

Изучение влияния режимных параметров механического вспенивания кератинового гидролизата с загустителем в технологии пенобетона

Семид. М. Арабов	¹	ms.arabov@mail.ru	0009-0008-5051-4428
Владимир Я. Свintsov	¹	vladimir_svintsov@mail.ru	0009-0000-0410-9626
Альберт Х.-Х. Нугманов	³	nugmanov@rgau-msha.ru	0000-0002-4093-9982
Игорь Ю. Алексанян	²	16081960igor@gmail.com	0000-0001-5494-1226
Павел Д. Осмоловский	³	pavel.osmolovsku@mail.ru	0000-0003-1131-1552
Марина А. Марышева	²	vjyuvfhbyf@mail.ru	0000-0002-0046-6690

1 Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Татищева, 18, г. Астрахань, 414056, Россия

2 Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

3 Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия

Аннотация. Современная концепция строительства жилых зданий нового поколения, ориентированная на энергоэффективность, экологическую безопасность, экономическую целесообразность и гибкость планировочных решений, формирует устойчивый спрос на легкие, прочные и долговечные теплоизоляционные материалы. В данном контексте пенобетон представляет значительный интерес, а его ключевым компонентом являются высокоеэффективные пенообразователи. Перспективным направлением признана разработка белковых пенообразователей на основе гидролизатов кератинсодержащего сырья, в частности отходов птицепереработки – перопухового сырья, что позволяет решить задачу утилизации вторичных ресурсов. Целью исследования являлась разработка ресурсосберегающей технологии получения сухого пенообразователя на основе кератинового гидролизата. В качестве альтернативы энергоемкому процессу вакуумно-радиационной сушки и дорогостоящему этапу предварительного концентрирования предложено использовать введение загустителя – гуаровой камеди – с последующей конвективной сушкой. Авторами научно обоснован и экспериментально подтвержден выбор гуаровой камеди в качестве рационального реологического модификатора. Установлено, что она формирует стабильный структурный каркас, эффективно препятствующий дренажу и коалесценции пузырьков, и демонстрирует синергизм с белковыми компонентами, обеспечивая высокую кинетическую устойчивость пены. В статье представлены результаты по определению рациональных параметров процесса вспенивания: скорость вращения венчика 1600 об/мин и продолжительность 180 секунд, что обеспечивает достижение максимальной кратности и стабильности пенной структуры. Установлено, что введение гуаровой камеди в концентрации 0,35...0,40 % позволяет получить пену с высокой устойчивостью (время полураспада 35...40 минут) и оптимальными структурно-механическими свойствами, пригодную для эффективного съема и последующей конвективной сушки. Проведенное сравнение с известными аналогами подтверждает адекватность и конкурентоспособность полученных результатов, что позволяет рекомендовать данную технологию для внедрения в производственную практику.

Ключевые слова: пенобетон, пенообразователь, кератиновый гидролизат, гуаровая камедь, механическое вспенивание, структурно-механические свойства.

Study of the effect of the regime parameters of mechanical foaming of keratin hydrolysate with a thickener in foam concrete technology

Semid M. Arabov	¹	ms.arabov@mail.ru	0009-0008-5051-4428
Vladimir Y. Svintsov	¹	vladimir_svintsov@mail.ru	0009-0000-0410-9626
Albert H.-H. Nugmanov	³	nugmanov@rgau-msha.ru	0000-0002-4093-9982
Igor Y. Aleksanyan	²	16081960igor@gmail.com	0000-0001-5494-1226
Pavel D. Osmolovskiy	³	pavel.osmolovsku@mail.ru	0000-0003-1131-1552
Marina A. Marysheva	²	vjyuvfhbyf@mail.ru	0000-0002-0046-6690

1 Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 18 Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russia

2 Astrakhan State Technical University, 16/1 Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russia

3 Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russia,

Для цитирования

Арабов С.М., Свintцов В.Я., Нугманов А.Х.-Х., Алексанян И.Ю., Осмоловский П.Д., Марышева М.А. Изучение влияния режимных параметров механического вспенивания кератинового гидролизата с загустителем в технологии пенобетона // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 191–197. doi:10.20914/2310-1202-2025-3-191-197

