

**ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ**  
**PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION**

УДК 637.5.03:004.925.8(476)  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-116-126>

Поступила в редакцию 25.10.2019  
Received 25.10.2019

**А. В. Мелешеня, И. В. Калтович**

*Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь*

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЭМУЛЬСИЙ И СУХИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Аннотация:** В развитии аддитивных технологий в сфере производства пищевых продуктов актуальным является изучение возможностей использования различных видов сырья в качестве наполнителей для пищевых 3D-принтеров. В настоящее время в мире наиболее изучены свойства и широко используются ингредиенты для кондитерского производства, вместе с тем большой интерес представляют технологические свойства сырья животного происхождения, в частности мясного, как одного из основных источников белка. С этой целью были изучены технологические возможности мясного сырья для создания эмульсий или смесей, подходящих для использования в качестве сырьевого материала для пищевого 3D-принтера. Разработаны составы эмульсий и сухих смесей на основе мяса цыплят-бройлеров, а также комбинации мяса цыплят-бройлеров и свинины, свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1) для изготовления полуфабрикатов, а также технологии их производства. Установлено, что структурообразующие компоненты целесообразно вносить в состав эмульсий в сухом виде, при котором обеспечиваются улучшенные функционально-технологические и структурно-механические показатели по сравнению с внесением в гидратированном виде и в виде геле-форм. Определено, что использование 15 % гидролизованной соединительной ткани или 10 % гидролизованной свиной шкурки позволяет снизить содержание структурообразующих компонентов в рецептурах эмульсий, а также оказывает положительное влияние на снижение себестоимости эмульсий при сохранении рациональных функционально-технологических и структурно-механических показателей. Выявлено, что внесение в рецептуры эмульсий 6–12 % КСБ-УФ-80, 5–10 % сухой сыворотки или 4–8 % сухого обезжиренного молока позволяет обеспечить снижение содержания структурообразующих ингредиентов в рецептурах. Использование данных смесей и эмульсий в качестве сырья для пищевых 3D-принтеров позволит обеспечить производство инновационной группы мясных продуктов с использованием аддитивных технологий в Республике Беларусь. **Благодарности.** Исследования проведены в рамках государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства», 2016–2020 годы, подпрограмма 3 «Продовольственная безопасность».

**Ключевые слова:** пищевая промышленность, аддитивные технологии, сырье для 3D-принтеров, эмульсии, смеси сухие, мясное, коллагенсодержащее сырье, молочное сырье, структурообразующие компоненты, функционально-технологические показатели, структурно-механические показатели

**Для цитирования:** Мелешеня, А. В. Разработка составов эмульсий и сухих смесей для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий / А. В. Мелешеня, И. В. Калтович // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 1. – С. 116–126. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-116-126>

**Alexey V. Meliashchenia, Irina V. Kaltovich**

*Institute for the Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**DEVELOPMENT OF FORMULATIONS FOR EMULSIONS AND DRY MIXES FOR PRODUCTION OF SEMI-FINISHED PRODUCTS USING ADDITIVE TECHNOLOGIES**

**Abstract:** Study of possibilities of using various types of raw materials as fillers for food 3D printers is relevant for development of additive technologies in the field of food production. Currently, the properties are studied to the greatest extent and the ingredients are widely used for confectionery production in the world and, at the same time, the process properties of raw materials of animal origin, in particular meat raw material, as one of the main sources of protein are of greater interest.

Process capabilities of meat raw material were studied for this purpose for formulating emulsions or mixtures suitable for use as a raw material for food 3D printer. Formulations of emulsions and dry mixes are developed based on broiler chicken meat, as well as combinations of broiler chicken meat and pork, pork and beef (ratio 1 : 1) for manufacture of semi-finished products, as well as production technologies. It was determined that it is advisable to add structure-forming components to formulations of emulsions in a dry form, which provides improved functional-and-process and structural-and-mechanical indicators in comparison with hydrated and gel forms. It was determined that 15% of hydrolyzed connective tissue or 10 % of hydrolyzed pork skin can reduce the level of structure-forming components in emulsion formulations, and also has a positive effect on reducing the cost price of emulsions while maintaining rational functional-and-process and structural-and-mechanical parameters. It has been revealed that adding 6-12 % of WPS-UF-80, 5-10 % of dry whey or 4-8 % of fat free milk powder into emulsion formulations allows reducing the level of structure-forming ingredients in the formulations. These mixtures and emulsions used as raw materials for food 3D printers will ensure production of innovative group of meat products using additive technologies in the Republic of Belarus. **Acknowledgments.** The research was carried out as part of the state program of scientific research “Quality and Efficiency of Agroindustrial Production for 2016-2020”, subprogram 3 “Food security”.

