.V. Purification of water from diesel fuel. *Mezhd.Nauchno-Issled. Zhurn.* 2016. N 12-5 (54). P. 42-46 (in Russian) DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.029.
3. Zhao G., Dai C., Wen D., Fang J. Stability mechanism of a novel three-Phase foam by adding dispersed particle gel. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2016. V. 497. P. 214-224. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.02.037.
4. Osei-Bonsu Kofi, Shokri N., Grassia P. Foam stability in the presence and absence of hydrocarbons: From bubble- to bulk-scale. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2015. V. 481. P. 514-526. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2015.06.023.
5. Karhu M., Leiviska T., Tanskanen J. Enhanced DAF in breaking up oil-in-water emulsions. *Separat. Purific. Technol.* 2014. V. 122. P. 231-241. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.11.007.
6. Apichay B., Orathai Pe., Suchaya N., Jittipan C., Sumaeth C. Cutting oil removal by continuous froth flotation with packing media under low interfacial tension conditions.

7. **Suzuki Y., Maruyama T.** Removal of Emulsified Oil from Water by Coagulation and Foam Separation. *Separat. Sci. Technol.* 2005. V. 40. N 16. P. 3407–3418. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.07.041.
8. **Denkov, N.D.** Mechanisms of foam destruction by oil-based antifoams. *Langmuir.* 2004. V. 20. P. 9463–9505. DOI: 10.1021/la049676o.
9. **Vikingstad A.K., Skauge A., Hoiland H., Aarra M.** Foam–oil interactions analyzed by static foam tests. *Colloid Surf. A.* 2005. V. 260. P. 189–198. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2005.02.034.
10. **Кругляков П.М.** Механизмы пеногасящего действия. *Усп. химии.* 1994. Т. 63. № 6. С. 493–505. DOI: 10.1070/RC1994v063n06ABEH000098.
11. **Vilkova N.G., Gritzova Y.A.** Properties and stability of foams, containing diesel fuel. *Slovak Internat. Sci. J.* 2017. N 6. P. 16–20.
12. **Вилкова Н.Г.** Влияние свойств пен и пенных пленок на флотационное выделение органической жидкости. *Изв. высш. учебн. завед. Поволжский рег. Естеств. науки.* 2016. № 2. С. 22.
13. **Нусhtaева А.В., Вилкова Н.Г., Еланева С.И.** Стабилизация пен и эмульсий нерастворимыми порошками. Пенза: ПГУАС. 2011. 130 с.
14. **Вилкова Н.Г.** Свойства пен и методы их исследования. Пенза: ПГУАС. 2014. 119 с.
15. **Кругляков П.М., Еланева С.И., Вилкова Н.Г.** Исследование синерезиса в тонких слоях пены с использованием метода создания перепада давления в ее жидкой фазе. *Коллоидн. журнал.* 2010. Т. 72. № 3 С. 394–399. DOI: 10.1134/S1061933X10030142.
16. **Kruglyakov P.M., Elaneva S.I., Vilkova N.G., Karakashev S.I.** Investigation of foam drainage using foam pressure drop technique. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2010. V. 354. N 1–3. P. 291–297. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2009.06.014.
17. **Vilkova N.G., Elaneva S.I., Kruglyakov P.M., Karakashev S.I.** Foam films from hexylamine stabilized by the silica particles. *Mendeleev Communic.* 2011. V. 21. N 6. P. 344–345. DOI: 10.1016/j.mencom.2011.11.018.
18. **Kruglyakov P.M., Elaneva S.I., Vilkova N.G.** About mechanism of foam stabilization by solid particles. *Advances in Colloid and Interface Science.* 2011. V. 165. N 2. P. 108–116. DOI: 10.1016/j.cis.2011.02.003.
19. **Vilkova N.G., Khaskova T.N., Kruglyakov P.M.** Foaming concentration of gelatine from it's solution containing sodium dodecyl sulfate. *Colloid J.* 1995. V. 57. N 6. P. 741–744.
20. **Exerowa D., Kruglyakov P.M.** Foam and foam films. Theory, experiment, application. Amsterdam: Elsevier. 1998. 773 p.
7. **Suzuki Y., Maruyama T.** Removal of Emulsified Oil from Water by Coagulation and Foam Separation. *Separat. Sci. Technol.* 2005. V. 40. N 16. P. 3407–3418. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.07.041.
8. **Denkov, N.D.** Mechanisms of foam destruction by oil-based antifoams. *Langmuir.* 2004. V. 20. P. 9463–9505. DOI: 10.1021/la049676o.
9. **Vikingstad A.K., Skauge A., Hoiland H., Aarra M.** Foam–oil interactions analyzed by static foam tests. *Colloid Surf. A.* 2005. V. 260. P. 189–198. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2005.02.034.
10. **Kruglyakov P.M.** Defoaming mechanisms. *Usp. Khimii.* 1994. V. 63. N 6. P. 493–505 (in Russian). DOI: 10.1070/RC1994v063n06ABEH000098.
11. **Vilkova N.G., Gritzova Y.A.** Properties and stability of foams, containing diesel fuel. *Slovak Internat. Sci. J.* 2017. N 6. P. 16–20.
12. **Vilkova N.G.** Effect of the properties of foams and foam films on the flotation release of an organic liquid. *Izv. Vysh. Uchebn. Zaved. Povolzh. Region. Estesstv. Nauki.* 2016. N 2. P. 22 (in Russian).
13. **Nushtaeva A.V., Vilkova N.G., Elaneva S.I.** Stabilization of foams and emulsions with insoluble powders. Пенза: ПГУАС. 2011. 130 p. (in Russian).
14. **Vilkova N.G.** Foam properties and methods for their investigation. Пенза: ПГУАС. 2014. 119 p. (in Russian).
15. **Kruglyakov P.M., Elaneva S.I., Vilkova N.G.** Study of syneresis in thin foam layers by creating pressure drops in the liquid phase. *Colloid J.* 2010. V. 72. N 3 P. 403–408. DOI: 10.1134/S1061933X10030142.
16. **Kruglyakov P.M., Elaneva S.I., Vilkova N.G., Karakashev S.I.** Investigation of foam drainage using foam pressure drop technique. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2010. V. 354. N 1–3. P. 291–297. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2009.06.014.
17. **Vilkova N.G., Elaneva S.I., Kruglyakov P.M., Karakashev S.I.** Foam films from hexylamine stabilized by the silica particles. *Mendeleev Communic.* 2011. V. 21. N 6. P. 344–345. DOI: 10.1016/j.mencom.2011.11.018.
18. **Kruglyakov P.M., Elaneva S.I., Vilkova N.G.** About mechanism of foam stabilization by solid particles. *Advances in Colloid and Interface Science.* 2011. V. 165. N 2. P. 108–116. DOI: 10.1016/j.cis.2011.02.003.
19. **Vilkova N.G., Khaskova T.N., Kruglyakov P.M.** Foaming concentration of gelatine from it's solution containing sodium dodecyl sulfate. *Colloid J.* 1995. V. 57. N 6. P. 741–744.
20. **Exerowa D., Kruglyakov P.M.** Foam and foam films. Theory, experiment, application. Amsterdam: Elsevier. 1998. 773 p.

Поступила в редакцию 25.09.2017
Принята к опубликованию 16.04.2018

Received 25.09.2017
Accepted 16.04.2018