For citation

Arabov S.M., Svintsov V.Ya., Nugmanov A.H.-H., Aleksanyan I.Yu., Osmolovskiy P.D., Marysheva M.A. Study of the effect of the regime parameters of mechanical foaming of keratin hydrolysate with a thickener in foam concrete technology. Vestnik VGUIt [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 191–197. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-191-197

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. The modern concept of building new-generation residential buildings, focused on energy efficiency, environmental safety, economic feasibility and flexibility of planning solutions, creates a steady demand for lightweight, durable and durable thermal insulation materials. In this context, foam concrete is of considerable interest, and its key component is highly effective foaming agents. The development of protein foaming agents based on hydrolysates of keratin-containing raw materials, in particular, poultry processing waste - peropukhovy raw materials, which makes it possible to solve the problem of recycling secondary resources, is recognized as a promising direction. The aim of the study was to develop a resource-saving technology for producing a dry foaming agent based on keratin hydrolysate. As an alternative to the energy-intensive vacuum-radiation drying process and the expensive pre-concentration stage, it is proposed to use the introduction of a thickener, guar gum, followed by convective drying. The authors scientifically substantiated and experimentally confirmed the choice of guar gum as a rational rheological modifier. It has been found that it forms a stable structural framework that effectively prevents the drainage and coalescence of bubbles, and demonstrates synergy with protein components, providing high kinetic stability of the foam. The article presents the results of determining the rational parameters of the foaming process: the whisk rotation speed is 1600 rpm and the duration is 180 seconds, which ensures the maximum multiplicity and stability of the foam structure. It was found that the introduction of guar gum at a concentration of 0.35...0.40% makes it possible to obtain a foam with high stability (half-life of 35..40 minutes) and optimal structural and mechanical properties suitable for effective removal and subsequent convective drying. The comparison with known analogues confirms the adequacy and competitiveness of the results obtained, which makes it possible to recommend this technology for implementation in production practice.

Keywords: foam concrete, foaming agent, keratin hydrolysate, guar gum, mechanical foaming, structural and mechanical properties.

Введение

Современная строительная отрасль демонстрирует устойчивую тенденцию к применению энергоэффективных и экологичных материалов, среди которых пенобетоны занимают одно из ведущих мест. Ключевым компонентом, определяющим их структурные и теплофизические свойства, является пенообразователь [1–4]. В последние годы все большее внимание уделяется белковым пенообразователям, в частности, на основе гидролизатов кератинсодержащего сырья, таких как отходы птицепереработки. Использование данного вторичного сырья не только позволяет получить эффективный продукт, но и решает задачу ресурсосбережения [5, 6].

Важным этапом в технологии производства сухих пенообразователей является сушка пены. Для снижения энергозатрат перспективным является переход от вакуумной сушки к более экономичной атмосферной, в частности, конвективной. Однако успешная реализация этого процесса напрямую зависит от первоначальных характеристик пенной структуры [7, 8]. Формирование стабильной пенной системы с заданными реологическими и структурными параметрами представляет собой критически важный технологический передел, предшествующий процессу сушки. Именно такие характеристики пены, как дисперсность, однородность, устойчивость к дренажу и коалесценции, непосредственно детерминируют кинетику обезвоживания, эффективность съема с рабочих поверхностей и, в конечном счете, качество получаемого порошкообразного продукта [9, 10].

Для целенаправленного управления свойствами пены на стадии её формирования в состав кератинового гидролизата вводится загуститель, в качестве которого была научно обоснована гуаровая камедь. Ее добавление способствует созданию стабильного структурного каркаса.

Однако конечные параметры пенной структуры являются функцией не только состава системы, но и режимов её механической обработки [11]. Интенсивность и продолжительность перемешивания непосредственно влияют на дисперсность воздушных пузырьков, кратность вспенивания и прочность межфазных пленок, что, в свою очередь, определяет технологическую пригодность пены для последующей сушки.

Таким образом, целью настоящего исследования являлось установление влияния режимных параметров процесса механического вспенивания (скорости вращения диспергирующего устройства и продолжительности процесса) кератинового гидролизата, модифицированного гуаровой камедью, на показатели пенообразования и стабильности пенной структуры. Определение оптимальных режимных параметров является необходимым условием для разработки эффективной и воспроизводимой технологии получения порошкообразного пенообразователя, пригодного для сушки в конвективных установках.

