

**СИНТЕЗ И ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ  
И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ**  
**SYNTHESIS AND PROCESSING OF POLYMERS  
AND POLYMERIC COMPOSITES**

ISSN 2410-6593 (Print), ISSN 2686-7575 (Online)

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-4-337-344>



УДК 678. 541.6

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

**Пенообразование растворов поливинилового спирта  
с разной молекулярной массой в воде**

**А.А. Акимова<sup>1,@</sup>, В.А. Ломовской<sup>1,2</sup>, И.Д. Симонов-Емельянов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), Москва, 119571 Россия

<sup>2</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Москва, 119071 Россия

@Автор для переписки, e-mail: [akimova@mirea.ru](mailto:akimova@mirea.ru)

**Аннотация**

**Цели.** Исследовать процесс пенообразования водных растворов поливинилового спирта (ПВС) с различной молекулярной массой и концентрацией и влияние их структуры на кратность их вспенивания.

**Методы.** Анализ пенообразования растворов проводили по данным динамического светорассеяния, полученным на анализаторе частиц Zetasizer Nano.

**Результаты.** В работе изучена пенообразующая способность и кратность вспенивания водных растворов ПВС как одного из основных компонентов получения пен специального назначения. Показано, что растворы ПВС в воде представляют собой коллоидные дисперсные системы, состоящие из ассоциатов с разными размерами (от 4.8 до 68.1 нм) в зависимости от молекулярной массы ПВС. Приведены зависимости кратности вспенивания водных растворов ПВС от концентрации, молекулярной массы и температуры раствора. Приведены значения оптимальной концентрации и молекулярной массы ПВС, а также установлены оптимальные условия процесса пенообразования из водных растворов ПВС.

**Выводы.** Установлено, что с ростом концентрации водных растворов ПВС кратность вспенивания снижается для всех молекулярных масс приблизительно в 1.5 раза, а с увеличением молекулярной массы она возрастает примерно в 2 раза. Кратность вспенивания

водных растворов ПВС с разной концентрацией и молекулярной массой в зависимости от температуры раствора характеризуется максимумом при 30 °С, что связано с уменьшением вязкости и снижением поверхностного натяжения растворов.

**Ключевые слова:** поливиниловый спирт, молекулярная масса, водные растворы, концентрация растворов, кратность вспенивания

*Для цитирования:* Акимова А.А., Ломовской В.А., Симонов-Емельянов И.Д. Пенообразование растворов поливинилового спирта с разной молекулярной массой в воде. *Тонкие химические технологии.* 2021;16(4):337–344. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-4-337-344>

## RESEARCH ARTICLE

# Aqueous polyvinyl alcohol solution foaming at different molecular masses

Anastasiya A. Akimova<sup>1,@</sup>, Viktor A. Lomovskoy<sup>1,2</sup>,  
Igor D. Simonov-Emel'yanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MIREA – Russian Technological University (M. V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow, 119571 Russia

<sup>2</sup>A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia

@Corresponding author, e-mail: [akimova@mirea.ru](mailto:akimova@mirea.ru)

### Abstract

**Objectives.** Investigation of aqueous polyvinyl alcohol (PVA) foaming process and the influence of its water solution structure, when possessed of different molecular weights and concentrations, on foaming multiplicity.

**Methods.** Solution foaming analysis was performed on the data of dynamic light scattering obtained on the Zetasizer Nano particle analyzer.

**Results.** In this work, the foaming ability and foaming multiplicity of aqueous PVA solutions (as a main component for obtaining special-purpose foams) have been studied. It is shown that PVA solutions in water are colloidal dispersed systems consisting of different-sized associates (from 4.8 to 68.1 nm), depending on the molecular weight of PVA. Dependencies of aqueous PVA solution foaming multiplicities on the concentration, molecular weight, and solution temperature were given. Optimal values of concentration and molecular PVA weight, as well as optimal foaming process conditions from aqueous PVA solutions, were established.

