

## МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА КАК ГИДРОКОЛЛОИДЫ В ПИЩЕВЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

**И.Ю. Потороко**, *potorokoiy@susu.ru*

**Н.В. Науменко**, *naumenkonv@susu.ru*

**А.М.Я. Кади**, *ammarka89@gmail.com*

**К.К. Бакина**, *kseniya.bakina@mail.ru*

**С.А. Грачёв**, *sava.gra4@gmail.com*

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*

**Аннотация.** В настоящее время для пищевых систем наиболее важными показателями являются стабильность реологических свойств, которые в большей степени зависят от параметров качества исходного сырья, а также его соотношения в рецептуре продукта. Получить желаемый результат возможно при условии поиска и внедрения импортозамещающих альтернативных видов пищевых ингредиентов и технологий, способных обеспечить функционально-технологические свойства на соответствующем уровне. Для выполнения поставленных задач рациональнее всего искать решения сокращения технологических проблем в цепочке состав > процесс > свойство, что при последовательном рассмотрении системы производства позволяет определить наиболее значимые ее элементы, трансформируя которые, возможно выстроить устойчивую систему производства. Целью исследования являлось установление применимости полисахаридного комплекса продуктов переработки пророщенного зерна пшеницы в качестве гидроколлоидов, стабилизирующих эмульсию Пикеринга. В качестве исследуемых образцов получены модельные пищевые эмульсии Пикеринга, стабилизированные комплексом частиц цельносомлотой муки из пророщенного зерна пшеницы, предназначенные для использования в технологии мясных продуктов. Полученные результаты доказывают эффективность применения в качестве стабилизирующего компонента цельносомлотой муки из пророщенного зерна пшеницы, при этом оптимальные значения рН используемых эмульсий Пикеринга должны быть приближены к значению рН = 5. При этом мясные системы имеют плотную, упругую консистенцию, им соответствуют более высокие значения пика деформации, а предельное напряжение сдвига колеблется в диапазоне  $(0,42 \pm 0,16 - 0,53 \pm 0,12) \text{ Па} \times 10^{-2}$ . Полученные результаты доказывают применимость полисахаридного комплекса продуктов переработки пророщенного зерна пшеницы в качестве гидроколлоидов, стабилизирующих эмульсию Пикеринга. Эмульсии Пикеринга могут стать эффективным инструментом в получении пищевых систем эмульсионного типа высокой степени устойчивости, обладающих биоактивным действием.

**Ключевые слова:** эмульсии Пикеринга, ультразвуковое воздействие, цельносомлотая мука из пророщенного зерна пшеницы, мясные эмульсии

**Благодарности.** Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 22-26-00079.

**Для цитирования:** Микроструктурированные продукты переработки зерна как гидроколлоиды в пищевых эмульсиях / И.Ю. Потороко, Н.В. Науменко, А.М.Я. Кади и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 4. С. 89–99. DOI: 10.14529/food220409

Original article  
DOI: 10.14529/food220409

## MICROSTRUCTURED PRODUCTS OF GRAIN PROCESSING AS HYDROCOLLOIDS IN FOOD EMULSIONS

*I.Yu. Potoroko*, [potorokoiy@susu.ru](mailto:potorokoiy@susu.ru)  
*N.V. Naumenko*, [naumenkonv@susu.ru](mailto:naumenkonv@susu.ru)  
*A.M.Y. Kadi*, [ammarka89@gmail.com](mailto:ammarka89@gmail.com)  
*K.K. Bakina*, [kseniya.bakina@mail.ru](mailto:kseniya.bakina@mail.ru)  
*S.A. Grachev*, [sava.gra4@gmail.com](mailto:sava.gra4@gmail.com)  
*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

**Abstract.** Currently, for food systems, the most important indicators are the stability of rheological properties, which are more dependent on the quality parameters of the feedstock, as well as its ratio in the product formulation. It is possible to obtain the desired result subject to the search and implementation of import-substituting alternative types of food ingredients and technologies that can provide functional and technological properties at the appropriate level. To fulfill the tasks set, it is most rational to look for solutions to reduce technological problems in the composition > process > property chain, which, when sequentially considering the production system, makes it possible to determine its most significant elements, transforming which, it is possible to build a sustainable production system. The aim of the study was to establish the applicability of the polysaccharide complex of wheat germ processing products as hydrocolloids stabilizing Pickering's emulsion. Pickering's model food emulsions stabilized with a complex of particles of wholemeal flour from sprouted wheat grains, intended for use in the technology of meat products, were obtained as test samples. The results obtained prove the effectiveness of using whole-grain flour from germinated wheat as a stabilizing component, while the optimal pH values of the Pickering emulsions used should be close to pH = 5. At the same time, meat systems have a dense, elastic consistency, they correspond to higher values of the strain peak, and the ultimate shear stress ranges from  $(0.42 \pm 0.16 - 0.53 \pm 0.12) \text{ Pa} \times 10^{-2}$ . The obtained results prove the applicability of the polysaccharide complex of wheat germ processing products as hydrocolloids stabilizing Pickering's emulsion. Pickering's emulsions can be an effective tool in obtaining highly stable emulsion-type food systems with bioactive effects.