**Keywords:** food industry, additive technologies, raw materials for 3D printers, emulsions, dry mixes, meat, collagen-containing raw materials, milk raw materials, structure-forming components, functional-and-process parameters, structural-and-mechanical parameters

**For citation:** Meliashchenia A.V., Kaltovich I. V. Development of formulations for emulsions and dry mixes for production of semi-finished products using additive technologies. *Vesti Natsyonal'nay akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no 1, pp. 116–126 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-116-126>

**Введение.** В настоящее время достижения научно-технического прогресса получили широкое внедряются в различных отраслях производства. Реализация результатов фундаментальных исследований способствовала разработке новых машин и аппаратов, технологий, методов и способов создания продукции, повсеместному использованию революционных идей в обычной жизни [1–3].

Одним из современных прикладных направлений в развитии общества является 3D-печать (3D-printing, 3DP), которая представляет собой процесс производства посредством сбора слоев исходного материала для создания трехмерного физического объекта из его цифровой модели. 3D-печать заключается в послойном формировании изделий с помощью специальных устройств – 3D-принтеров. Преимуществом данных технологий является возможность быстрого и относительно недорогого изготовления сложнейших конструкций по индивидуальным проектам. Это достоинство имеет важное значение и для пищевой промышленности [4–9].

Изготовление готовых изделий по индивидуальным заказам осуществляют на различных предприятиях пищевой промышленности и общественного питания (рестораны, пиццерии и т.д.), однако производительность труда при производстве по индивидуальным заказам невелика. Автоматизация труда, в отличие от других областей пищевой промышленности, не производится (имеет место лишь частичная механизация). Решить данные проблемы производства изделий оригинальной формы по индивидуальным заказам в пищевой промышленности можно с помощью применения 3D-принтеров. 3D-печать позволяет оперативно вносить изменения в продукцию (убирать или добавлять элементы), а значит, быстро адаптировать товар под требования рынка и конкретного потребителя с уникальными предпочтениями [10–14].

Технологии 3D-печати существуют более 20 лет и в настоящее время широко используются в США и Западной Европе. Так, на долю США приходится более трети используемого аддитивного оборудования, далее идут Япония, Германия и Китай, Великобритания, а Россия занимает 1,5 % по объему использования данного оборудования. На данный момент страны Европейского союза являются безоговорочным лидером на рынке пищевой 3D-печати. В России пищевая печать используется в основном для декорирования кондитерских изделий по заказу, при этом оборудование в основном поставляется из Китая [15–19].

На сегодняшний день использование аддитивных технологий для пищевой промышленности в Республике Беларусь также представляет значительный интерес. Отечественные 3D-принтеры для производства изделий из шоколада, рисунка на печенках разработаны в Белорусском национальном техническом университете, однако ассортимент материалов и наполнителей для 3D-печати весьма ограничен. До настоящего времени в Республике Беларусь не изучены технологические свойства сырья животного происхождения (мясного, молочного и коллагенсодержащего) и структурообразующих компонентов для создания эмульсий и сухих смесей для аддитивных технологий [15–19].

В связи с вышеизложенным достаточно актуальным вопросом является разработка методологических принципов создания эмульсий и сухих смесей с использованием сырья животного происхождения и структурообразующих компонентов для аддитивных технологий.

Цель исследования – разработка составов эмульсий и сухих смесей на основе сырья животного происхождения для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проведены в отделе технологий мясных продуктов Института мясо-молочной промышленности Национальной академии наук Беларуси в 2019 г.

Материалы исследований – эмульсии и сухие смеси на основе мяса цыплят-бройлеров, а также комбинации мяса цыплят-бройлеров и свинины, свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1) для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий.

Методы исследований – стандартные методы исследований функционально-технологических и структурно-механических показателей качества пищевых продуктов<sup>1</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Для получения сырья для 3D-принтера проведены исследования по разработке составов эмульсий и сухих смесей для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий на основе мяса цыплят-бройлеров и комбинации мясного сырья – мяса цыплят-бройлеров и свинины, а также свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1) с включением структурообразующих компонентов (каррагинана, гуаровой и ксантановой камеди, карбоксиметилцеллюлозы, сухого коллагена), сухих молочных продуктов (концентрата сывороточного белкового, полученного методом ультрафильтрации с массовой долей белка 80 % (КСБ-УФ-80), сыворотки сухой, сухого обезжиренного молока (СОМ)) и гидролизованного коллагенсодержащего сырья.

При разработке составов эмульсий и сухих смесей с целью обеспечения возможности их применения при изготовлении полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий установлены рациональные функционально-технологические и структурно-механические показатели: эмульгирующая способность (ЭС) и стабильность эмульсий (СЭ) – не менее 95 %, влагосвязывающая способность (ВСС) – не менее 85 %, предельное напряжение сдвига (ПНС) – 1000–1100 Па.