**Conclusions.** Increasing PVA concentrations in aqueous solutions cause foaming multiplicity to decrease for all molecular weights by 1.5 times, and increasing molecular weight increases foaming multiplicity by 2 times. The foaming ratio of aqueous PVA solutions with different concentrations and molecular weights (depending on a solution temperature characterized by a maximum of 30 °C) is associated with decreased viscosity and surface tension.

**Keywords:** polyvinyl alcohol, molecular weight, aqueous solution, solution concentration, foaming multiplicity

*For citation:* Akimova A.A., Lomovskoy V.A., Simonov-Emel'yanov I.D. Aqueous polyvinyl alcohol solution foaming at different molecular masses. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.* 2021;16(4):337–344 (Russ., Eng.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-4-337-344>

При создании высокопористых фильтров для отделения воды от углеводородных топлив (керосина, бензина и др.) в качестве исходного компонента используется поливиниловый спирт (ПВС), который избирательно поглощает воду из углеводородной органики [1].

Технология получения фильтров включает стадию получения пен из водных растворов ПВС [2–4]. Структура и параметры образующихся пен, кратность вспенивания, их устойчивость во времени определяются, в первую очередь, молекулярной массой ПВС, концентрацией водных растворов ПВС и технологическими параметрами процессов их получения [5–9]<sup>1</sup>.

Несомненный интерес представляет установление основных закономерностей формирования пен с регулируемыми параметрами структуры и свойствами.

Целью данной работы является исследование процесса пенообразования и влияния структуры водных растворов ПВС с различной молекулярной массой и концентрацией, а также силоскоростных и температурных параметров вспенивания на их свойства.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования использовали поливиниловый спирт фирмы *Mowiol* (Тайвань) с разной молекулярной массой ( $M_w$ ): *Mowiol* 5-88 с  $M_w = 22000$ , *Mowiol* 18-88 с  $M_w = 55000$ , *Mowiol* 26-88 с  $M_w = 68000$  и *Mowiol* 47-88 с  $M_w = 81000$  с долей основного вещества 99.95%. Поливиниловый спирт с молекулярной массой больше 81000 брать нецелесообразно, так как в процессе его растворения в воде происходит процесс частичной флокуляции растворенных частиц ПВС и образование крупных ассоциатов, не поддающихся разделению [10, 11].

Растворы поливинилового спирта с заданной концентрацией в воде готовили в мерной колбе объемом 1000 мл, в которую помещали навеску поливинилового спирта и приливали 800 мл деионизированной воды. Деионизированная вода была получена с помощью системы высокой очистки воды 1 типа, *Milli-Q Integral 5* (*Merck Millipore*, Берлингтон, Массачусетс, США), с удельным сопротивлением 18.0 МОм·см. Колбу помещали в термостат при 80 °С и при постоянном перемешивании проводили процесс до полного растворения поливинилового спирта, которое оценивали визуально, а затем остужали до 25 °С. О качестве полного растворения

и гетерогенности растворов разной концентрации ПВС в воде судили по данным динамического светорассеяния, полученных на анализаторе частиц *Zetasizer Nano* (*Malvern Instruments*, США).

Метод основан на регистрации флуктуаций рассеянного света от частиц, находящихся в непрерывном броуновском движении [12]. Через анализируемый образец пропускают лазерный луч и регистрируют интенсивность рассеивания света частицами во времени. При облучении частиц лазером свет рассеивается во всех направлениях. Наблюдаемый рассеянный свет поступает от совокупности рассеивающих элементов в определенном объеме и зависит от углов, под которыми выполняется регистрация, и характеристик апертур. Наблюдаемая интенсивность рассеянного света при любых условиях будет результатом наложения света, рассеянного каждым элементом, и, таким образом, будет зависеть от относительных положений этих элементов. При движении частиц их относительное положение меняется, наблюдаются флуктуации интенсивности рассеянного света. Поскольку под действием броуновской силы частицы двигаются случайным образом, флуктуации интенсивности рассеянного света случайны. Для небольших, быстро движущихся частиц наблюдаются быстрые флуктуации, для более крупных и более медленных частиц наблюдаются более медленные флуктуации.