**Keywords:** Pickering emulsions, ultrasonic treatment, whole wheat germinated flour, meat emulsions

**Acknowledgments.** The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 22-26-00079.

**For citation:** Potoroko I.Yu., Naumenko N.V., Kadi A.M.Y., Bakina K.K., Grachev S.A.. Microstructured products of grain processing as hydrocolloids in food emulsions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 89–99. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220409

### Введение

В текущий момент пищевая индустрия претерпевает новый этап трансформации технологического уклада в силу имеющихся разрывов, обусловленных санкционными процессами. Привычные для производителей пищевые добавки в течение не одного десятилетия стали средством для минимизации проблем недостатков основного сырья, способным гарантировать заявленные показатели качества, приемлемого потребителем. Однако сегодня обеспечение экономической устойчивости пищевых предприятий возможно дос-

тичь за счет использования новых средств, механизмов их встраивания в технологический поток производства [11, 13].

Таким образом, рациональнее всего искать решения, применимые для сокращения технологических проблем, в цепочке состав > процесс > свойство. В этом случае при последовательном рассмотрении системы производства следует определить наиболее значимые ее элементы, трансформируя которые возможно выстроить устойчивую систему производства. Безусловно, в этих случаях возникают риски, иногда критические, тре-

бующие целостного пересмотра решения, в частности при получении многокомпонентных эмульсионных пищевых систем, так как в этом случае проявляется эффект многофакторности [5, 12, 16].

Для пищевых систем наиболее важными показателями являются стабильность реологических свойств (консистенции), которые в большей степени зависят от параметров качества исходного сырья, а также его соотношения в рецептуре продукта. Достичь желаемых результатов возможно при условии поиска и внедрения импортозамещающих альтернативных видов пищевых ингредиентов и технологий, способных обеспечить функционально-технологические свойства на соответствующем уровне [14, 15, 17]. Возможности получения бифункциональных эмульсий Пикеринга, стабилизированных частицами растительных комплексов, станут одним из решений обозначенных задач.

Известно, что весьма эффективными для решения обозначенных проблем являются гидроколлоиды, вещества гетерогенной природы, как правило, содержат полисахариды и некоторую долю белков. Эти вещества способны изменять физические свойства раствора за счет образования геля или загущения системы, эмульгирования, таким образом стабилизировать систему. В зависимости от количества доступной воды гидроколлоиды могут принимать различные формы – от суспензии до твердых образований, причем некоторые гидроколлоиды не усваиваются, обладают низкой энергетической ценностью. Высокомолекулярные гидроколлоиды за счет проявляющихся водоудерживающих свойств способны существенно влиять на реологические и текстурные свойства содержащих их систем даже при низких концентрациях, таким образом, повышают стабильность некоторых пищевых систем [5, 16].

В технологии разбавленных пищевых эмульсий особое место отводится гидрофильным полимерам, полученным из различных видов сырья. Наиболее выгодно рассматривать в этой части вторичные продукты переработки продовольственного сырья, которые несут в себе биологическую ценность и обладают водоудерживающими свойствами. В этих условиях наблюдается изменение концентрации системы, полимерные цепи начинают взаимодействовать, образуя гелеобразную сеть, устойчивость данного состояния

зависит от множества факторов (изменения рН или ионной силы), их регулирование позволит сохранять устойчивость системы необходимое количество времени [6–10].

**Цель этого исследования** – установить применимость полисахаридного комплекса продуктов переработки пророщенного зерна пшеницы в качестве гидроколлоидов, стабилизирующих эмульсию Пикеринга.

Были получены модельные пищевые эмульсии Пикеринга, стабилизированные комплексом частиц пророщенного зерна пшеницы (ПЗП), предназначенные для использования в технологии мясных продуктов.

Решение поставленных задач (рис. 1) поможет сформировать оптимальные условия, при которых эмульсии Пикеринга и гидроколлоиды в их составе будут обеспечивать свойства мясных продуктов.

#### **Объекты и методы исследований**

В качестве объектов исследования выступали модельные эмульсии Пикеринга, полученные при различных значениях рН (3, 4 и 5) и концентрациях стабилизирующего компонента (СК). В качестве стабилизирующего компонента использовалась цельносомлотая мука из пророщенного зерна пшеницы (ЦМПЗП). Эмульсии были подготовлены по технологии, описанной в публикации [5].

На первом этапе исследований оценивались реологические свойства и структура эмульсий Пикеринга на основе подсолнечного дезодорированного масла при вариации стабилизирующего компонента (при 1; 3; 5 %-ной дозировке).

В качестве модели мясной системы использовались мясные фарши для рубленых полуфабрикатов и колбасного производства, готовую ЭП вводили в количестве 5–15 % к массе фарша.

