

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВОЙНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ЧАСТЬ 2: ФОРМИРОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ НОВОГО ФОРМАТА

Удей Багале, [uday\\_bagale@yahoo.co.in](mailto:uday_bagale@yahoo.co.in)

И.В. Калинина, [kalininaiv@susu.ru](mailto:kalininaiv@susu.ru)

Н.В. Науменко, [naumenkonv@susu.ru](mailto:naumenkonv@susu.ru)

А.М.Я. Кади, [ammarka89@gmail.com](mailto:ammarka89@gmail.com)

А.В. Малинин, [artemmalinin3@gmail.com](mailto:artemmalinin3@gmail.com)

А.В. Цатуров, [aram-chel@mail.ru](mailto:aram-chel@mail.ru)

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

**Аннотация.** Двойная эмульсия представляет собой коллоидную систему, обычно в которой первичная эмульсия «вода в масле», образованная с использованием липофильных поверхностно-активных веществ, диспергируется в водной фазе с использованием гидрофильного поверхностно-активного вещества. Целью данной работы является изучение и анализ научных работ в области использования двойных эмульсий в пищевой промышленности для формирования систем нового формата. В обзоре анализируются возможности использования двойных эмульсий «вода в масле в воде» в качестве альтернативы пищевой промышленности. Подчеркивается, что огромный потенциал представляет использование двойных эмульсий, насыщенных биологически активными веществами, для обеспечения биодоступности и стабильности системы. Технология получения двойных эмульсий позволяет значительно изменить состав и добиться заявленного результата в таких продуктах, как растительные напитки, молочная продукция, соусы, а также продуктах переработки мяса убойных животных. Проведен анализ технологических подходов, обеспечивающих создание устойчивых двойных эмульсий, среди которых наибольший потенциал имеют такие как ультразвуковое воздействие и гомогенизация высокого давления на второй стадии эмульгирования. В статье представлены основные факторы получения двойной эмульсии в зависимости от технологических особенностей и рецептур. Возможность повышения стабильности инкапсуляции биологически активных веществ при производстве и хранении функциональных пищевых продуктов. Представленные результаты в открытой печати научных исследований в данной области демонстрируют потенциал ультразвукового воздействия в процессе эмульгирования для получения двойных эмульсий, а также возможность минимизации использования эмульгаторов и стабилизаторов в технологическом процессе.

**Ключевые слова:** двойная эмульсия, стабильность эмульсии, пищевые системы, ультразвук, гомогенизация высокого давления

**Благодарности.** Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 22-76-10049.

**Для цитирования:** Возможности применения двойных эмульсий в пищевой промышленности. Часть 2: Формирование пищевых систем нового формата / Удей Багале, И.В. Калинина, Н.В. Науменко и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 1. С. 27–34. DOI: 10.14529/food230103

Original article  
DOI: 10.14529/food230103

## THE POSSIBILITIES OF USING DOUBLE EMULSIONS IN THE FOOD INDUSTRY. PART 2: FORMATION OF FOOD SYSTEMS OF A NEW FORMAT

**Uday Bagale**, [uday\\_bagale@yahoo.co.in](mailto:uday_bagale@yahoo.co.in)  
**I.V. Kalinina**, [kalininaiv@susu.ru](mailto:kalininaiv@susu.ru)  
**N.V. Naumenko**, [naumenkonv@susu.ru](mailto:naumenkonv@susu.ru)  
**A.M.Y. Kadi**, [ammarka89@gmail.com](mailto:ammarka89@gmail.com)  
**A.V. Malinin**, [artemmalinin3@gmail.com](mailto:artemmalinin3@gmail.com)  
**A.V. Tsaturov**, [aram-chel@mail.ru](mailto:aram-chel@mail.ru)  
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** A double emulsion is a colloidal system, typically in which a water-in-oil primary emulsion formed using lipophilic surfactants is dispersed in an aqueous phase using a hydrophilic surfactant. The purpose of this work is to study and analyze scientific works in the field of the use of double emulsions in the food industry to form systems of a new format. The review analyzes the possibilities of using water-in-oil-in-water double emulsions as an alternative to the food industry. It is emphasized that the use of double emulsions saturated with biologically active substances has great potential to ensure the bioavailability and stability of the system. The technology for obtaining double emulsions allows you to significantly change the composition and achieve the declared result in such products as vegetable drinks, dairy products, sauces, as well as processed meat of slaughter animals. An analysis was made of technological approaches that ensure the creation of stable double emulsions, among which ultrasonic treatment and high-pressure homogenization at the second stage of emulsification have the greatest potential. The article presents the main factors for obtaining a double emulsion, depending on the technological features and formulations. The possibility of increasing the stability of the encapsulation of biologically active substances in the production and storage of functional foods. The presented results of publicly published scientific research in this area demonstrate the potential of ultrasonic treatment in the emulsification process to obtain double emulsions, as well as the possibility of minimizing the use of emulsifiers and stabilizers in the process.