Материалы и методы

Объектами исследования послужил кератиновый гидролизат с добавкой гуаровой камеди, как загустителя. В качестве объекта исследования использовался готовый к применению жидкий кератиновый гидролизат. Образец был приобретен у коммерческого поставщика на платформе «Яндекс Маркет» в категории товаров для профессиональной косметики. Внешне продукт представляет собой прозрачную или слабо опалесцирующую жидкость от бесцветного до светло-соломенного оттенка, обладающую вязкостью, близкой к воде. Использование готовой жидкой формы исключило необходимость стадии предварительного растворения, что упростило его непосредственное внедрение в технологический процесс. Гуаровая камедь приобретена из того же источника электронной

коммерции, но в сегменте поставщиков пищевых и технических добавок. Исходный образец представлял собой мелкодисперсный порошок от белого до светло-кремового цвета.

Предварительные исследования, направленные на определение рациональной концентрации загустителя в гелеобразной протеиновой системе на основе ее вязкостных, структурно-механических свойств, а также визуальной оценке структуры получаемой пены и ее дисперсионного анализа, позволили выявить ее значение на уровне $C_{ГК} = 0,35 \dots 0,40 \%$. В связи с этим, для проведения дальнейших исследований, в частности влияния режимных параметров процесса механического вспенивания на получаемую пенную структуру, принимаем за рациональную концентрацию загустителя значение $C_{ГК}$, равное $0,35 \pm 5 \%$. Далее для системного понимания влияния режимных параметров процесса механического вспенивания кератинового гидролизата при его температуре $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ предлагается эксперимент с варьированием двух основных факторов: скорости вращения пеновзбивателя (ω) и продолжительности вспенивания (τ). Изучаемый диапазон варьирования основных параметров представлен в таблице 1.

Таблица 1.
Варьируемые параметры при исследовании
процесса механического вспенивания

Table 1.
Variable parameters in the study of the process
of mechanical foaming

Варьируемый параметр Variable parameter	Изучаемый диапазон Range under study
ω , об/мин	400...1700
τ , с	30...180

Экспериментальное исследование влияния режимных параметров процесса механического вспенивания проводили посредством ручного миксера марки «Viatto VA-HM265WH» с использованием венчика, в качестве взбивального органа, который прилагался к данному виду техники. На первом этапе экспериментальных исследований варьировали скорость вращения венчика при заданной максимальной продолжительности процесса, равной 180 с. На втором этапе исследований уменьшали время механического воздействия на гидролизат при рациональной скорости вращения венчика, выявленной на первом этапе.

Оценка пенообразующей способности и устойчивости пены необходима для обоснования выбора рациональной концентрации загустителя, поскольку позволяет количественно охарактеризовать функциональные свойства формируемой пенной системы. Экспериментальное определение таких параметров, как кратность пены (K),

объем дренажа (V_{dp}) и время ее полураспада ($t_{1/2}$), предоставляет интегральные критерии стабильности, непосредственно связанные с прочностью структурного каркаса пены [12, 13].

Определение K по отношению к исследуемому гидролизату с добавлением гуаровой камеди при ее различной концентрации находили из следующего соотношения [14]:

$$K = \frac{V_{pen}}{V_{ нач}}. \quad (1)$$

Величину объема взбитой протеиновой системы (V_{pen}) при исходном ее объеме в 100 мл ($V_{ нач}$) находили расчетным путем через плотностные показатели получаемой пены и гидролизата (ρ_{pen} , $\rho_{гидр}$), которые и определяли экспериментальным путем, при пятикратной повторности опытов, с помощью мерного цилиндра с градуировкой.

Результаты и обсуждение

Результаты проведенного исследования по варьированию скорости вращения венчика при заданной продолжительности процесса вспенивания кератинового гидролизата представлены в таблице 2, а в таблице 3 – результаты по варьированию продолжительности процесса вспенивания при заданной скорости вращения венчика.

Таблица 2.