Для исследования получены следующие образцы:

Контроль а – фаршевая система для рубленых полуфабрикатов (ФСРП);

Контроль б – фаршевая система для колбасных изделий (ФСКИ);

Образец 1а – ФСРП на основе ЭП, стабилизированной ЦМПЗП при рН = 3;

Образец 2а – ФСРП на основе ЭП, стабилизированной ЦМПЗП при рН = 4;

Образец 3а – ФСРП на основе ЭП, стабилизированной ЦМПЗП при рН = 5;

Образец 1б – ФСКИ на основе ЭП, стабилизированной ЦМПЗП при рН = 3;

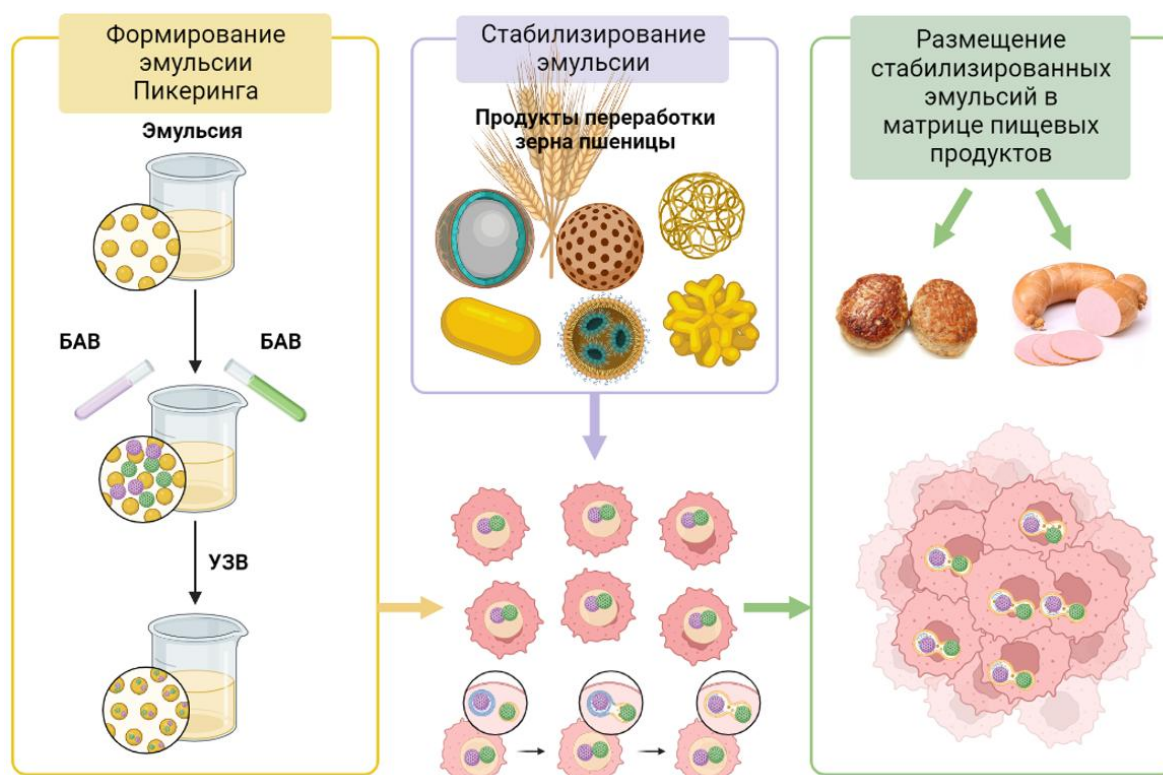


Рис. 1. Графическое отображение логистики экспериментальных исследований

Образец 2б – ФСКИ на основе ЭП, стабилизированной ЦМПЗП при pH = 4;

Образец 3б – ФСКИ на основе ЭП, стабилизированной ЦМПЗП при pH = 5.

Для достижения цели исследования и решения поставленных задач определена следующая номенклатура показателей оценки полученных образцов:

- органолептические показатели стабилизирующего компонента – цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы;

- дисперсный состав методом динамического рассеяния света на лазерном анализаторе размера частиц Microtrac S3500 согласно ААСС 55-40.01. С использованием изопропилового спирта (ЧДА) с добавлением тритона X-100;

- влажность стабилизирующего компонента согласно ГОСТ 9404-88;

- контроль pH полученных ЭП определяли потенциометрическим методом;

- вязкость, мПа·с; (на вискозиметре серии SV-10, A&D, Япония);

- реологические свойства мясной эмульсии (предельное напряжение сдвига) определяли с использованием структурометра СТ-2. Метод основан на определении усилия на-

гружения конуса при его внедрении на определенную глубину в пищевую систему, установлении времени релаксации напряжений, возникших при его деформировании, и расчете предельного напряжения сдвига с учетом угла при вершине конуса. После получения фарш помещается в бьюксы и остается в покое на 60 с. Измерения проводились при заданных параметрах:

- усилие касания  $F_k - 5$  г;
- скорость внедрения  $V_B - 0,1$  мм/с;
- глубина внедрения  $h - 7$  мм.

Предельное напряжение сдвига находили по формуле:

$$\sigma_{пр} = \frac{K \times F_n}{h^2}, \quad (1)$$

где  $K$  – константа конуса (для угла  $45^\circ = 0,416$ );  $F_n$  – усилие нагружения после времени релаксации, г;  $h$  – глубина внедрения, м.

#### Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований в соответствии с целью были исследованы свойства и гранулометрический состав комплексного стабилизирующего компонента на основе ЦМПЗП (см. таблицу).

Полученные результаты свидетельствуют о достаточно выровненном гранулометриче-

ском составе, удовлетворительных органолептических показателей и влажности ЦМПЗП, что свидетельствует о возможности его использования в качестве СК для эмульсий Пикеринга.


Результаты исследования стабилизированных ЭП (рис. 2) представлены ниже.

Для дальнейших исследований были использованы стабилизированные ЦМПЗП в количестве 1 % от массы ЭП (СЭП), которые вносились в систему мясных фаршей на этапе

подготовки в количестве 5 % от массы при вариации рН среды: вымешивания для мясных полуфабрикатов и куттерования для колбасного фарша.

На втором этапе исследований были определены реологические свойства мясной системы для контрольных и опытных образцов. Характерный вид кривых распределения нагрузки от приложенной нагрузки представлен на рис. 3.

**Результаты определения органолептических и физико-химических показателей стабилизующего компонента**

Физическое состояние	Сенсорное восприятие	Химические компоненты состава, %
	Частицы неоднородного кремового цвета, визуализируются темные плодовые и семенные оболочки	Белки – $11,9 \pm 0,3$ Жиры – $1,8 \pm 0,4$ Моно- и дисахариды – $3,6 \pm 0,3$ Крахмала – $42,9 \pm 0,6$ Массовая доля пищевых волокон – $10,8 \pm 0,4$ [1, 4]
<b>Гранулометрический состав, мкм</b> 42 % – менее 100; 34 % от 100 до 200; 24 % 200 и более [2, 3]		