Анализ колебаний интенсивности позволяет определить скорость броуновского движения и рассчитать размер частиц по уравнению Стокса-Эйнштейна.

Фотонный анализатор частиц *Zetasizer Nano* имеет диапазон измерений частиц от 0.3 до 10000 нм. Рабочий интервал температур составляет 2–120 °С, угол детектирования рассеянного света 173°, в качестве источника света используется гелий-неоновый лазер с длиной волны 633 нм, мощность источника света 5 мВт. Прибор определяет размеры частиц при помощи измерения скорости флуктуации рассеянного света частицами. Измерение проводили в автоматическом режиме по стандартной методике.

Пены из водных растворов ПВС с разной  $M_w$  и концентрацией получали механическим вспениванием [13] при разных температурах. В мерный цилиндр объемом 500 мл с диаметром 50 мм и высотой 350 мм приливали 250 мл раствора поливинилового спирта в воде. Затем в цилиндр помещали трехлопастной ротор верхне-приводной лабораторной мешалки, таким образом, чтобы ротор не касался дна цилиндра (расстояние до дна ~50 мм) и штангенрейсмасом измеряли высоту столба жидкости до начала перемешивания. В зависимости от температуры проведения эксперимента, цилиндр с раствором помещали в термостат при заданной температуре и термостатировали

<sup>1</sup> Вилкова Н.Г. Коллоидно-химические свойства полиэдрических пен и эмульсий: дис. д-ра хим. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова; 2007. 285 с. [Vilkova N.G. Colloidal-chemical properties of polyhedral foams and emulsions. Cand. Thesis (Chem.). Moscow: M.V. Lomonosov Moscow State University; 2007. 285 p. (in Russ.).]

в течение 30 мин. Включали мешалку и проводили процесс пенообразования при скорости 1000 об/мин в течение 5 мин (экспериментально определено, что именно это время необходимо для достижения предельной кратности вспенивания), после чего выключали мешалку и измеряли столб жидкости с пеной еще раз.

Кратность вспенивания ( $\beta$ ) рассчитывали по формуле:

$$\beta = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ж}}},$$

где  $V_{\text{п}}$  – объем полученной пены;  $V_{\text{ж}}$  – объем исходного жидкого раствора ПВС в воде.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение гомогенности водных растворов ПВС проводили с помощью метода динамического рассеяния света на анализаторе частиц Zetasizer Nano.

В качестве примера на рис. 1 приведены зависимости интенсивности светорассеяния для 4 об. %

водных растворов ПВС с минимальной (1) и максимальной (2) молекулярной массой от диаметра ассоциатов.

Установлено, что растворы ПВС в воде представляют собой коллоидную дисперсную систему, состоящую из ассоциатов ПВС в воде, причем средний диаметр ассоциатов зависит от молекулярной массы: для  $M_w = 22000$  от 4.8 до 50.8 нм, а для  $M_w = 81000$  от 5.6 до 68.1 нм.

Ассоциативная структура водных растворов ПВС будет оказывать влияние на процессы пенообразования.

На рис. 2. представлены зависимости кратности вспенивания ( $\beta$ ) водных растворов ПВС от концентрации (а) и молекулярной массы (б).

С увеличением концентрации с 4 до 24 об. % водных растворов ПВС с разной молекулярной массой кратность вспенивания снижается от 6.4–3.7 до 4.9–1.8, то есть в ~1.5 раза, вследствие повышения вязкости растворов. На кривых рис. 2а наблюдается перегиб при концентрации раствора ~12 об. %, поэтому интерес представляет зависимость кратности вспенивания от молекулярной массы для растворов с концентрацией 12 об. %.