**Keywords:** double emulsion, emulsion stability, food systems, ultrasound, high pressure homogenization

**Acknowledgments.** The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 22-76-10049.

**For citation:** Uday Bagale, Kalinina I.V., Naumenko N.V., Kadi A.M.Y., Malinin A.V., Tsaturov A.V. The possibilities of using double emulsions in the food industry. Part 2: Formation of food systems of a new format. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 27–34. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230103

Для пищевой промышленности большой интерес представляет разработка пищевых систем нового формата, которые способны обеспечивать адресную доставку биологически активных веществ (БАВ), длительно сохранять свои органолептические свойства, характеризуются улучшенным соотношением белковой и жировой фракций. Одним из перспективных методов является технология получения двойных эмульсий, с помощью которых можно добиться заявленного результата в

таких продуктах, как напитки, соусы, продукты переработки мяса и молока.

Двойная эмульсия представляет собой систему, которая диспергирована внутри другой эмульсии. Наиболее часто используемой двойной эмульсией для пищевых продуктов с пониженным содержанием жира является эмульсия «вода в масле в воде» (W1/O/W2). Капли водной фазы эмульгируются внутри масляной фазы, которая в последующем встраивается в виде капель внутри внешней

водной фазы. Конечный продукт представляет собой эмульсию, содержащую капли масла, внутри которых находится водная составляющая. Стоит отметить, что снизить содержание массовой доли жира без ухудшения органолептических свойств конечного продукта (вкуса, цвета, структуры) возможно, если эмульсия занимает тот же объем жировой фазы. Следует отметить, что использование двойных эмульсий в пищевой промышленности в настоящее время ограничено. По своей природе данные системы термодинамически нестабильны, в то время как структура двойных эмульсий осложняется наличием множества фаз, которые требуют стабилизации. Поверхностно-активные вещества обычно используются в больших количествах для стабилизации как внутренней, так и внешней фаз получаемых эмульсий. В настоящее время наибольший интерес представляет процесс дробления или замены использования синтетических поверхностно-активных веществ натуральными биополимерными эмульгаторами, такими как молочные белки и полисахариды [1].

В работе Altuntas O.Y. и его коллег представлены результаты по взаимодействию биополимеров с синтетическими мономерными эмульгаторами, которые способны улучшать стабильность двойных эмульсий за счет создания гелеобразного барьера, замедляющего перенос воды между внутренней и внешней водными фазами [4].

Misra A. с коллегами доказывает, что двойные эмульсии типа W1/O/W2 могут быть получены из подсолнечного масла и обезжиренного молока с использованием синтетического поверхностно-активного вещества – Span80, которое применяется для стабилизации внутренней эмульсии, и молочных белков – для стабилизации внешней фазы. Следует отметить, что при стабилизации эмульсии W1/O была достигнута самая высокая эффективность инкапсуляции, составляющая  $\approx 35\%$ , при 20 %-ном содержании Span 80 в масляной фазе.

В исследованиях Bhattacharjee A. отмечается, что улучшить эффективность данного процесса можно путем использования соевого лецитина, а также полиглицерина полирицинолеата (ПГПР), которые являются высокоэффективными пищевыми липофильными эмульгаторами, успешно используются при формировании двойных эмульсий с высокой

эффективностью инкапсуляции и ее стабильностью.

Важным фактором стабильности двойной эмульсии является размер как внутренних, так и внешних капель. Получение капель внутренней фазы заданного размера имеет большое значение для стабильности системы в целом. При образовании капель внешней фазы эмульсии меньшего размера возможно добиться улучшения вкусовых характеристик готового продукта [4, 6, 19].