Результаты исследования по варьированию
скорости вращения венчика при заданной
продолжительности процесса вспенивания
кератинового гидролизата

Table 2.
The results of a study on the variation of the
whisk rotation speed for a given duration of the
keratin hydrolysate foaming process

ω , об/мин ω , rpm	$C_{ГК}$, %	τ , с τ , sec	K	$\tau_{1/2}$, мин $\tau_{1/2}$, min
400	0,35	180	3,2	18...20
600			3,4	18...20
800			4,3	20...23
1000			5,2	20...23
1200			6,5	25...30
1400			6,7	30...35
1600			7,1	35...40
1700			6,9	35...40

Анализ данных, представленных в таблице 2 позволяет выявить четкие закономерности влияния скорости вращения (ω) на ключевые параметры процесса вспенивания – кратность вспенивания (K) и стабильность пены, характеризуемую временем её полураспада ($\tau_{1/2}$). При фиксированных параметрах ($C_{ГК} = 0,35\%$ и $\tau = 180$ с) наблюдается прямая зависимость K от ω в диапазоне от 400 до 1600 об/мин. Так, при ω , равным 400 об/мин значение K составляет 3,2,

и оно монотонно возрастает по мере увеличения скорости, достигая своего максимального значения 7,1 именно при 1600 об/мин. Этот рост объясняется увеличением энергии сдвига, передаваемой системе, что приводит к более интенсивному диспергированию газа и формированию большего объема пены. Однако дальнейшее увеличение ω до 1700 об/мин приводит к снижению K до 6,9. Это свидетельствует о достижении оптимума, за которым, вероятно, начинается процесс дестабилизации и коалесценции пузырьков из-за чрезмерно высоких механических нагрузок.

Аналогичная, но еще более выраженная тенденция прослеживается в изменении стабильности пены. Время полураспада ($\tau_{1/2}$) увеличивается с ростом ω : от 18...20 минут при 400 об/мин до 35...40 минут при 1600 об/мин. Это связано с формированием более мелкой и однородной структуры пены при высоких скоростях, что замедляет процессы дренажа и коалесценции. Важно отметить, что даже при скорости 1700 об/мин, когда K несколько падает, высокая стабильность пены (35...40 минут) сохраняется, что указывает на формирование прочной пленки, устойчивой к разрушению.

Таким образом, на основании проведенного анализа рациональной скоростью вращения венчика является 1600 об/мин. Этот режим обеспечивает синергетический эффект: одновременно достигается максимальный объем пены ($K = 7,1$) и высокая стабильность ($\tau_{1/2} = 35-40$ мин). Использование скоростей ниже 1600 об/мин не позволяет в полной мере реализовать пеногенерирующий потенциал кератинового гидролизата, в то время как превышение этого порога (1700 об/мин) хотя и не критично, но уже нецелесообразно, так как ведет к снижению основного целевого показателя – K , без существенного выигрыша в стабильности. Следовательно, скорость 1600 об/мин является рациональной для данного процесса.

Таблица 3.

Результаты исследования по варьированию продолжительности процесса вспенивания при заданной скорости вращения венчика

Table 3.

The results of the study on varying the duration of the foaming process at a given speed of rotation of the whisk

τ , с τ , sec	$C_{ГК}$, %	ω , об/мин ω , rpm	K	$\tau_{1/2}$, мин $\tau_{1/2}$, min
30	0,35	1600	5,2	25...30
50			5,4	25...30
70			5,9	30...35
90			6,4	30...35
110			6,3	30...35
130			6,5	35...40
150			7,1	35...40
180			7,1	35...40