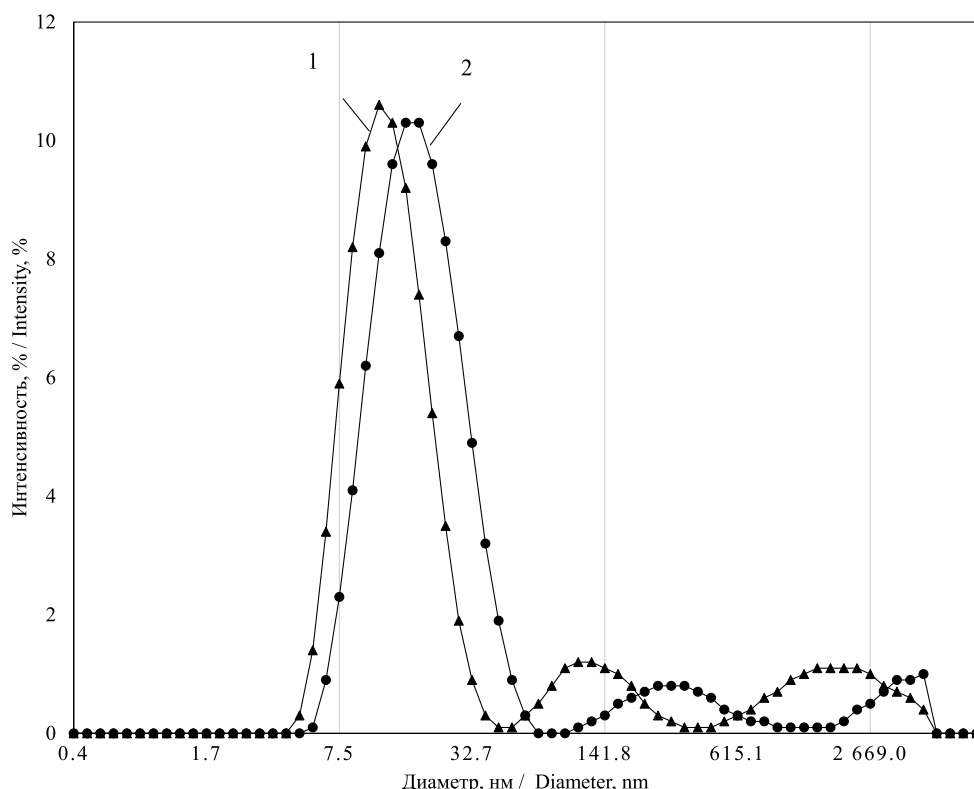


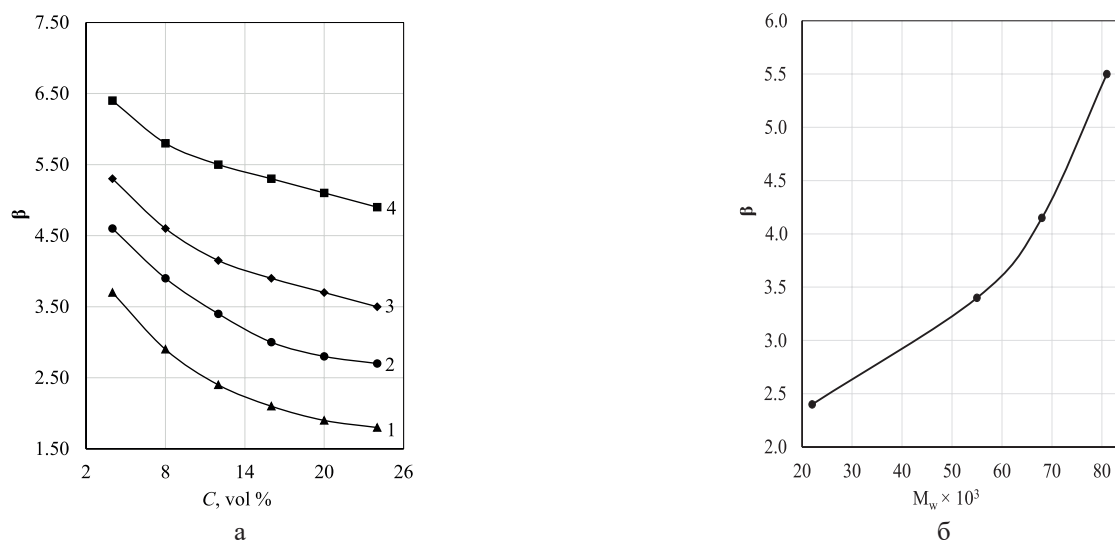
Рис. 1. Зависимость распределения ассоциатов по размерам в 4 об. % водных растворах ПВС с разной молекулярной массой ( $M_w$ ): 1 –  $M_w = 22000$ , 2 –  $M_w = 81000$ .