Для определения рационального способа внесения структурообразующих компонентов в состав эмульсий для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий проведен сравнительный анализ функционально-технологических и структурно-механических показателей эмульсий с внесением данных компонентов в сухом, гидратированном виде, а также в виде гель-формы. На рис. 1 представлены результаты исследований влагосвязывающей и эмульгирующей способностей, стабильности эмульсий, а также предельного напряжения сдвига эмульсий из мяса цыплят-бройлеров.

Определено, что внесение структурообразующих компонентов в состав эмульсий для аддитивных технологий в сухом виде позволяет обеспечить более высокие значения влагосвязывающей способности данных эмульсий – от 94,5 % для сухого коллагена до 97,0 % для каррагинана, наряду с этим значения данного показателя для эмульсий, изготовленных с внесением структурообразующих компонентов в гидратированном виде и в виде гель-формы, составили 94,0–96,6 и 94,3–96,8 % соответственно (рис. 1, *a*).

Выявлено, что эмульсии для изготовления полуфабрикатов с использованием структурообразующих компонентов в сухом виде характеризуются высокой эмульгирующей способностью – 97,2–98,4 %. В то же время значение эмульгирующей способности для эмульсий с использованием структурообразующих компонентов в гидратированном виде составило 96,9–98,1 %, а в виде гель-формы – 97,0–98,2 % (рис. 1, *b*).

Установлено, что стабильность эмульсий для изготовления полуфабрикатов при использовании структурообразующих компонентов в сухом виде составила 97,7–99,0 %, в гидратированном виде – 97,4–98,8 %, в виде гель-формы – 97,6–98,9 % (рис. 1, *c*).

Определено, что эмульсии с использованием структурообразующих компонентов в сухом виде характеризуются оптимальной консистенцией (1043,8–1080,7 Па), в то время как при внесении структурообразующих компонентов в гидратированном виде и в виде гель-формы консистенция

<sup>1</sup> Антипова Л. В., Глотова И. А., Рогов И. А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. М.: Колос, 2001. 376 с.

