

**ИЗУЧЕНИЕ ПЕНООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ БЕЛКОВЫХ  
ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗАТОВ  
КЕРАТИНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГИДРОКСИДА НАТРИЯ**

©2022 К. А. Брескин<sup>1</sup>, Е. Н. Розанова<sup>2</sup>, В. М. Жмыхов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>бакалавр 4 курса направления подготовки Химия

e-mail: [alex\\_danilov\\_46rus@mail.ru](mailto:alex_danilov_46rus@mail.ru)

<sup>2</sup>кандидат химических наук, доцент кафедры химии

e-mail: [rozanova.lena2012@yandex.ru](mailto:rozanova.lena2012@yandex.ru)

<sup>3</sup>кандидат химических наук, ИП

e-mail: [merfy46@gmail.com](mailto:merfy46@gmail.com)

*Курский государственный университет*

Белковые пенообразователи на основе гидролизатов кератинсодержащего сырья, полученных с использованием щелочного гидролиза, обладают комплексом свойств, необходимых для применения их в процессе изготовления пенобетона. Белковые пенообразователи в водном растворе и в цементной смеси образуют пену с высокими показателями пенообразующих свойств (кратности пены, объемного веса пены, устойчивости пены). Изучение зависимости пенообразующих свойств белковых пенообразователей от условий проведения щелочного гидролиза кератинсодержащего сырья позволяет оптимизировать процесс гидролиза с получением гидролизата, являющегося основным компонентом белкового пенообразователя.

**Ключевые слова:** белковый пенообразователь, кератинсодержащее сырье, гидролизат, пенообразующие свойства, кратность пены, объемный вес пены, устойчивость пены.

**STUDY OF FOAMING PROPERTIES OF PROTEIN FOAMING AGENTS BASED  
ON HYDROLYSATES OF KERATIN-CONTAINING RAW MATERIALS  
OBTAINED USING SODIUM HYDROXIDE**

© 2022 K. A. Breskin<sup>1</sup>, E. N. Rozanova<sup>2</sup>, V. M. Zhmykhov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bakalavr of the 4th year of the Chemistry course

e-mail: [alex\\_danilov\\_46rus@mail.ru](mailto:alex_danilov_46rus@mail.ru)

<sup>2</sup>Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry

e-mail: [rozanova.lena2012@yandex.ru](mailto:rozanova.lena2012@yandex.ru)

<sup>3</sup>Candidate of Chemical Sciences, IP

e-mail: [merfy46@gmail.com](mailto:merfy46@gmail.com)

*Kursk State University*

Protein foaming agents based on hydrolysates of keratin-containing raw materials obtained using alkaline hydrolysis have a set of properties necessary for their use in the manufacture of foam concrete. Protein foaming agents in an aqueous solution and in a cement mixture form a foam with high foaming properties (foam multiplicity, foam volume weight, foam stability). The study of the dependence of the foaming properties of protein foaming agents on the conditions of alkaline hydrolysis of keratin-containing raw materials makes it possible to optimize the hydrolysis process to obtain hydrolysate, which is the main component of protein foaming agent.

**Keywords:** protein foaming agent, keratin-containing raw materials, hydrolysate, foaming properties, foam multiplicity, foam volume weight, foam stability.

На современном уровне развития рынка строительных материалов производство изделий из пенобетона занимает важное место. Данный строительный материал заслуживает большого внимания благодаря таким своим свойствам, как негорючесть, экологическая чистота, а также низкая теплопроводность, что позволяет создавать из него высокоэффективные и долговечные конструкции.

Существует множество различных пенообразователей для пенобетона, в том числе белковые пенообразователи, основой для которых является белокосодержащее сырье, подвергнутое щелочному гидролизу. В результате анализа опыта, накопленного в строительной сфере, можно сделать вывод, что белковые пенообразователи с точки зрения технологической эффективности особенно востребованы для создания пенобетона, поскольку они способны образовывать более прочную пену на воздухе и в цементной смеси. Зарубежные пенообразователи имеют достаточно высокую стоимость, поэтому создание отечественного, относительно дешевого промышленного белкового пенообразователя с лучшими показателями пенообразования является одним из направлений импортозамещения в строительной отрасли.