На сегодняшний день существуют устройства, обеспечивающие создание условий высокой скорости сдвига, которые можно использовать для получения первичных и вторичных эмульсий, такие как ультразвуковое воздействие, гомогенизаторы высокого давления и мембранные системы [11, 15–18, 20, 21].

Особый интерес представляет использование ультразвуковой технологии для производства первичных эмульсий, поскольку данная технология позволяет получать мелкие капли с узким распределением по размерам. Вторая стадия эмульгирования в производстве двойных эмульсий представляет технологические сложности, так как необходимо корректировать интенсивность воздействия для получения двойной эмульсии и минимизации рисков разрушения первичной фазы, что приведет к потере инкапсулированного биологически активного вещества. Использование ультразвукового воздействия позволяет не только вести контролируемый процесс, но и значительно сократить технологические этапы как первой, так и второй стадии, что положительно сказывается на себестоимости производства [15]. В открытой печати представлены результаты исследований, доказывающие эффективность использования ультразвуковой технологии при производстве двойных эмульсий с инкапсуляцией аспирина, которая позволяет достичь эффективности инкапсуляции до 99 % [20, 21].

Рядом исследователей под руководством Charitha J. Gamlath, опубликованы исследования по обогащению белком модельных сырных матриц с использованием двойных эмульсий. Исследование сосредоточено на инкапсуляции сывороточных белков в жировую фракцию сыра с использованием двойных эмульсий. Для приготовления двойных эмульсий с внутренней водной фазой использовался двухступенчатый процесс эмульгиро-

вания с ультразвуковым воздействием высокой мощности, что позволило получить высокую скорость и создать капли масляной фазы, сравнимые по диаметру с размером молекул нативного молочного жира ( $\approx 10$  мкм) [10].

Другой эффективной технологией эмульгирования является гомогенизация системы под высоким давлением, которая основана на принципе турбулентности с высоким градиентом давления. Данный процесс разрушает клеточные мембраны, позволяет выделять отдельные вещества и успешно проводить процесс эмульгирования [11, 16].

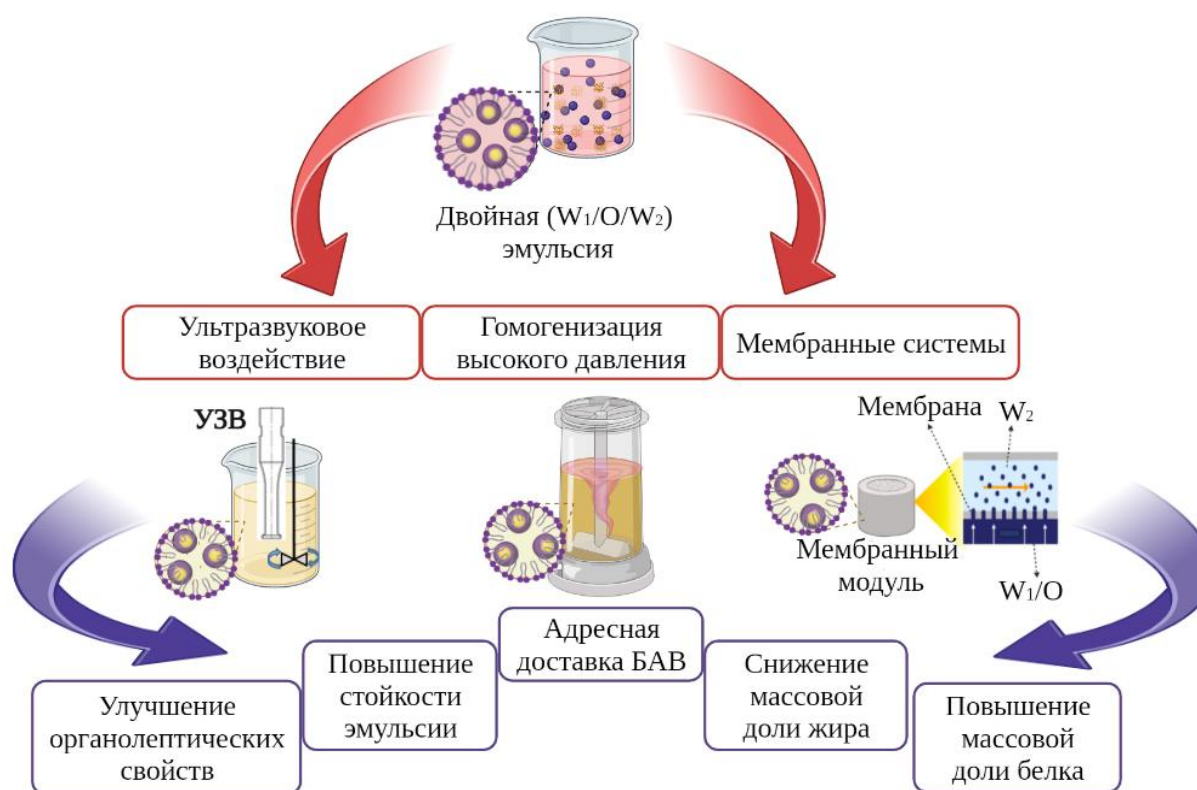
Leong T.S.H. и его соавторы в своей работе предлагают использовать гомогенизацию ультразвуком или высоким давлением на стадии вторичного эмульгирования для получения двойных эмульсий на основе обезжиренного молока. Используя данную технологию возможно добиться снижения содержания жировой фракции на 15–30 %. Ученые предлагают улучшить стабильность инкапсуляции при хранении путем добавления большего количества эмульгатора 5 % ПГПР в масля-