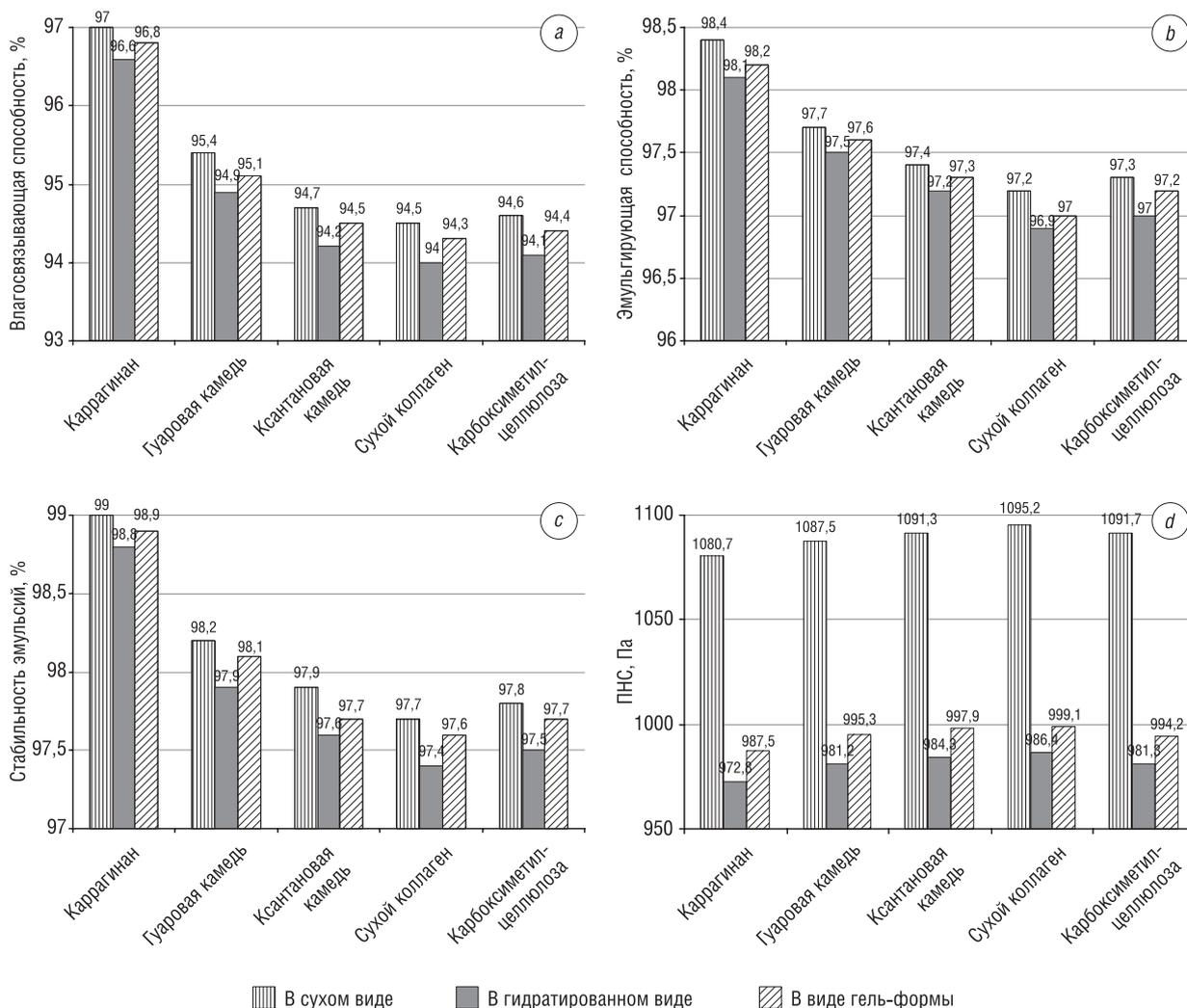


Рис. 1. Характеристики эмульсий из мяса цыплят-бройлеров для изготовления полуфабрикатов с использованием структурообразующих компонентов: *a* – влагосвязывающая способность; *b* – эмульгирующая способность; *c* – стабильность эмульсий; *d* – предельное напряжение сдвига

Fig. 1. Parameters of broiler chicken meat emulsion for manufacture of semi-finished products using structure-forming components: *a* - moisture-binding ability; *b* - emulsifying ability; *c* - emulsion stability; *d* - ultimate shear stress

эмульсий размягченная (934,7–972,8 и 947,4–987,5 Па соответственно), что затрудняет их использование для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий (рис. 1, *d*).

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что структурообразующие компоненты целесообразно вносить в состав эмульсий из мяса цыплят-бройлеров в сухом виде, при котором, по сравнению с внесением в гидратированном виде и в виде гель-формы, обеспечиваются улучшенные функционально-технологические и структурно-механические показатели данных эмульсий: ВСС – 94,5–97,0 %, ЭС – 97,2–98,4 %, СЭ – 97,7–99,0 %, ПНС – 1043,8–1080,7 Па.

Аналогичные тенденции установлены при проведении сравнительного анализа функционально-технологических и структурно-механических показателей эмульсий из мяса цыплят-бройлеров и свинины, а также свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1) с использованием различных способов внесения структурообразующих компонентов. Так, использование структурообразующих компонентов в сухом виде позволяет обеспечить повышенные значения влагосвязывающей (92,1–94,6 и 90,9–93,4 %) и эмульгирующей способности (96,6–96,8 и 96,4–96,6 %), стабильности эмульсий (96,8–97,0 и 96,6–96,8 %) из мяса цыплят-бройлеров и свинины, а также свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1) соответственно.

Кроме того, эмульсии с использованием структурообразующих компонентов в сухом виде отличаются оптимальной консистенцией (1054,8–1099,7 Па), что подтверждает перспективность использования данного способа внесения структурообразующих компонентов в состав эмульсий.

В результате выполнения НИР изучена возможность снижения дозировки структурообразующих ингредиентов в составе эмульсий для изготовления полуфабрикатов за счет использования гидролизованного коллагенсодержащего сырья и сухих молочных продуктов, являющихся источником белка и незаменимых аминокислот, что также позволит снизить себестоимость готовых эмульсий (в случае использования коллагенсодержащего сырья) при сохранении требуемых функционально-технологических и структурно-механических показателей.

На рис. 2 представлены результаты исследований функционально-технологических показателей эмульсий из мяса цыплят-бройлеров с включением в рецептуру от 10 до 20 % гидролизованной соединительной ткани или 5–15 % гидролизованной свиной шкурки с шагом 5 % совместно с 2 % каррагинана (при рациональной дозировке 3 %, установленной на предыдущем этапе исследований) с целью изучения возможности снижения количества данного структурообразующего ингредиента в рецептуре на 1 %.

Установлено, что использование 15–20 % гидролизованной соединительной ткани совместно с 2 % каррагинана позволяет обеспечить рациональные функционально-технологические показатели эмульсий для аддитивных технологий, аналогичные данным показателям при использовании в рецептуре 3 % каррагинана: ВСС – 96,8–96,9 %, ЭС – 98,3–98,5 %, СЭ – 98,9–99,0 % (для эмульсий с использованием 3 % каррагинана: ВСС – 97,0 %, ЭС – 98,4 %, СЭ – 99,0 %) (рис. 2, а).