Анализ данных, представленных в таблице 3 позволяет оценить влияние продолжительности обработки (τ) на эффективность вспенивания кератинового гидролизата и обосновать выбор рациональной продолжительности процесса. При фиксированных концентрации гидролизата ($C_{ГК} = 0,35\%$) и скорости вращения ($\omega = 1600$ об/мин) наблюдается закономерный рост коэффициента вспенивания при увеличении продолжительности процесса от 30 до 130 секунд. На начальном этапе (от 30 до 90 секунд) наблюдается интенсивный рост показателя K с 5,2 до 6,4, что объясняется постепенным насыщением системы воздухом и формированием пенной структуры. Однако, начиная с 110 секунд, рост коэффициента вспенивания резко замедляется, достигая плато величиной 7,1 на отметках 150 и 180 секунд. Это свидетельствует о том, что к 150 секундам процесс формирования пенного объема достигает своего максимума, и его дальнейшее продолжение не приводит к увеличению выхода продукта. Анализ стабильности пены, характеризуемой временем полураспада ($\tau_{1/2}$), показывает аналогичную динамику. Значение времени полураспада прогрессивно увеличивается с 25...30 минут (при 30 с) до 35...40 минут при 130 секундах и далее сохраняется на этом уровне при 150 и 180 секундах. Это указывает на то, что для формирования не только объемной, но и структурно-устойчивой пены с максимальной стабильностью достаточно 130...150 секунд обработки.

Таким образом, с чисто технологической точки зрения, рациональной продолжительностью процесса является 150 секунд, поскольку именно при этом времени достигаются максимальные значения как коэффициента вспенивания ($K = 7,1$), так и стабильности пены ($\tau_{1/2} = 35-40$ мин), и дальнейшее увеличение длительности процесса не дает никакого положительного эффекта. Однако, с учетом применяемого в строительстве оборудования (строительные миксеры и растворосмесители) цикл работы которых часто стандартизирован и ориентирован на округленные временные интервалы, рационально принять продолжительность, равную 180 секундам (3 мин).

Такое округление обусловлено следующими практическими соображениями: унификация технологического процесса; создание технологического запаса и отсутствие отрицательного эффекта:

– введение процесса в стандартный трехминутный цикл упрощает его интеграцию в существующие технологические цепочки и облегчает контроль для оператора;

– увеличение времени с 150 до 180 секунд создает незначительный запас по длительности процесса, который компенсирует возможные колебания в работе оборудования или свойств сырья, гарантируя стабильное достижение целевых параметров пены в каждой партии;

– продолжение процесса с 150 до 180 секунд не приводит к ухудшению ключевых характеристик пены (объема и стабильности), что делает это округление технологически безопасным.

Таким образом, на основании проведенного исследования влияния режимных параметров процесса механического вспенивания и анализа полученных экспериментальных данных в качестве рациональных режимных параметров процесса механического вспенивания кератинового гидролизата принимаются: $C_{\text{rk}} = 0,35\%$; $\omega = 1600 \text{ об/мин}$ и $\tau = 3 \text{ мин}$. Данное решение является компромиссом, обеспечивающим как достижение максимальных технологических показателей, так и практическую целесообразность при внедрении процесса механического вспенивания в реальных условиях строительного производства.

Заключение

Научно обоснован и экспериментально подтвержден выбор гуаровой камеди в качестве рационального загустителя для кератинового гидролизата. Установлено, что она формирует стабильный структурный каркас, эффективно препятствующий дренажу и коалесценции пузырьков, и демонстрирует синергизм с белковыми компонентами, обеспечивая высокую кинетическую устойчивость пены.

Установлены рациональные режимные параметры механического вспенивания: скорость вращения венчика 1600 об/мин и продолжительность процесса 180 секунд (3 минуты). Данный режим обеспечивает достижение максимальных показателей пенообразования и стабильности пенной структуры, а также технологичен для интеграции в реальные производственные циклы.

Сравнение представленных результатов с известными для подобных материалов данными показывает их адекватность без противоречий и, поэтому их можно успешно применять в инженерной практике пищевой индустрии.