Основным компонентом белкового пенообразователя является гидролизат, полученный щелочным гидролизом кератинсодержащего сырья. Пенообразующие свойства белкового пенообразователя при этом зависят от множества факторов, в том числе и от параметров процесса гидролиза кератинсодержащего сырья, а именно: происхождения кератинсодержащего сырья, природы щелочного гидролизующего реагента и его концентрации в гидролизующем растворе, условий проведения гидролиза кератинсодержащего сырья. Важное значение также имеют компонентный состав белкового пенообразователя, методика его приготовления.

При проведении эксперимента нами была поставлена цель – приготовить белковые пенообразователи на основе гидролизатов кератинсодержащего сырья, полученных с различным содержанием щелочного реагента в гидролизующем растворе, и изучить их пенообразующие свойства. Для приготовления белковых пенообразователей были использованы гидролизаты кератинсодержащего сырья, полученные в лабораторных условиях щелочным гидролизом кератинсодержащего сырья – рогокопытного сырья (РКС) с использованием в качестве гидролизующего агента гидроксида натрия при различном его содержании в гидролизующих растворах. Методика приготовления белковых пенообразователей в лабораторных условиях основана на последовательности операций, используемой в производственных условиях, которая была адаптирована к условиям проведения лабораторного эксперимента. Компонентный состав включал белковый гидролизат, соляную кислоту, пероксид водорода, хлорид магния, воду, кристаллогидрат сульфата железа (II), изобутиловый спирт.

Были приготовлены пенообразователи на основе лабораторных гидролизатов твердого кератина – РКС, которые отличались соотношением масс гидроксида натрия, РКС и воды (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика гидролизатов РКС, использованных в эксперименте для получения белковых пенообразователей

№ п/п состава пенообразователя	Отличительный признак пенообразователя: соотношение масс гидроксида натрия, РКС и воды при получении гидролизата РКС, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{в}}$ , г:г:г
1	4:43:130
2	5,5:43:130
3	7:43:130
4	8,5:43:130
5	10:43:130
6	11:43:130
7	12:43:130

В процессе изучения пенообразующей способности полученных белковых пенообразователей были определены кратность и объёмный вес пены. На рисунках 1 и 2 представлены гистограммы, отражающие взаимосвязь особенностей получения гидролизатов с кратностью и объёмным весом пены пенообразователей.

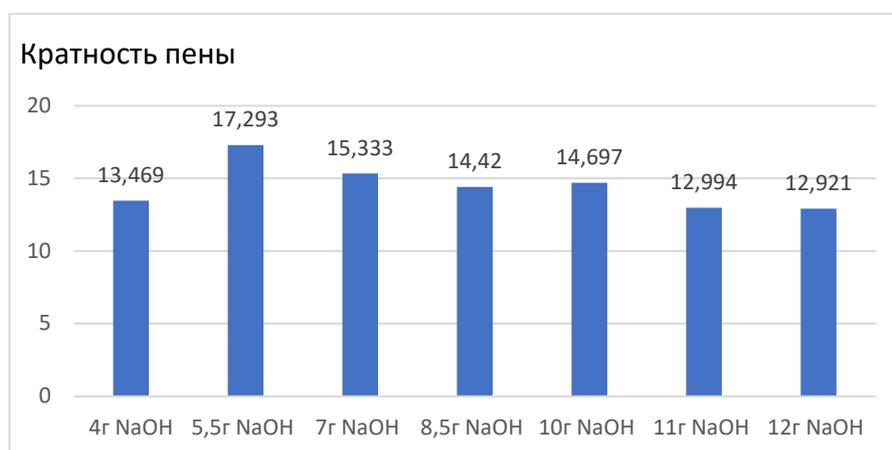


Рис. 1. Кратность пены белковых пенообразователей в зависимости от содержания гидроксида натрия при получении гидролизатов РКС

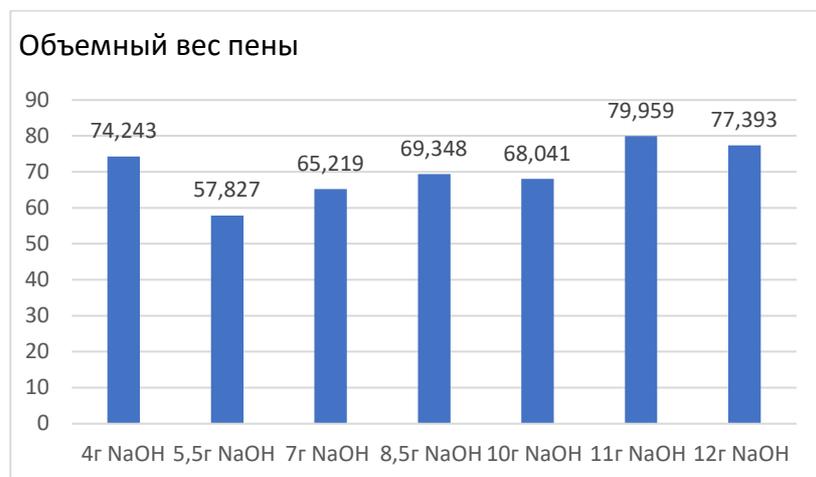


Рис. 2. Объёмный вес пены белковых пенообразователей в зависимости от содержания гидроксида натрия при получении гидролизатов РКС