Определено, что модельные образцы с включением в рецептуру 15 % гидролизованной соединительной ткани и 2 % каррагинана отличаются оптимальной консистенцией (1078,3 Па), в то время как при включении 20 % гидролизованной соединительной ткани консистенция образцов излишне плотная (1122,4 Па), что затрудняет их использование для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий.

На основании исследования функционально-технологических показателей эмульсий из мяса цыплят-бройлеров с использованием от 5 до 15 % гидролизованной свиной шкурки совместно с 2 % каррагинана установлено, что модельные образцы с включением 10–15 % свиной шкурки отличаются улучшенными показателями. Так, ВСС данных образцов составила 97,2–97,3 %, ЭС – 98,5–98,9 %, СЭ – 99,2–99,3 % (рис. 2, б).

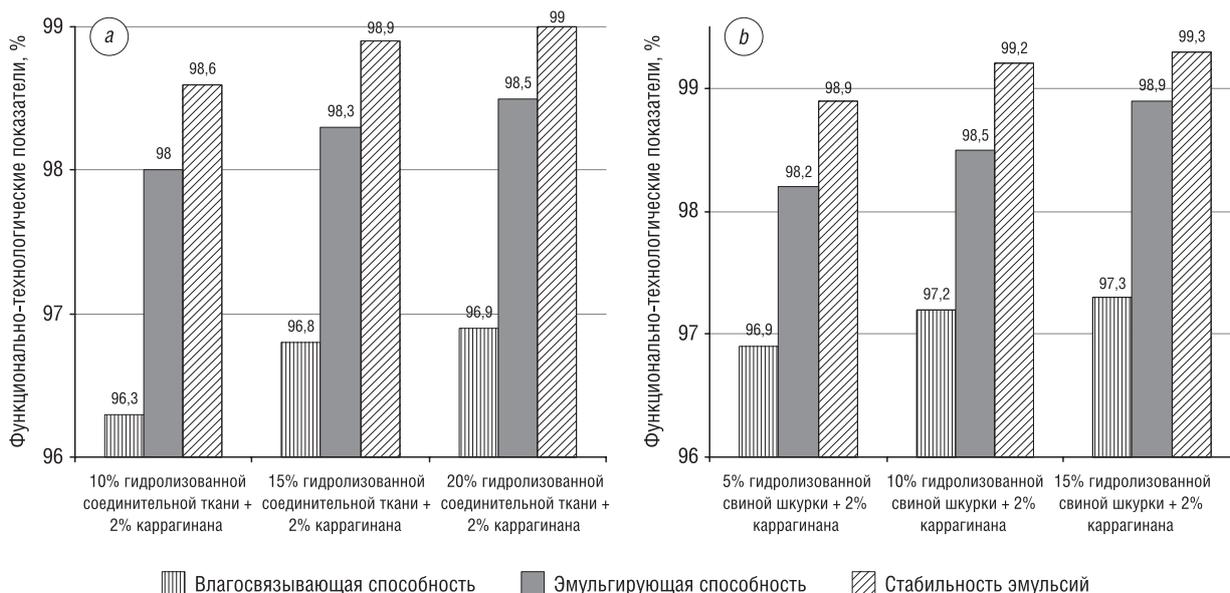


Рис. 2. Функционально-технологические показатели эмульсий из мяса цыплят-бройлеров с использованием гидролизованной соединительной ткани и каррагинана (а) и гидролизованной свиной шкурки и каррагинана (б)

Fig. 5. Functional and process indicators of broiler chicken meat emulsion using hydrolyzed connective tissue and carrageenan (а) and hydrolyzed pork skin and carrageenan (б)

Вместе с тем оптимальной консистенцией, аналогичной консистенции эмульсий с использованием 3 % каррагинана (1080,7 Па), отличаются модельные образцы с использованием 10 % гидролизованной свиной шкурки совместно с 2 % каррагинана – 1071,8 Па.

Таким образом, на основании проведенных исследований определено, что использование 15 % гидролизованной соединительной ткани или 10 % гидролизованной свиной шкурки, являющихся ценными источниками белка и незаменимых аминокислот, совместно с 2 % каррагинана позволяет снизить содержание данного структурообразующего ингредиента в рецептурах эмульсий на 1 %, что также оказывает положительное влияние на снижение их себестоимости при сохранении рациональных функционально-технологических и структурно-механических показателей (ВСС – 96,8–97,2 %, ЭС – 98,3–98,5 %, СЭ – 98,9–99,2 %, ПНС – 1071,8–1078,3 Па).