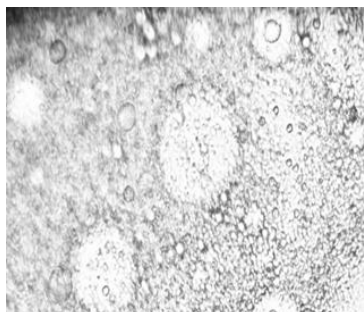
ЦМПЗП – 1 %



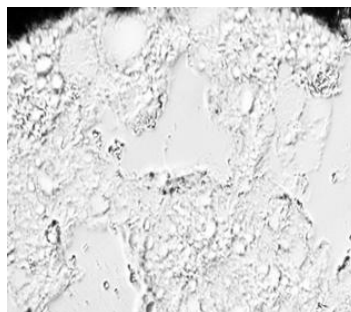
ЦМПЗП – 3 %



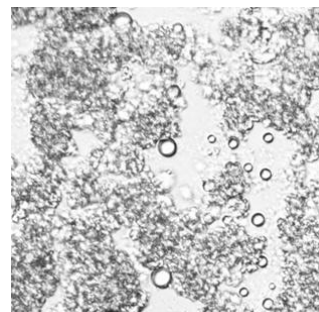
ЦМПЗП – 5 %



Вязкость – 5,93 мПа·с

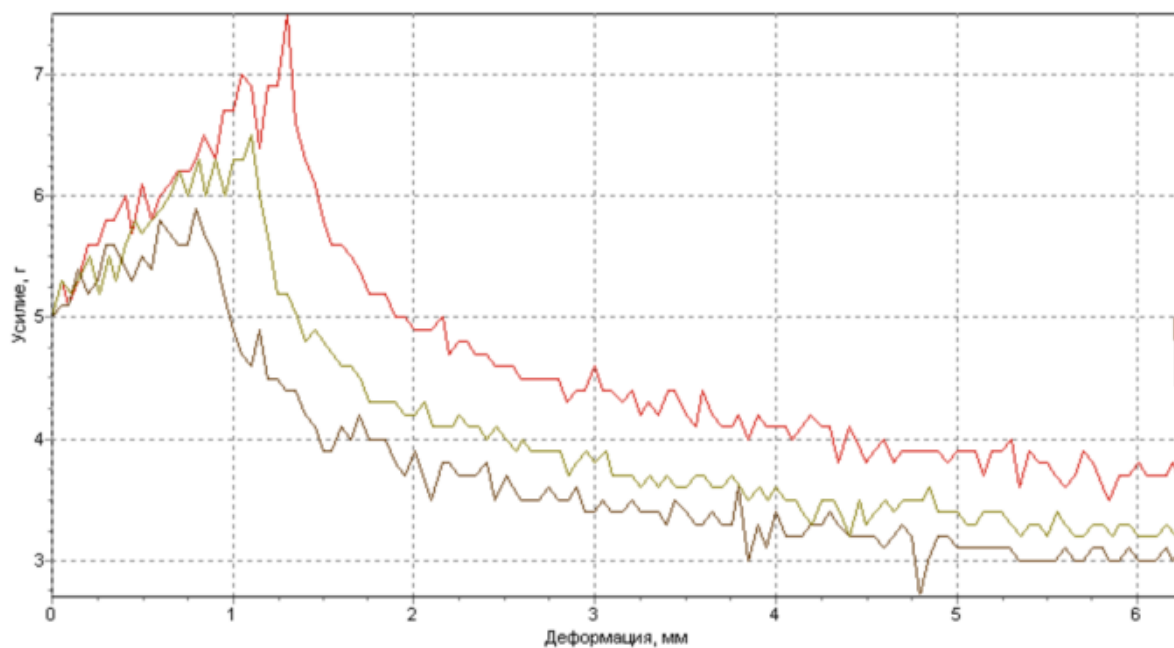


Вязкость – 7,52 мПа·с

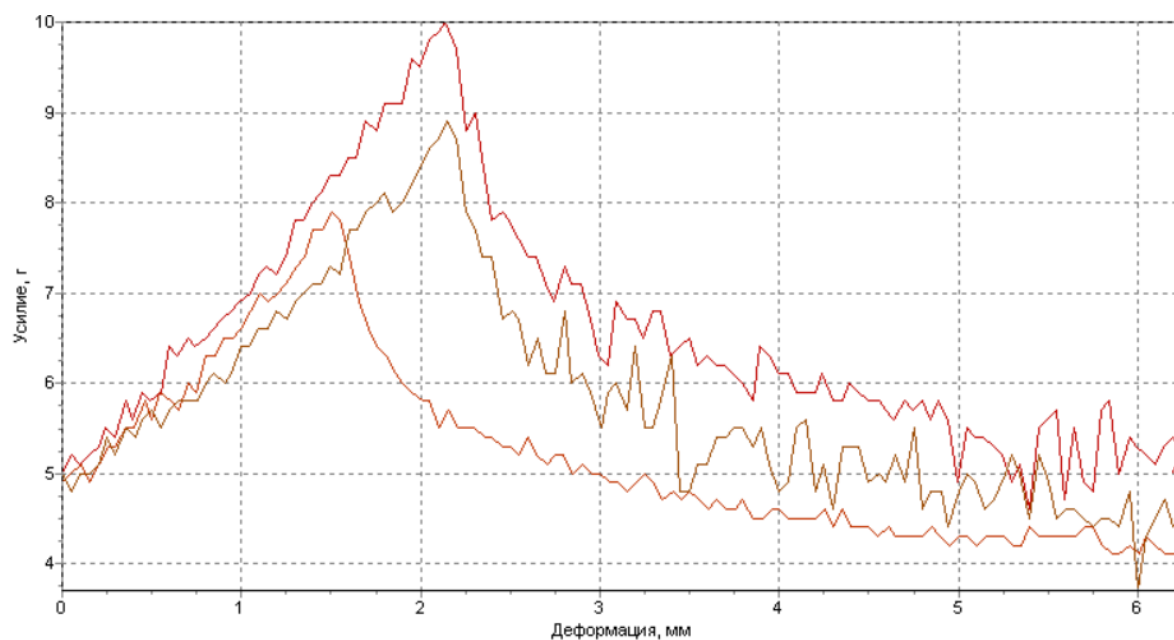


Вязкость – 17,3 мПа·с

**Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований модельных образцов ЭП при разном соотношении стабилизирующего компонента**