Литература

- 1 Жеблиенок Н.Н., Малинина С.В. Некоторые аспекты развития концепции «нового города» в теории отечественного градостроительства // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 3. С. 132–141.
- 2 Стешенко А.Б., Кудяков А.И. Управление технологическими процессами для обеспечения качества пенобетона неавтоклавного твердения. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. 156 с.
- 3 Прошин А.П., Береговой В.А., Краснощеков А.А., Береговой А.М. Пенобетон: состав, свойства, применение. Пенза: Изд-во ПГУАС, 2003. 162 с.
- 4 Брескин К.А., Розанова Е.Н., Жмыхов В.М. Изучение пенообразующих свойств белковых пенообразователей на основе гидролизатов кератинсодержащего сырья, полученных с использованием гидроксида натрия // Auditorium. 2022. № 4 (36). С. 1–6.
- 5 Остроухов Е.Н., Бухта В.С., Усманов Р.З. Использование теплоизоляционного пенобетона в строительстве и влияние различных видов пенообразователей на его свойства // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных. 2022. С. 340–343.
- 6 Бурак Л.Ч. Традиционные и инновационные технологии переработки фруктов и овощей. Обзор предметного поля // The Scientific Heritage. 2025. № 153. С. 64–77.
- 7 Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. Москва: Высшая школа, 1985. 544 с.
- 8 Дяченко Н.П., Као Тхи Хуе, Дяченко Э.П., Максименко Ю.А. Исследование интенсивности конвективной пеносушки желатинового бульона из отходов переработки рыб частиковых пород // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 136–144.
- 9 Буйнов А.А. Системный подход к исследованию процессов сушки жидких пищевых продуктов во вспененном состоянии // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1997. № 2–3. С. 62–64.
- 10 Тараков А.В., Заворожина Н.В., Чугунова О.В., Вяткин А.В. Корреляция пенообразующих свойств напитков на растительной основе с физико-химическим составом // Пищевые системы. 2025. Т. 8. № 2. С. 306–312.
- 11 Смагина А.Р., Дудина Е.И. Изучение свойств пенообразователей для производства теплоизоляционных керамических материалов // Образование. Наука. Производство. 2021. С. 1613–1616.
- 12 Камлюк А.Н. Подходы к расчету кратности, дисперсности и устойчивости воздушно-механических пен низкой кратности // Вестник Университета гражданская защиты МЧС Беларуси. 2025. Т. 9. № 1. С. 54–65.
- 13 Камлюк А.Н., Лихоманов А.О., Говор Э.Г. Зависимость объёмной устойчивости низкократных пен от их кратности // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2024. Т. 69. № 3. С. 194–205.
- 14 Breskin K.A., Rozanova E.N., Zhmykhov V.M. A Study of the Foam Stability Kinetics of Protein Blowing Agents Based on Solid Keratin Hydrolysates Synthesized with a Mixture of Sodium and Calcium Hydroxide and Individually // Engineering Proceedings. 2023. V. 56. № 1. P. 64.
- 15 Zhang X., Zhang X., Shi C. et al. Development and Performance Study of Composite Protein Foaming Agent Based on Human Hair Residue // Sustainability. 2024. V. 16. № 15. P. 6608.
- 16 Shi G., Hou A., Wang Y. et al. Eco-friendly foam dyeing of cellulose fibres using keratin biomacromolecules extracted from waste rabbit hair // International Journal of Biological Macromolecules. 2025. V. 271. P. 144075.

- 17 Akmalaiuly K., Skripunas G., Kadyrova A. Development of technology for foaming keratin based on sheep's wool // *Architecture and Civil Engineering*. 2024. V. 1. № 4. P. 27–32.
- 18 Zhang X., Zhang X., Shi C. et al. Fabrication of hydrolyzed keratin-modified rigid polyurethane foams and its thermal stability and combustion performance // *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 2023. V. 28. № 7. P. 662–683.
- 19 Zhang X., Zhang X., Shi C. et al. Fabrication of flame-retardant and smoke-suppressant rigid polyurethane foam modified by hydrolyzed keratin // *International Polymer Processing*. 2023. V. 38. № 2. P. 257–266.
- 20 Gul V.E. *Structure and Properties of Conducting Polymer Composites*. Boca Raton: CRC Press, 2023.
- 21 Bachchan A.A., Das P.P., Chaudhary V. Effect of moisture absorption on the properties of natural fiber reinforced polymer composites: A review // *Materials Today: Proceedings*. 2022. V. 49. P. 3403–3408.
- 22 Kumar R., Singh R., Sharma P. et al. Effect of physical characteristics and hydrodynamic conditions on transport and deposition of microplastics in riverine ecosystem // *Water*. 2021. V. 13. № 19. P. 2710.