Аналогичные результаты получены при изучении возможности снижения содержания каррагинана в составе эмульсий из мяса цыплят-бройлеров и свинины, а также свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1) за счет использования гидролизованного коллагенсодержащего сырья. Так, включение в рецептуру 15 % гидролизованной соединительной ткани или 10 % гидролизованной свиной шкурки совместно с 2 % каррагинана позволяет обеспечить рациональные функционально-технологические и структурно-механические показатели эмульсий, тем самым снизив дозировку данного структурообразующего ингредиента в рецептуре на 1 %. При проведении эксперимента установлены следующие значения вышеперечисленных показателей:

а) для эмульсий из мяса цыплят-бройлеров и свинины (в соотношении 1 : 1): ВСС – 94,4–94,8 %, ЭС – 97,7–97,9 %, СЭ – 98,0–98,3 %, ПНС – 1081,3–1088,5 Па;

б) для эмульсий из свинины и говядины (в соотношении 1 : 1): ВСС – 93,2–93,6 %, ЭС – 97,5–97,8 %, СЭ – 97,3–97,6 %, ПНС – 1092,8–1098,7 Па.

Кроме того, использование 15 % гидролизованной соединительной ткани или 10 % гидролизованной свиной шкурки позволяет снизить количество других структурообразующих компонентов в рецептурах эмульсий из мяса птицы, а также комбинации мяса птицы и свинины, свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1) для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий:

- 1) карбоксиметилцеллюлозы – на 2 % (при рациональной дозировке 4 %);
- 2) гуаровой камеди – на 1 % (при рациональной дозировке 2 %);
- 3) ксантановой камеди – на 1,5 % (при рациональной дозировке 2,5 %).

На дальнейшем этапе исследований изучена возможность снижения содержания структурообразующих компонентов в рецептурах эмульсий за счет включения в рецептуры сухих молочных продуктов – КСБ-УФ-80, сухой сыворотки и сухого обезжиренного молока, являющихся источниками полноценного белка и содержащих значительное количество незаменимых и заменимых аминокислот. На рис. 3 представлены результаты исследований функционально-технологических и структурно-механических показателей эмульсий из мяса цыплят-бройлеров с включением в рецептуры от 6 до 12 % сухих молочных продуктов совместно с 2 % каррагинана с целью снижения содержания данного структурообразующего ингредиента в рецептурах на 1 %.

Установлено, что при использовании 6–12 % КСБ-УФ-80 совместно с 2 % каррагинана значения влагосвязывающей способности эмульсий составляют 96,5–97,7 %, эмульгирующей способности – 98,1–98,8 %, стабильности эмульсий – 89,8–99,3 % (рис. 3, а).

Определено, что использование 6–12 % КСБ-УФ-80 совместно с 2 % каррагинана приводит к снижению предельного напряжения сдвига модельных образцов – от 1088,3 до 1073,2 Па. Оптимальной консистенцией, аналогичной консистенции эмульсий с использованием 3 % каррагинана (1080,7 Па), характеризуются образцы, содержащие 10 % КСБ-УФ-80 совместно с 2 % каррагинана (1079,1 Па) (рис. 4).

Определено, что образцы эмульсий с использованием от 6 до 12 % сухой сыворотки совместно с 2 % каррагинана характеризуются следующими функционально-технологическими показателями: ВСС – 95,3–96,3 %, ЭС – 97,9–98,3 %, СЭ – 98,5–98,9 % (рис. 3, б).

Вместе с тем при включении 6–12 % сухой сыворотки совместно с 2 % каррагинана в состав эмульсий для изготовления полуфабрикатов происходит снижение значений предельного напряжения сдвига данных эмульсий – с 1084,8 до 1069,2 Па. При этом модельные образцы