Fig. 1. Dependence of associate distributions by size in 4 vol % aqueous PVA solutions with different molecular weights ( $M_w$ ): (1)  $M_w = 22000$ , (2)  $M_w = 81000$ .

Влияние молекулярной массы ПВС на пенообразование проявляется в меньшей степени, чем изменение концентрации растворов (рис. 2б), причем на кривой  $\beta = f(M_w)$  наблюдается перегиб при  $M_w = 55000$ , что указывает на увеличение эффективности пенообразования при использовании ПВС с молекулярной массой более 60000. Максимальная кратность вспенивания ( $\beta \approx 5.5$ ) водных растворов достигается для ПВС с  $M_w = 81000$  и концентрацией раствора 4 об. %.

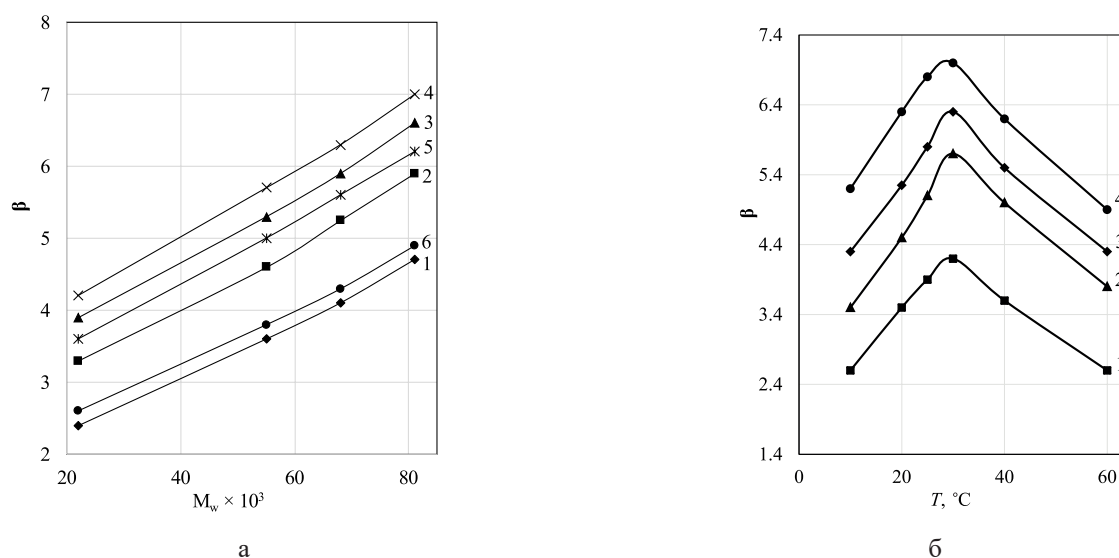
На процесс вспенивания водных растворов ПВС существенное влияние будет оказывать температура, так как при ее повышении вязкость растворов снижается, что эквивалентно снижению концентрации растворов.

На рис. 3 приведены зависимости кратности вспенивания водных растворов ПВС с концентрацией 4 об. % от молекулярной массы (а) и температуры (б).



**Рис. 2.** Зависимость кратности вспенивания  $\beta$  водных растворов ПВС с различной молекулярной массой ( $M_w$ ) при 20 °С: 1 – 22000, 2 – 55000, 3 – 68000, 4 – 81000 от их концентрации (а) и от молекулярной массы при концентрации 12 об. % (б).