Качество пенообразователя определяется соответствием величин кратности пены и объемного веса пены установленным интервалам показателей пенообразующей способности. Анализ представленных гистограмм показывает, что все изученные пенообразователи на основе гидролизатов, полученных гидролизом РКС с использованием гидроксида натрия, имеют показатели пенообразующей способности в пределах требуемого интервала.

В процессе изготовления пенобетона большое значение имеет устойчивость пены растворов пенообразователей (ПО), которая оценивается по изменению объема пены во времени, она определяется отношением объема пены в текущий момент времени к начальному. Пена должна быть стабильна в течение 0,5 – 1ч. Нами регистрировался объем пены каждые 10 минут в течение 1,5 ч в большинстве случаев, за 100 % принимался начальный объем пены, и для каждого измерения рассчитывалась величина объема пены в процентах к начальному. На рисунке 3 представлены зависимости изменения объема пены во времени для выбранных растворов пенообразователей в зависимости от содержания гидроксида натрия при получении гидролизатов РКС.

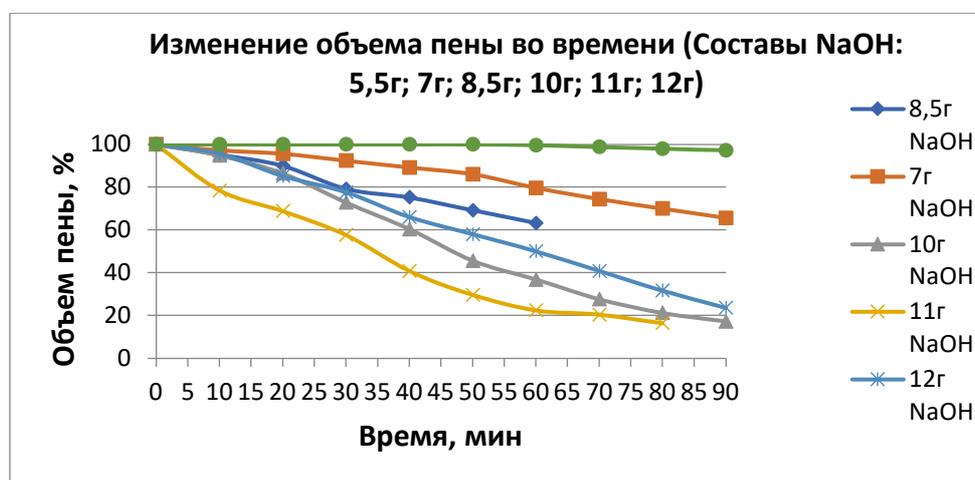


Рис. 3. Изменение объема пены во времени для растворов белковых пенообразователей

Полученные зависимости были проанализированы на предмет соответствия полиномиальной и линейной функциональной зависимости по величине достоверности аппроксимации  $R^2$ , результаты обработки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты обработки данных по устойчивости пены (вид функции,  $R^2$ )

Полиномиальная линия тренда	$R^2$	Линейная линия тренда	$R^2$
ПО №1 на основе гидролизата, полученного с соотношением, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{B}}=5,5:43:130$			
$y = -0,0007x^2 + 0,0346x + 99,789$	0,9727	$y = -0,0207x + 100,63$	0,616
ПО №2 на основе гидролизата, полученного с соотношением, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{B}}=7:43:130$			
$y = -0,0022x^2 - 0,192x + 99,989$	0,9958	$y = -0,3925x + 102,66$	0,9757
ПО №3 на основе гидролизата, полученного с соотношением, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{B}}=8,5:43:130$			
$y = 0,0004x^2 - 0,6586x + 100,91$	0,9899	$y = -0,6329x + 100,7$	0,9898
ПО №4 на основе гидролизата, полученного с соотношением, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{B}}=10:43:130$			
$y = 0,0026x^2 - 1,2497x + 105,13$	0,9877	$y = -1,0165x + 102,02$	0,9836
ПО №5 на основе гидролизата, полученного с соотношением, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{B}}=11:43:130$			
$y = 0,0094x^2 - 1,8095x + 99,211$	0,9932	$y = -0,9627x + 87,92$	0,9360
ПО №6 на основе гидролизата, полученного с соотношением, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{B}}=12:43:130$			
$y = -0,0003x^2 - 0,8478x + 101,94$	0,9978	$y = -0,8778x + 102,34$	0,9977