ную фазу, что обеспечит сохранение структуры в течение 7 суток.

Достаточно большое число научных работ (см. таблицу) посвящено разработке эффективных технологий получения пищевых продуктов, что указывает на его привлекательность для реального сектора производства.

Использование двойных эмульсий, насыщенных биологически активными веществами, показало большой потенциал для обеспечения биодоступности и стабильности системы пищевых продуктов. Обобщенная схема подходов получения и эффектов двойных эмульсий представлена на рисунке.

Анализ материала использования гомогенизации под высоким давлением и обработки ультразвуком на второй стадии эмульгирования позволяет говорить о перспективности данных технологических подходов. Представленные результаты научных исследований демонстрируют потенциал ультразвукового эмульгирования для получения двойных эмульсий, а также возможность минимизации использования эмульгаторов в технологическом процессе.



Обобщенная схема подходов получения и эффектов двойных эмульсий

Таблица

Характеристика разработок и особенности состава двойных эмульсий  
для пищевой промышленности

Наименование разработки	Внутренняя фаза (W1)	Масляная фаза (O)	Внешняя фаза (W2)	Полученные результаты	Источник
<b>Инкапсуляция в двойные эмульсии биологически активных веществ</b>					
Инкапсуляция кверцетина	Водный раствор кверцетина в этаноле	Раствор ПГПР с маслом красного перца, смеси подсолнечного и оливкового масел	Водный раствор лактозы с казеинатом натрия и пектин	Эффективность инкапсуляции – 90 %	[8]
Инкапсуляция железа	Водный раствор изолята сывороточного протеина	Раствор ПГПР с оливковым маслом	Водный раствор казеината натрия	Высокая вязкость эмульсии, возможность инкапсуляции железа в топпинги для мороженого и взбитые сливки	[13]
Инкапсуляция фолиевой кислоты	Водный раствор фолиевой кислоты и Span 80	Раствор ПГПР с маслом канолы	Водный раствор пектина и мальтодекстрина	Эффективность инкапсуляции – 88,3 %	[5]
Инкапсуляция витамина С	Водный раствор витамина С	Раствор ПГПР с маслом канолы	Водный раствор Tween 80 с ребаудиозидом	Стабильность инкапсуляции – 79,75 %, эффективность инкапсуляции – 95 %	[14]
Инкапсуляция куркумина	Водный раствор катехина, NaCl, желатина и аскорбиновой кислоты	Раствор ПГПР с оливковым маслом	Водный раствор аскорбиновой кислоты, NaCl с Tween 80	Эффективность инкапсуляции составила 88–97 %, биодоступность увеличилась в 4 раза	[2]
Инкапсуляция рутина	Водный раствор дигидрофосфата натрия	Раствор Atlacel P135 с подсолнечным маслом	Водный раствор Полосамер 407 или эмульгатор Brij 78	Эффективность инкапсуляции – более 80 %	[3]
Инкапсуляция рибофлавина	Водный раствор рибофлавина с NaCl	Раствор ПГПР с подсолнечным или оливковым маслом	Водный раствор NaCl и казеинат натрия	Эффективность инкапсуляции – 85,4 %	[7]