**Fig. 2.** Dependence of  $\beta$  for aqueous PVA solutions with different  $M_w$  at 20 °С: (1)  $M_w = 22000$ , (2)  $M_w = 55000$ , (3)  $M_w = 68000$ , (4)  $M_w = 81000$ ; (a) concentrations, (b)  $M_w$  for a concentration of about 12 vol %.



**Рис. 3.** Зависимость кратности вспенивания  $\beta$  водных растворов ПВС с концентрацией 4 об. % от молекулярной массы при различных температурах вспенивания, °С: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 25, 4 – 30, 5 – 40 и 6 – 60 (а) и от температуры вспенивания при разных  $M_w$ : 1 – 22000, 2 – 55000, 3 – 68000, 4 – 81000 (б).

**Fig. 3.** Dependence of  $\beta$  for aqueous PVA solutions at a concentration of 4 vol %: (a) on the  $M_w$  at different temperatures: (1) 10 °С, (2) 20 °С, (3) 25 °С, (4) 30 °С, (5) 40 °С, and (6) 60 °С; and (b) on temperature at different  $M_w$ : (1)  $M_w = 22000$ , (2)  $M_w = 55000$ , (3)  $M_w = 68000$ , (4)  $M_w = 81000$ .

Показано, что с увеличением молекулярной массы с 22000 до 81000 кратность вспенивания водных растворов ПВС возрастает практически при всех температурах (10–60 °С) приблизительно в 2 раза.

Как видно из рис. 3а, зависимости кратности вспенивания водных растворов ПВС с концентрацией 4 об. % от молекулярной массы при температурах 10 и 60 °С находятся близко друг к другу, так как у них самая низкая кратность вспенивания, а также наблюдается резкий спад кратности вспенивания при 60 °С, в связи с понижением вязкости раствора [13].

По данным рис. 3б можно проследить влияние температуры на кратность вспенивания водных растворов ПВС с разной молекулярной массой. Установлено, что максимальная кратность вспенивания водных растворов ПВС достигается при температуре 30 °С практически при всех значениях  $M_w$ . При увеличении температуры кратность вспенивания понижается.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены данные по процессам механического пенообразования из водных растворов ПВС с разной молекулярной массой (от 22000 до 81000) и концентрацией растворов (от 4 до 24 об. %) при различных температурах (10–60 °С).

Установлено, что максимальной пенообразующей способностью обладают растворы ПВС с молекулярной массой 81000 и концентрацией 4 об. %. Однако с целью увеличения концентрации ПВС в

водных растворах и получения более устойчивых пен (устойчивость пены – это способность пены сохранять параметры исходной структуры, так как пена является структурированной дисперсной системой) вспенивание можно проводить при оптимальной температуре 30 °С и концентрации раствора ПВС равной 12 об. %. В этом случае достигается максимальная кратность вспенивания  $\beta = 4.2$ , которая ранее была получена при 4 об. % содержании ПВС в воде.

Кратность вспенивания водных растворов ПВС с разной концентрацией и молекулярной массой в зависимости от температуры раствора характеризуется максимумом при 30 °С, что связано с уменьшением вязкости и снижением поверхностного натяжения растворов.