Как показал анализ достоверностей аппроксимации ( $R^2$ ), все рассматриваемые зависимости характеризуются полиномиальной функцией второй степени с высокими значениями величин  $R^2$ . Линейная функция описывает почти все зависимости также с высокой достоверностью аппроксимации. В связи с тем что линейная функция отражает полученные данные по кинетике устойчивости пены с достаточно высокой величиной достоверности аппроксимации, решено было определять средние скорости снижения устойчивости пены по этой зависимости, которые приведены в таблице 3, то есть как среднеарифметические величины для всего времени опыта.

Таблица 3  
Средние скорости снижения устойчивости пены для всех растворов пенообразователей

№ ПО	Отличительный признак пенообразователя: соотношение масс гидроксида натрия, РКС и воды при получении гидролизата РКС, $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{в}}$ , г:г:г (отношение $m_{\text{NaOH}}/m_{\text{в}}$ , г/г)	Средняя скорость снижения устойчивости пены, $v_{\text{ср}}$ , %/мин
1	5,5:43:130 (0,042)	0,031
2	7:43:130 (0,054)	0,382
3	8,5:43:130 (0,065)	0,613
4	10:43:130 (0,077)	0,920
5	11:43:130 (0,085)	0,982
6	12:43:130 (0,092)	0,848

Средняя скорость снижения устойчивости пены определяется как отношение разности начального и конечного объемов пены, в %, к длительности определения устойчивости пены. Исходя из данных таблицы, следует вывод о том, что медленнее всего теряют свой объем пены растворы пенообразователей на основе гидролизатов, полученных гидролизом РКС с использованием NaOH с соотношениями 5,5:43:130 и 7:43:130. Остальные же пенообразователи теряют в минуту приблизительно 1% своего объема пены.

Таким образом, в условиях проведения эксперимента было установлено, что снижение используемого при гидролизе РКС соотношения массы гидроксида натрия к массе РКС до определенной величины приводит к повышению кратности и устойчивости пены, снижению объемного веса пены до оптимальных величин. В условиях проведения эксперимента было установлено, что оптимальным можно назвать состав белкового пенообразователя, приготовленный на основе гидролизата РКС с использованием гидроксида натрия в соотношении  $m_{\text{NaOH}}:m_{\text{PKC}}:m_{\text{в}}$ , равным 5,5:43:130.

При проведении щелочного гидролиза кератинсодержащего сырья могут быть использованы и другие щелочные реагенты. Полученные в настоящей работе данные позволяют предположить, что при использовании других щелочных реагентов необходимо также снижение содержания щелочного реагента в гидролизе кератинсодержащего сырья до определенной величины с достижением требуемых показателей пенообразующей способности приготовленных на основе гидролизатов белковых пенообразователей.

#### **Библиографический список**

1. Вилкова, Н. Г. Свойства пен и методы их исследования: монография / Н. Г. Вилкова. – Пенза : ПГУАС, 2013. – 120 с.
2. ГОСТ 23409.26-78. Смеси жидкие самотвердеющие. Метод определения пенообразующей способности и устойчивости пены растворов поверхностно-активных

веществ / Введен Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27 декабря 1978 г. N 3492 от с 01.01.80. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 3 с.

3. Зуев, В. В. Физика и химия полимеров / В. В. Зуев. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. – С. 45–48.

4. Кругляков, П. М. Пена и пенные пленки / П. М. Кругляков. – Москва: Химия, 1990. – 425 с.

5. Получение кератиновых белковых продуктов из перопуховых отходов / Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова. – Абакан, 2019. – 4 с.

6. Шиц, Л. А. Поверхностно-активные вещества / Л. А. Шиц // Большая российская энциклопедия. Том 26. – Москва, 2014. – С. 487.

7. Veslava, M. Degradating ofkeratincontaining wastes bybacteria with keratinolytic activity // Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conferense. – Augstskola, 2009. – Volume 1. – P. 284–289.