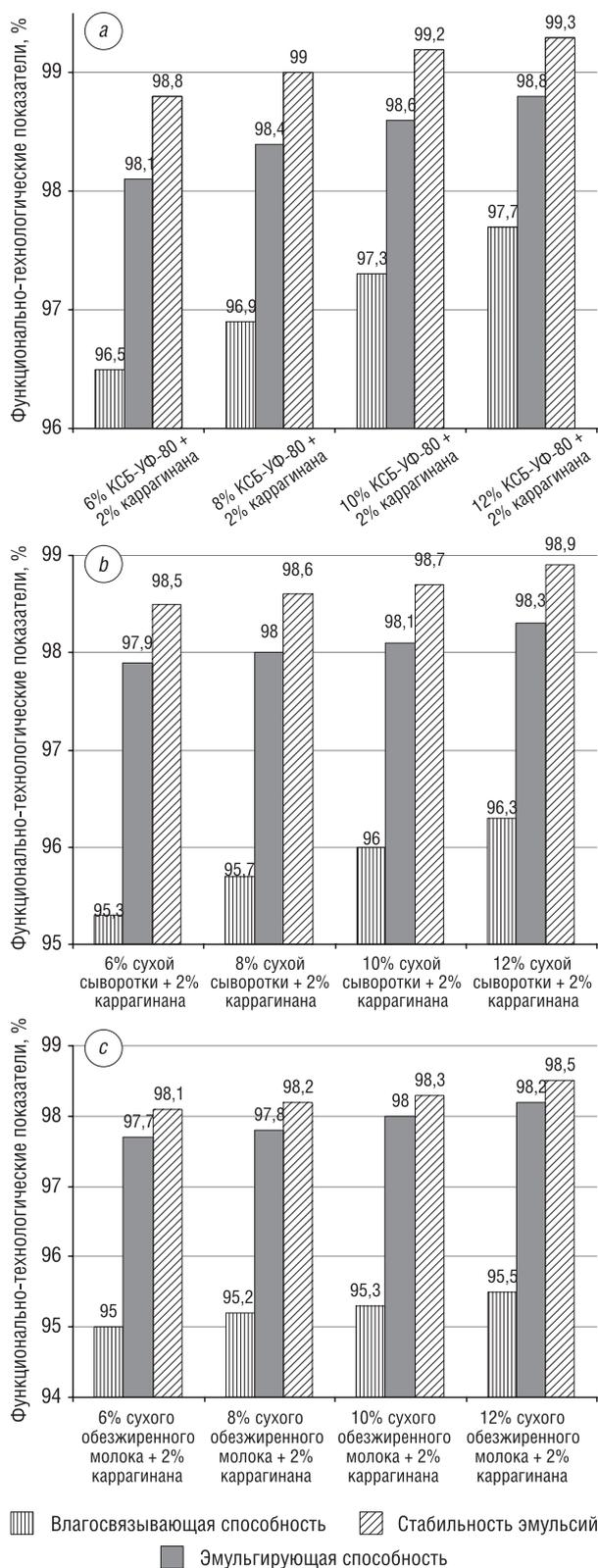


Рис. 3. Функционально-технологические показатели эмульсий из мяса цыплят-бройлеров с использованием каррагинана совместно с: а – КСБ-УФ-80; б – сухой сывороткой; в – сухим обезжиренным молоком

Fig. 3. Functional and process indicators of broiler chicken meat emulsion using carrageenan along with: a - KSB-UF-80; b - whey; c - skimmed milk powder

с использованием 8 % сухой сыворотки и 2 % каррагинана отличаются приближенными структурно-механическими показателями к модельным образцам с использованием 3 % каррагинана (1079,3 Па) (рис. 4).

Выявлено, что при включении сухого обезжиренного молока (6–12 %) совместно с 2 % каррагинана в состав эмульсий для аддитивных технологий модельные образцы характеризуются следующими показателями: влагосвязывающая способность – 95,0–95,5 %; эмульгирующая способность – 97,7–98,2 %; стабильность эмульсий – 98,1–98,5 %; предельное напряжение сдвига – 1061,8–1079,7 Па (рис. 3, в).

В то же время модельные образцы с использованием 12 % сухой сыворотки, а также 10–12 % сухого обезжиренного молока совместно с 2 % каррагинана характеризуются посторонним привкусом и запахом, поэтому не подлежат использованию для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий.

Таким образом, на основании комплексных исследований установлено, что рациональными дозировками сухих молочных продуктов, рекомендуемыми для снижения содержания каррагинана в рецептурах эмульсий на осно-

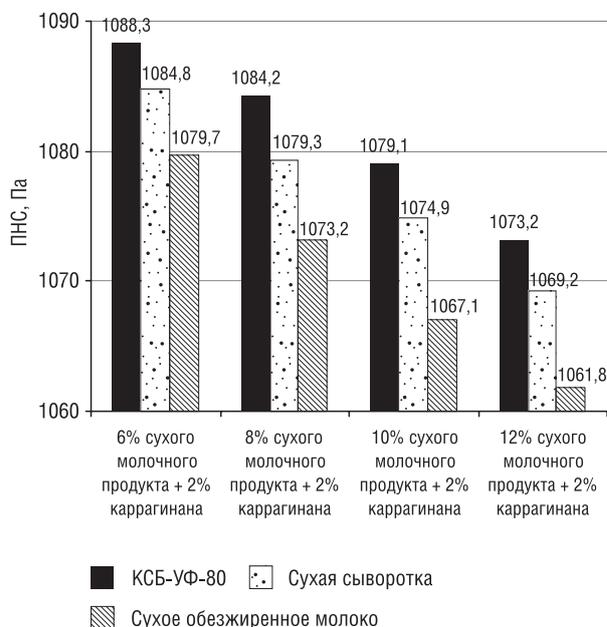


Рис. 4. Структурно-механические показатели эмульсий из мяса цыплят-бройлеров с использованием сухих молочных продуктов и каррагинана