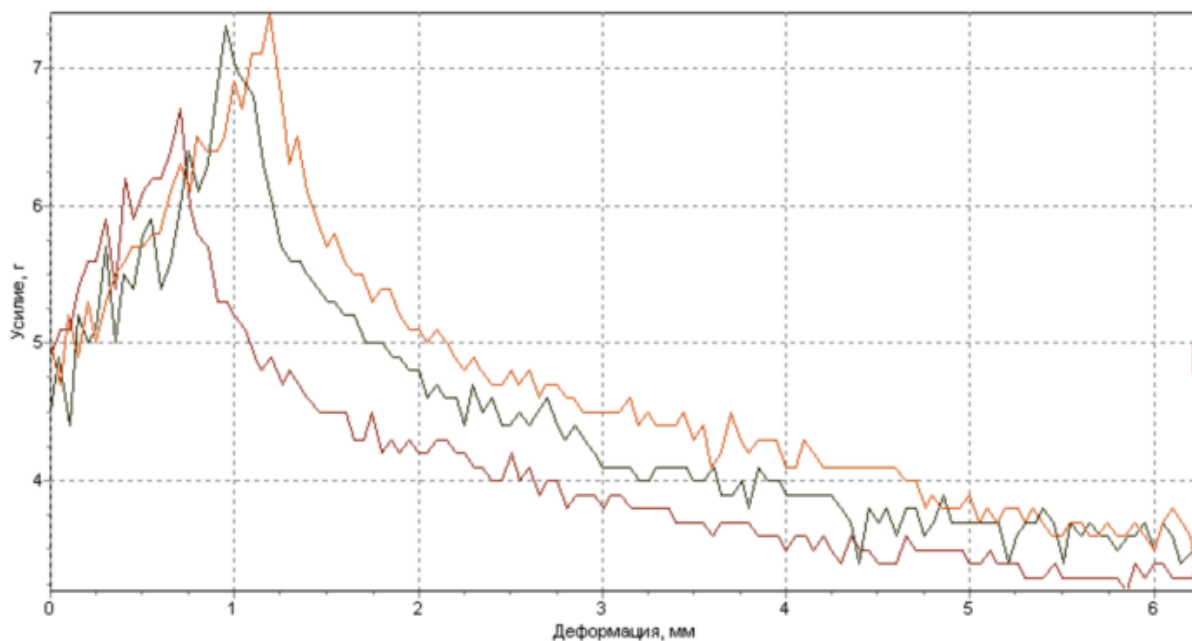


Контроль а

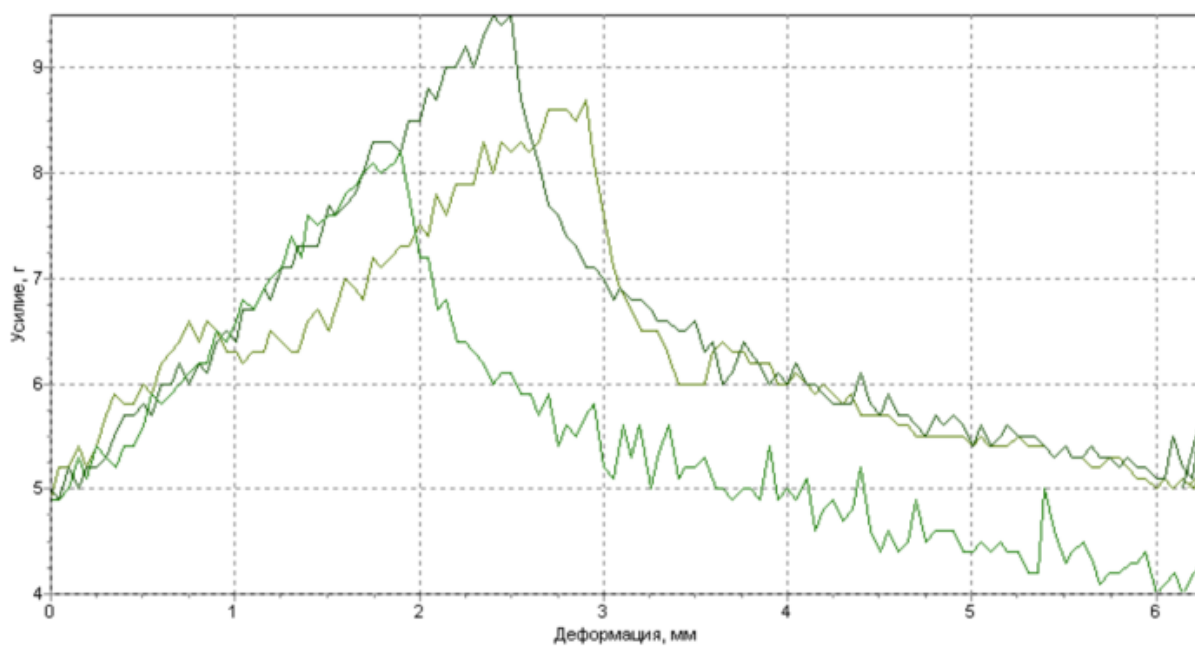


Образцы 1а-3а





Контроль б



Образцы 16–36

Рис. 3. Характерный вид кривых распределения нагрузки от приложенной нагрузки

Характер распределения кривых позволяет говорить о выраженном воздействии стабилизирующего компонента в составе СЭП, полученных при различных значениях pH на реологические свойства мясных фаршевых систем (рис. 4).

Из представленных на рисунке данных можно говорить, что наиболее приближены по характеру деформации образцы 1а и 1б (при использовании эмульсий Пикеринга pH = 3), тогда как образцы 3а и 3б (при использовании эмульсий Пикеринга pH = 5) имеют более плотную, упругую консистенцию, им соответствуют более высокие значения пика деформации.

Учитывая, что ЦМПЗП является комплексным пищевым ингредиентом, содержащим биологически активные вещества, сохраненные в его системе, в частности ГАМК ( $18,9 \pm 0,3$  мг/100 г) [1], доказанную АОА

( $6,9 \pm 0,3$  мг ТЕАС/г) [3], можно говорить, что СЭП бифункциональны.

Таким образом, доказана применимость полисахаридного комплекса продуктов переработки пророщенного зерна пшеницы в качестве гидроколлоидов, стабилизирующих эмульсию Пикеринга.

Эмульсии Пикеринга могут стать эффективным инструментом в получении пищевых систем эмульсионного типа высокой степени устойчивости, обладающих биоактивным действием.

Последующие исследования будут направлены на исследование биобезопасности СЭП и полезности полученных пищевых систем, а также раскрытие механизмов эмульсий Пикеринга в зависимости от pH многокомпонентной пищевой системы при фиксированной доле липидной фракции.