References

- 1 Zheblienok N.N., Malinina S.V. Some aspects of the development of the "new city" concept in the theory of domestic urban planning. *Academia. Architecture and Construction*. 2022. no. 3. pp. 132–141. (in Russian)
- 2 Steshenko A.B., Kudyakov A.I. Management of technological processes to ensure the quality of non-autoclaved aerated concrete. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2021. 156 p. (in Russian)
- 3 Proshin A.P., Beregovoy V.A., Krasnoshchekov A.A., Beregovoy A.M. Aerated concrete: composition, properties, application. Penza: Penza State University of Architecture and Construction Publishing House, 2003. 162 p. (in Russian)
- 4 Breskin K.A., Rozanova E.N., Zhmykhov V.M. Study of foaming properties of protein blowing agents based on hydrolysates of keratin-containing raw materials obtained using sodium hydroxide. *Auditorium*. 2022. no. 4 (36). pp. 1–6. (in Russian)
- 5 Ostroukhov E.N., Bukhta V.S., Usmanov R.Z. The use of thermal insulation aerated concrete in construction and the influence of various types of blowing agents on its properties. *Fundamental and Applied Research of Young Scientists*. 2022. pp. 340–343. (in Russian)
- 6 Burak L.Ch. Traditional and innovative technologies for processing fruits and vegetables. Review of the subject field. *The Scientific Heritage*. 2025. no. 153. pp. 64–77. (in Russian)
- 7 Tikhomirov V.K. *Foams. Theory and practice of their production and destruction*. Moscow: Vysshaya Shkola, 1985. 544 p. (in Russian)
- 8 Dyachenko N.P., Cao Thi Hue, Dyachenko E.P., Maksimenko Yu.A. Study of the intensity of convective foam drying of gelatin broth from waste from the processing of bony fish. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*. 2019. no. 1. pp. 136–144. (in Russian)
- 9 Buynov A.A. A systematic approach to the study of drying processes for liquid food products in a foamed state. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Food Technology*. 1997. no. 2–3. pp. 62–64. (in Russian)
- 10 Tarasov A.V., Zavorokhina N.V., Chugunova O.V., Vyatkin A.V. Correlation of foaming properties of plant-based beverages with physico-chemical composition. *Food Systems*. 2025. vol. 8. no. 2. pp. 306–312. (in Russian)
- 11 Smagina A.R., Dudina E.I. Study of the properties of blowing agents for the production of thermal insulation ceramic materials. *Education. Science. Production*. 2021. pp. 1613–1616. (in Russian)
- 12 Kamlyuk A.N. Approaches to calculating the expansion ratio, dispersion and stability of low-expansion air-mechanical foams. *Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus*. 2025. vol. 9. no. 1. pp. 54–65. (in Russian)
- 13 Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Govor E.G. Dependence of volumetric stability of low-expansion foams on their expansion ratio. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical and Technical Sciences*. 2024. vol. 69. no. 3. pp. 194–205. (in Russian)
- 14 Breskin K.A., Rozanova E.N., Zhmykhov V.M. A Study of the Foam Stability Kinetics of Protein Blowing Agents Based on Solid Keratin Hydrolysates Synthesized with a Mixture of Sodium and Calcium Hydroxide and Individually. *Engineering Proceedings*. 2023. vol. 56. no. 1. p. 64.
- 15 Zhang X., Zhang X., Shi C., Zhang Z. Development and Performance Study of Composite Protein Foaming Agent Based on Human Hair Residue. *Sustainability*. 2024. vol. 16. no. 15. p. 6608.
- 16 Shi G., Hou A., Wang Y., Zhao S., Li X., Chen G., Zhang F. Eco-friendly foam dyeing of cellulose fibres using keratin biomacromolecules extracted from waste rabbit hair. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. vol. 271. p. 144075.
- 17 Akmalaiuly K., Skripunas G., Kadyrova A. Development of technology for foaming keratin based on sheep's wool. *Architecture and Civil Engineering*. 2024. vol. 1. no. 4. pp. 27–32.
- 18 Zhang X., Zhang X., Zhang Z., Shi C., Sun T. Fabrication of hydrolyzed keratin-modified rigid polyurethane foams and its thermal stability and combustion performance. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 2023. vol. 28. no. 7. pp. 662–683.
- 19 Zhang X., Zhang X., Shi C., Zhang Z., Sun T. Fabrication of flame-retardant and smoke-suppressant rigid polyurethane foam modified by hydrolyzed keratin. *International Polymer Processing*. 2023. vol. 38. no. 2. pp. 257–266.
- 20 Gul V.E. *Structure and Properties of Conducting Polymer Composites*. Boca Raton: CRC Press, 2023.
- 21 Bachchan A.A., Das P.P., Chaudhary V. Effect of moisture absorption on the properties of natural fiber reinforced polymer composites: A review. *Materials Today: Proceedings*. 2022. vol. 49. pp. 3403–3408.
- 22 Kumar R., Singh R., Sharma P. et al. Effect of physical characteristics and hydrodynamic conditions on transport and deposition of microplastics in riverine ecosystem. *Water*. 2021. vol. 13. no. 19. p. 2710.