Окончание таблицы

Наименование разработки	Внутренняя фаза (W1)	Масляная фаза (O)	Внешняя фаза (W2)	Полученные результаты	Источник
<b>Двойные эмульсии для снижения содержания жировой фракции в пищевом продукте</b>					
Технология получения обезжиренного майонеза	Водный раствор NaCl	Раствор ПГПР с подсолнечным маслом	Водный раствор казеината натрия, ксантановой камеди, лецитина и концентрата сывороточного белка	Снижение показателя «массовая доля жира» до значения 36,6 %.	[23]
Технология получения обезжиренного мороженого	Водный раствор CaCl <sub>2</sub>	Раствор ПГПР с подсолнечным маслом и лецитином	Водный раствор гуаровой и трагакантовой камеди	Снижение показателя «массовая доля молочного жира» до значения 2,8 %	[18]
Технология обогащения сыров водорастворимыми пищевыми ингредиентами	Водный раствор NaCl и витамин B <sub>12</sub>	Сливочное масло	Обезжиренное молоко	Эффективность инкапсуляции витамина B <sub>12</sub> – более 96 %	[12, 18]
Технологии снижения массовой доли жира в мясных изделиях	Водный раствор лиофилизированного свекольного сока	Раствор ПГПР с подсолнечным маслом	Водный раствор изолята сывороточного протеина	Эффективность инкапсуляции свекольного сока – 98,6 %, снижение массовой доли жира составило 7 – 11 %	[9]
	Водный раствор NaCl	Раствор ПГПР с оливковым маслом	Водный раствор NaCl и казеината натрия	Снижение массовой доли жира, повышение массовой доли белка, снижение содержания насыщенных жирных кислот с 50,15 % до 12,52 %, повышение стабильности эмульсии до 90 %.	[18, 22]

### Список литературы/References

1. 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. [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
2. Aditya N.P., Aditya S., Yang H., Kim H.W., Park S.O., Ko S. Co-delivery of hydrophobic curcumin and hydrophilic catechin by a water-in-oil-in-water double emulsion. *Food Chemistry*, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.09.131
3. Akhtar M., Murray B.S., Afeisume E.I., Khew S.H. Encapsulation of flavonoid in multiple emulsion using spinning disc reactor technology. *Food Hydrocolloids*, 34 (2014), pp. 62–67. DOI: 10.1016/J.FOODHYD.2012.12.025
4. Altuntas O.Y., Sumnu G., Sahin S. Preparation and characterization of W/O/W type double emulsion containing PGPR-lecithin mixture as lipophilic surfactant. *Journal of dispersion science and technology*, 38(4), 2017, 486–493.
5. Assadpour E., Maghsoudlou Y., Jafari S.M., Ghorbani M., Aalami M. Evaluation of folic acid nano-encapsulation by double emulsions. *Food and Bioprocess Technology*, 9 (12) (2016), pp. 2024–2032. DOI: 10.1007/s11947-016-1786-y
6. Bhattacharjee Arka, Chakraborty Arpan, Mukhopadhyay Goutam. Double emulsions – a review with emphasis on updated stability enhancement perspective. *World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 7 (6): 475, 2018.475–493. DOI: 10.20959/wjpps20186-11762
7. Bou R., Cofrades S., Jiménez-Colmenero F. Physicochemical properties and riboflavin encapsulation in double emulsions with different lipid sources. *LWT – Food Science and Technology*, 59 (2P1) (2014), pp. 621–628. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.06.044
8. Chouaibi M., Mejri J., Rezig L., Abdelli K. Experimental study of quercetin microencapsulation using water-in-oil-in-water (W1/O/W2) double emulsion. *Hamdi Journal of Molecular Liquids*, 273 (October) (2019), pp. 183–191. DOI: 10.1016/j.molliq.2018.10.030
9. Eisinaite V., Juraite D., Schroen K., Leskauskaitė D. Food-grade double emulsions as effective fat replacers in meat systems. *Journal of Food Engineering* (2017). DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.05.022
10. Gamlath Charitha J., Kuan Yen Lo, Thomas S.H. Leong, Muthupandian Ashokkumar, Gregory J.O. Martin. Protein fortification of model cheese matrices using whey protein-enriched double emulsions. *Food hydrocolloids*, 2023. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.108209
11. Garti N., Aserin A. Double emulsions stabilized by macromolecular surfactants. In book: *Surfactants in Solution*, 2020: 297–332. DOI: 10.1201/9781003067580-21
12. Giroux H.J., Constantineau S., Fustier P., Champagne C.P., St-Gelais D., Lacroix M., Britten M. Cheese fortification using water-in-oil-in-water double emulsions as carrier for water soluble nutrients. *International Dairy Journal*, 29 (2) (2013), pp. 107–114. DOI: 10.1016/j.idairyj.2012.10.009
13. Иyasoglu Buyukkestelli H., El S.N. Development and characterization of double emulsion to encapsulate iron. *Journal of Food Engineering*, 263 (April) (2019), pp. 446–453. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.07.026
14. Kheynoor N., Hosseini S.M.H., Yousefi G.H., Hashemi Gahrue H., Mesbahi G.R. Encapsulation of vitamin C in a rebaudioside-sweetened model beverage using water in oil in water double emulsions. *Lebensmittel-Wissenschaft&Technologie*, 96 (2018), pp. 419–425. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.05.066
15. Kumar Ankit, Kaur Ramandeep, Kumar Vikas, Kumar Satish, Gehlot Rakesh, Aggarwal Poonam. New insights into water-in-oil-in-water (W/O/W) double emulsions: Properties, fabrication, instability mechanism, and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 128, 2022, pp. 22–37. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.07.016.
16. Leong T.S.H., Ong L., Gamlath C.J., Gras S.L., Ashokkumar M. & Martin G.J.O. Formation of Cheddar cheese analogues using canola oil and ultrasonication – A comparison between single and double emulsion systems. *International Dairy Journal*, 2020. 1–22. DOI: 10.1016/j.idairyj.2020.104683