### Вклад авторов

**А.А. Акимова** – планирование и проведение исследований, обработка материалов исследований, написание текста статьи;

**В.А. Ломовской** – научное консультирование и помощь в обработке полученных результатов;

**И.Д. Симонов-Емельянов** – общее руководство процессом исследований и подготовка материала к публикации.

### Authors' contribution

**A.A. Akimova** – planning and conducting research, processing research materials, writing the text of the article;

**V.A. Lomovskoy** – scientific consulting and assistance in processing the results obtained;

**I.D. Simonov-Emel'yanov** – general management of research processes and preparation of material for publication.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interest.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков С.Н. *Поливиниловый спирт и его производные: в 2 т.* М.-Л.: Изд. АН СССР; 1960. Т. 1. 552 с.
2. Панов Ю.Т. *Научные основы создания пенопластов второго поколения: монография.* Владимир: Ред.-издат. комплекс ВлГУ; 2003. 176 с. ISBN 5-89368-379-X.
3. Лысаков В.Н., Седунов С.Г., Тараскин К.А., Спиридонова М.П. Методы получения и исследования свойств пенных составов, перспективных для создания звукоизоляционных покрытий. *Молекулярные технологии.* 2008;2:61–79.
4. Ломовской В.А., Абатурова Н.А., Ломовская Н.Ю., Хлебникова О.А., Саков Д.М., Галушко Т.Б., Бартенева А.Г. Влияние пористости структуры поливинилформала на его сорбционные характеристики. 5-ая Научная конференция «Физическая химия поверхностных явлений и адсорбции». 1–6 июля 2013 г. Плес: Труды конференции. ФБГОУ ВПО Иван.гос.хим.-технол. ун-т. Иваново, 2014. с.52.

### REFERENCES

1. Ushakov S.N. *Polivinilovyi spirt i ego proizvodnye: v 2 t. (Polyvinyl alcohol and its derivatives: in 2 v.).* Moscow, Leningrad: Izd. Akad. Nauk SSSR; 1960. V. 1. 552 p. (in Russ.).
2. Panov Yu.T. *Nauchnye osnovy sozdaniya penoplastov vtorogo pokoleniya: monografiya (Scientific basis for the creation of second-generation foams).* Vladimir: Vladimir Gos. Univ. 2003. 176 p. (in Russ.). ISBN 5-89368-379-X.
3. Lysakov V.N., Sedunov S.G., Taraskin K.A., Spiridonova M.P. Methods of obtaining and studying the properties of foam compositions, promising for creation sound-proof coatings. *Molekul. Tekhnol. = Molecul. Technol.* 2008;2:61–79 (in Russ.).
4. Lomovskoy V.A., Abaturova N.A., Lomovskaya N. Yu., Khlebnikova O. A., Sakov D. M., Galushko T. B., Barteneva A. G. Influence of the porosity of the polyvinylformal structure on its sorption characteristics. 5th Scientific Conference “Physical Chemistry of surface phenomena and adsorption.” July 1–6, 2013 Ples: Proceedings of the conference. FGBOU VPO Ivan. Gos. Khim.-Tekhnol. Univ. Ivanovo, 2014. p. 52. (in Russ.)