Сведения об авторах

Семид. М. Арабов аспирант, кафедра инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Татищева, 18, г. Астрахань, 414056, Россия, ms.arabov@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-5051-4428>

Владимир Я. Свинцов д.т.н., профессор, кафедра инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Татищева, 18, г. Астрахань, 414056, Россия, vladimir_svintsov@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-0410-9626>

Альберт Х.-Х. Нугманов д.т.н., профессор, профессор, кафедра технологии хранения и переработки плодовоощной и растениеводческой продукции, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия, nugmanov@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

Игорь Ю. Алексанян д.т.н., профессор, профессор, кафедра технологических машин, Астраханский государственный технический университет, , ул. Татищева, 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, 16081960igor@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

Павел Д. Осмоловский к.с.-х.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки плодовоощной и растениеводческой продукции, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия, pavel.osmolovsku@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>

Марина А. Марышева к.т.н., доцент, кафедра технологических машин, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16-1, г. Астрахань, 414056, Россия, vjyuvfhbyf@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0046-6690>

Вклад авторов

Семид. М. Арабов проведение экспериментальных исследований и обработка полученных данных

Владимир Я. Свинцов общее руководство исследовательской работы

Альберт Х.-Х. Нугманов статистическая обработка результатов исследования и их оценка

Игорь Ю. Алексанян общее руководство исследовательской работы

Павел Д. Осмоловский проверка полученных экспериментальных исследований и подготовка рукописи к публикации

Марина А. Марышева систематизация информации полученной при анализе литературных источников

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Semid M. Arabov postgraduate student, department of engineering systems and ecology, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Tatishcheva St., 18, Astrakhan, 414056, Russia, ms.arabov@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-5051-4428>

Vladimir Y. Svintsov Dr. Sci. (Engin.), professor, department of engineering systems and ecology, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Tatishcheva St., 18, Astrakhan, 414056, Russia, vladimir_svintsov@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-0410-9626>

Albert H.-H. Nugmanov Dr. Sci. (Engin.), professor, professor, department of technology of storage and processing of fruit and vegetable and crop products, Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya st, 49, Moscow, 127434, Russia, nugmanov@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

Igor Y. Aleksanyan Dr. Sci. (Engin.), professor, professor, department of technological machine, Astrakhan State Technical University, Tatishcheva str., 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, 16081960igor@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

Pavel D. Osmolovskiy Cand. Sci. (Agric.), associate professor, department of technology of storage and processing of fruit and vegetable and crop products, Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya st., 49, Moscow, 127434, Russia, pavel.osmolovsku@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>

Marina A. Marysheva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of technological machine, Astrakhan State Technical University, Tatishcheva str., 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, vjyuvfhbyf@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0046-6690>

Contribution

Semid M. Arabov conducting experimental studies and processing the data obtained

Vladimir Y. Svintsov general guidance of the research work

Albert H.-H. Nugmanov statistical processing of research results and their evaluation

Igor Y. Aleksanyan general guidance of the research work

Pavel D. Osmolovskiy verification of the experimental studies obtained and preparation of the manuscript for publication

Marina A. Marysheva Systematization of information obtained by analyzing literary sources

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/07/2025

После редакции 18/08/2025

Принята в печать 03/09/2025

Received 01/07/2025

Accepted in revised 18/08/2025

Accepted 03/09/2025