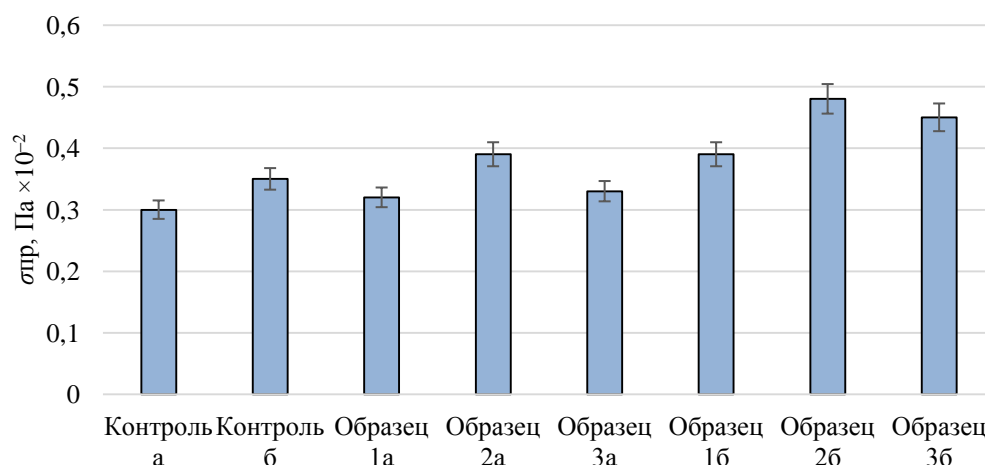


Рис. 4. Результаты определения показателя «Предельное напряжение сдвига» контрольных и опытных образцов систем мясных фаршей, стабилизированных ЭП

#### Список литературы

1. Влияние ультразвукового воздействия при проращивании зерна пшеницы на синтез  $\gamma$ -аминомасляной кислоты / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Н.В. Белоглазова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2019. Т. 7, № 4. С. 85–93. DOI: 10.14529/food190409
2. Возможности использования экотехнологий для минимизации продовольственных потерь / Н.В. Науменко, В.В. Ботвинникова, Л.П. Нилова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2020. Т. 8, № 4. С. 69–76. DOI: 10.14529/food200409
3. Контролируемое проращивание зерновых культур – безопасный способ технологии новых сырьевых ингредиентов / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, А.А. Фильков и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2021. Т. 9, № 3. С. 53–61. DOI: 10.14529/food210306



4. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Фильков А.А. Использование цельнозернового сырьевого ингредиента для улучшения потребительских свойств пищевых продуктов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 1. С. 39–48. DOI: 10.14529/food220105
5. Экотехнологии для эффективного использования продовольственных ресурсов в технологии пищевых систем. Часть 2: Технология бифункциональных пищевых систем на основе эмульсий Пикеринга / И.Ю. Потороко, Н.В. Науменко, А.М.Я. Кади, А.В. Паймулина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 3. С. 55–63. DOI: 10.14529/food220306
6. Bai L. Pickering emulsions by combining cellulose nanofibrils and nanocrystals: Phase behavior and depletion stabilization / L. Bai, S. Huan, W. Xiang, O.J. Rojas Pickering // Green Chemistry. 2018. V. 20 (7). P. 1571–1582.
7. Chevalier Y., Bolzinger M. Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2013. No. 439. P. 23–34. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2013.02.054
8. Han Lu et al. Development of whey protein isolate–phytosterols complexes stabilized oil-in-water emulsion for  $\beta$ -carotene protection and delivery / Lu Han, Xiao Peng, Shijiao Zhou, Yuyang Huang, Shuang Zhang, Yang Li // Food Research International journal. October 2022. V. 160. P. 111747. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111747
9. Jie W., Ma G. Recent Studies of Pickering Emulsions: Particles Make the Difference // Small, 2016. V. 12 (34). P. 4582–4587. DOI: 10.1002/smll.201600877
10. Kentish S., Ashokkumar M. The physical and chemical effects of ultrasound. In Ultrasound technologies for food and bioprocessing // Food Engineering Series book series (FSES). 2010. P. 1–12. DOI: 10.1007/978-1-4419-7472-3\_1
11. Lai H. Influence of particle size and ionic strength on the freeze-thaw stability of emulsions stabilized by whey protein isolate // Food Science and Human Wellness. 2022. V. 11. P. 922–932. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.03.018
12. Pickering S.U. Cxcvi.-emulsions // Journal of the Chemical Society, Transactions. 1907. V. 91. P. 2001–2021. DOI: 10.1039/CT9079102001
13. Song X. et al. Comparative study of Pickering emulsions stabilised by starch particles from different botanical origins / X. Song, F. Ma, F. Zheng, H. Ren, H. Gong // International Journal of Food Science and Technology. 2020. V. 55 (6). P. 2408–2418. DOI: 10.1111/ijfs.14490
14. Sui X., Bary S., Zhou W. Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage // Food Chemistry. 2016. V. 192. P. 516–524. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.021
15. Thirumdas R. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice / R. Thirumdas, C. Saragapani, M. T. Ajjinka [et al.] // Innovative food science & emerging technologies. 2016. V. 37, pt. A. P. 53–60. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.08.009
16. Varanasi S. et al. Pickering emulsions electrostatically stabilized by cellulose nanocrystals / S. Varanasi, L. Henzel, L. Mendoza, R. Prathapan, W. Batchelor, R. Tabor, G. Garnier // Frontiers of Chemistry. 2018. 6 (September). P. 1–9. DOI: 10.3389/fchem.2018.00409
17. Xu T. et al. Characteristics of starch-based Pickering emulsions from the interface perspective / T. Xu, J. Yang, S. Hua, Y. Hong, Z. Gu, L. Cheng, Z. Li, C. Li // Trends in Food Science & Technology. 2020. 105 (August). P. 334–346. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.09.026