5. Вилкова Н.Г., Мишина С.И., Дорчина О.В. Устойчивость пен, содержащих дизельное топливо. *Изв. ВУЗов. Серия: Химия и химическая технология*. 2018;61(6):48–53. <https://doi.org/10.6060/tcct.20186106.5361>
6. Манжай В.Н., Фуфаева М.С. Дисперсность и устойчивость пены, полученной из раствора поливинилового спирта, и свойства сформированных пенокриогелей. *Коллоидный журнал*. 2014;76(4):495–499. <https://doi.org/10.7868/S0023291214040090>
7. Тихомиров В.К. *Пены: теория и практика их получения и разрушения*. М.: Химия; 1983. 265 с.
8. Özarmud Ö., Steeb H. Rheology properties of liquid and particle stabilized foam. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2015;602(1):012031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/602/1/012031>
9. Бондаренко Ж. В., Адамцевич Н. Ю., Бруцкая И. О. Пенообразование в водных растворах бинарных смесей анионного и неионогенного поверхностно-активных веществ. *Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2017;2(199):127–131.
10. Nagarkar R., Patel J. Polyvinyl Alcohol: A Comprehensive Study. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*. 2019;3(4):34–44.
11. Muppalaneni S., Omidian H. Polyvinyl Alcohol in Medicine and Pharmacy: A Perspective. *J. Develop. Drugs*. 2013;2:112. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-6631.1000112>
12. Хлебцов Б.Н., Ханадеев В.А., Пылаев Т.Е., Хлебцов Н.Г. Метод динамического рассеяния света в исследованиях силикатных и золотых наночастиц. *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер.: Физика*. 2017;17(2):71–84. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2017-17-2-71-84>
13. Тареп А.А. *Физико-химия полимеров*. М.: Научный мир; 2007. 575 с. ISBN 978-589-176-437-8.
5. Vilkova N.G., Mishina S.I., Dorchina O.V. Stability of foams containing diesel fuel. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018;61(6):48–53 (in Russ.). <https://doi.org/10.6060/tcct.20186106.5361>
6. Manzhai V.N., Fufaeva M.S. Dispersity and stability of foams obtained from poly(vinyl alcohol) solution and the properties of resulting formed foams cryogels. *Colloid J.* 2014;76(4):495–499. <https://doi.org/10.1134/S1061933X14040097>
7. Tikhomirov V.K. *Peny: teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya (Foams: theory and practice of their production and destruction)*. Moscow: Khimiya; 1983. 265 p. (in Russ.).
8. Özarmud Ö., Steeb H. Rheology properties of liquid and particle stabilized foam. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2015;602(1):012031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/602/1/012031>
9. Bondarenko Zh. V., Adamtsevich N. Yu., Brutsкая I. O. Foaming in aqueous solutions of binary mixtures of anionic and nonionic surfactants. *Trudy BGTU. Ser. 2. Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya = Proceedings of BSTU. Ser. 2. Chemical technologies. Biotechnology. Geoecology*. 2017;2(199):127–131 (in Russ.).
10. Nagarkar R., Patel J. Polyvinyl Alcohol: A Comprehensive Study. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*. 2019;3(4):34–44.
11. Muppalaneni S., Omidian H. Polyvinyl Alcohol in Medicine and Pharmacy: A Perspective. *J. Develop. Drugs*. 2013;2:112. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-6631.1000112>
12. Khlebtsov B.N., Khanadeev V.A., Pylaev T.E., Khlebtsov N.G. Dynamic light scattering in studies of silicate and gold nanoparticles. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Fizika = Izv. Saratov Univ. (N.S.). Ser.: Physics*. 2017;17(2):71–84 (in Russ.). <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2017-17-2-71-84>
13. Tager A.A. *Fiziko-khimiya polimerov (Physical chemistry of polymers)*. Moscow: Nauchnyi mir; 2007. 575 p. (in Russ.). ISBN 978-589-176-437-8

#### Об авторах:

**Акимова Анастасия Александровна**, старший преподаватель кафедры проблем управления Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: akimova@mirea.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9882-4005>

**Ломовской Виктор Андреевич**, д.ф.-м.н., профессор кафедры химии и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86); заведующий лабораторией структурообразования в дисперсных системах, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (119071, Россия, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4). E-mail: lomovskoy49@gmail.com. Scopus Author ID 38361576700. ResearcherID J-5229-2018. <https://orcid.org/0000-0002-6116-1209>

**Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой химии и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: simonov@mitht.ru. Scopus Author ID 6603181099.

**About the authors:**

**Anastasiya A. Akimova**, Senior Lecturer, Department of Management Issues Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454, Russia). E-mail: akimova@mirea.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9882-4005>

**Viktor A. Lomovskoy**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Department of Chemistry and Technology of Plastics and Polymer Composites Processing, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russia); Head of the Laboratory of Structure Formation in Dispersed Systems, A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences (31, Leninskii pr., Moscow, 119071, Russia). E-mail: lomovskoy49@gmail.com. Scopus Author ID 38361576700, ResearcherID J-5229-2018, <https://orcid.org/0000-0002-6116-1209>

**Igor D. Simonov-Emel'yanov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Chemistry and Technology of Plastics and Polymer Composites Processing, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: simonov@mitht.ru. Scopus Author ID 6603181099.

*Поступила: 03.07.2020; получена после доработки: 25.09.2020; принята к опубликованию: 07.08.2021.  
The article was submitted: July 03, 2020; approved after reviewed: September 25, 2020; accepted for publication: August 07, 2021.*