17. Leong T.S.H., Zhou M., Zhou D., Ashokkumar M. & Martin G.J.O. The formation of double emulsions in skim milk using minimal food-grade emulsifiers – A comparison between ultrasonic and high pressure homogenisation efficiencies. *Journal of Food Engineering*, 2018, 81–92. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.09.018

18. Lobato-Calleros, C. Structural and textural characteristics of reduced-fat cheese-like products made from W1/O/W2 emulsions and skim milk / Lobato-Calleros C. Sosa-Pérez A. Rodríguez-Tafoya J. Sandoval-Castilla O. Pérez-Alonso C. Vernon-Carter E.J. // *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 41(10), 2008: 1847–1856. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.01.006

19. Micanquer Adriana, Liliana Serna, Alfredo Ayala Aponte Double emulsion systems: application in food industry. *Food Biophysics*, 2017: 1–22.

20. Muschiolik G., Dickinson E. Double emulsions relevant to food systems: preparation, stability, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 2017, 532–555. DOI: 10.1111/1541-4337.12261

21. Muschiolik G. Multiple emulsions for food use. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 12(4), 2007, 213–220. DOI: 10.1016/j.cocis.2007.07.006

22. Serdaroglu M., Öztürk B., Urgan M. Emulsion characteristics, chemical and textural properties of meat systems produced with double emulsions as beef fat replacers. *Meat Science*, 117 (2016), pp. 187–195. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.03.012

23. Yildirim M., Sumnu G., Sahin S. Rheology, particle-size distribution, and stability of low-fat mayonnaise produced via double emulsions. *Food Science and Biotechnology*, 25 (6) (2016), pp. 1613–1618. DOI: 10.1007/s10068-016-0248-7

#### ***Информация об авторах***

**Удей Багале**, Ph.D, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, uday\_bagale@yahoo.co.in

**Калинина Ирина Валерьевна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, kalininaiv@susu.ru

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

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

**Малинин Артем Владимирович**, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, artemmalinin3@gmail.com

**Цатуров Арам Валерикович**, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, aram-chel@mail.ru

#### ***Information about the authors***

**Uday Bagale**, Doctor of Philosophy, South Ural State University, Chelyabinsk, uday\_bagale@yahoo.co.in

**Irina V. Kalinina**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, kalininaiv@susu.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

**Artem V. Malinin**, Senior laboratory assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, artemmalinin3@gmail.com

**Aram V. Tsaturov**, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, aram-chel@mail.ru

***Статья поступила в редакцию 09.11.2022***

***The article was submitted 09.11.2022***