### References

1. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Beloglazova N.V., Šottníková V., Hřivna L. Influence of Ultrasonic Exposure when Germinating Wheat Grain on the Synthesis of  $\gamma$  Aminobutyric Acid. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 85–93. (In Russ.) DOI: 10.14529/food190409
2. Naumenko N.V., Botvinnikova V.V., Nilova L.P., Sergeev A.A., Naumenko E.E., Stepanova D.S. Minimization of Food Losses with Ecotechnology Approaches Being Used. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 69–76. (In Russ.) DOI: 10.14529/food200409

3. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Filkov A.A., Khudyakova A.M., Naumenko E.E. Controlled Grain Growing – a Safe Method for New Raw Ingredients Technology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2021, vol. 9, no. 3, pp. 53–61. (In Russ.) DOI: 10.14529/food210306
4. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Filkov A.A. Use of a whole-grain raw ingredient to improve the consumer properties of food products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 39–48. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220105
5. Potoroko I.Yu., Naumenko N.V., Kadi A.M.Y., Paymulina A.V. Ecotechnologies for efficient use of food resources in food system technology. Part 2: Bifunctional food systems technology based on Pickering emulsions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 3, pp. 55–63. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220306
6. Bai L., Huan S., Xiang W., Rojas O.J. Pickering Pickering emulsions by combining cellulose nanofibrils and nanocrystals: Phase behavior and depletion stabilization. *Green Chemistry*, 2018, vol. 20 (7), pp. 1571–1582.
7. Chevalier Y., Bolzinger M. Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013, no. 439, pp. 23–34. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2013.02.054
8. Han Lu, Xiao Peng, Shijiao Zhou, Yuyang Huang, Shuang Zhang, Yang Li. Development of whey protein isolate–phytosterols complexes stabilized oil-in-water emulsion for  $\beta$ -carotene protection and delivery. *Food Research International journal*, October 2022, vol. 160, p. 111747. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111747
9. Jie W., Ma G. Recent Studies of Pickering Emulsions: Particles Make the Difference. *Small*, 2016, vol. 12 (34), pp. 4582–4587. DOI: 10.1002/smll.201600877
10. Kentish S., Ashokkumar M. The physical and chemical effects of ultrasound. In *Ultrasound technologies for food and bioprocessing. Food Engineering Series book series (FSES)*, 2010, pp. 1–12. DOI: 10.1007/978-1-4419-7472-3\_1
11. Lai H. Influence of particle size and ionic strength on the freeze-thaw stability of emulsions stabilized by whey protein isolate. *Food Science and Human Wellness*, 2022, vol. 11, pp. 922–932. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.03.018
12. Pickering, S.U. Cxcvi.-emulsions. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 1907, vol. 91, pp. 2001–2021. DOI: 10.1039/CT9079102001
13. Song X., Ma F., Zheng F., Ren H., Gong H. Comparative study of Pickering emulsions stabilised by starch particles from different botanical origins. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, vol. 55 (6), pp. 2408–2418. DOI: 10.1111/ijfs.14490
14. Sui X., Bary S., Zhou W. Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage. *Food Chemistry*, 2016, vol. 192, pp. 516–524. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.021
15. Thirumdas R., Thirumdas R., Saragapani C., Ajinkya M.T. [et al.]. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative food science & emerging technologies*, 2016, vol. 37, pt. A, pp. 53–60. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.08.009
16. Varanasi S., Henzel L., Mendoza L., Prathapan R., Batchelor W., Tabor R., Garnier G. Pickering emulsions electrostatically stabilized by cellulose nanocrystals. *Frontiers of Chemistry*, 2018, 6 (September), pp. 1–9. DOI: 10.3389/fchem.2018.00409
17. Xu T., Yang J., Hua S., Hong Y., Gu Z., Cheng L., Li Z., Li C. Characteristics of starch-based Pickering emulsions from the interface perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 105 (August), pp. 334–346. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.09.026

#### **Информация об авторах**

**Потороко Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, potoroiko@susu.ru

**Науменко Наталья Владимировна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, Naumenko\_natalya@mail.ru

**Кади Аммар Мохаммад Яхья**, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, ammarka89@gmail.com

**Бакина Ксения Константиновна**, студент магистратуры, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, kseniya.bakina@mail.ru

**Грачёв Савелий Александрович**, студент магистратуры, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, sava.gra4@gmail.com

***Information about the authors***

**Irina Yu. Potoroko**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, irina\_potoroko@mail.ru

**Natalia V. Naumenko**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, Naumenko\_natalya@mail.ru

**Ammar M.Y. Kadi**, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ammarka89@gmail.com

**Ksenia K. Bakina**, student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, kseniya.bakina@mail.ru,

**Savely A. Grachev**, student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, sava.gra4@gmail.com

***Статья поступила в редакцию 06.08.2022***

***The article was submitted 06.08.2022***