Fig. 4. Structural and mechanical indicators of broiler chicken meat emulsion using powder dairy products and carrageenan

ве мяса цыплят-бройлераў на 1 %, являюцца наступныя: КСБ-УФ-80 – 10 %, сухая сыворотка – 8 %, сухое обезжыраенае молака – 6 %. При этом снижение содержания каррагинана на 1 % в рецептурах эмульсий из мяса цыплят-бройлераў и свинины (в соотношении 1 : 1) возможно при использовании 8 % КСБ-УФ-80, 7 % сухой сыворотки и 6 % СОМ, а в эмульсиях из свинины и говядины (в соотношении 1 : 1) – 6 % КСБ-УФ-80, 5 % сухой сыворотки и 4 % СОМ совместно с 2 % каррагинана.

Следует отметить, что использование вышперечисленных дозировок сухих молочных продуктов позволяет снизить количество других структурообразующих компонентов в составе эмульсий из мяса цыплят-бройлераў и свинины, а также свинины и говядины (в соотношениях 1 : 1):

а) гуаровой и ксантановой камеди – на 1 % (при рациональной дозировке 2 и 2,5 % соответственно);

б) карбоксиметилцеллюлозы – на 2 % (при рациональной дозировке 4 %).

Установлено, что использование 12 % КСБ-УФ-80, 10 % сухой сыворотки, 8 % СОМ в составе сухих смесей из мяса цыплят-бройлераў, 10 % КСБ-УФ-80, 8 % сухой сыворотки, 6 % СОМ в составе сухих смесей из мяса цыплят-бройлераў и свинины (соотношение 1 : 1), 8 % КСБ-УФ-80, 7 % сухой сыворотки, 5 % СОМ в составе сухих смесей из свинины и говядины (в соотношении 1 : 1) позволяет обеспечить снижение структурообразующих ингредиентов в рецептурах:

1) каррагинана – на 1–2 % (при рациональной дозировке 3 %);

2) гуаровой и ксантановой камеди – на 0,5–1,5 % (при рациональной дозировке 2 и 2,5 % соответственно);

3) сухого коллагена – на 1,5 % (при рациональной дозировке 2,5 % соответственно);

4) карбоксиметилцеллюлозы – на 2,0–2,5 % (при рациональной дозировке 4 % соответственно).

Таким образом, на основании комплексного подхода с учетом рациональных дозировок структурообразующих компонентов, сухих молочных продуктов и коллагенсодержащего сырья, а также оптимальных комбинаций рецептурных ингредиентов с целью повышения пищевой и биологической ценности и снижения себестоимости разработаны составы эмульсий и сухих смесей для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий.

Кроме того, разработаны технологии изготовления эмульсий, включающие последовательность внесения и продолжительность куттерования основного и вспомогательного сырья, позволяющие обеспечить улучшенные функционально-технологические и структурно-механические показатели данных эмульсий:

1) **из мяса цыплят-бройлераў** (общая продолжительность – 5 мин): мясо цыплят-бройлераў (1 мин) → гидролизованное коллагенсодержащее сырье (1 мин) → соль (1 мин) → структурообразующие компоненты и/или сухие молочные продукты (1 мин) → специи (1 мин) (ВСС – 94,7–97,7 %, ЭС – 97,4–98,9 %, СЭ – 98,3–99,5 %, ПНС – 1011,2–1054,4 Па);

2) **из мяса цыплят-бройлераў и свинины (соотношение 1 : 1)** (общая продолжительность – 7 мин): свинина (2 мин) → мясо цыплят-бройлераў (1 мин) → гидролизованное коллагенсодержащее сырье (1 мин) → соль (1 мин) → структурообразующие компоненты и/или сухие молочные продукты (1 мин) → специи (1 мин) (ВСС – 94,2–96,8 %, ЭС – 97,3–98,3 %, СЭ – 97,8–98,9 %, ПНС – 1045,1–1072,4 Па);

3) **из свинины и говядины (соотношение 1 : 1)** (общая продолжительность – 9 мин): говядина (2 мин) → свинина (2 мин) → гидролизованное коллагенсодержащее сырье (2 мин) → соль (1 мин) → структурообразующие компоненты и/или сухие молочные продукты (1 мин) → специи (1 мин) (ВСС – 93,2–96,5 %, ЭС – 97,0–98,1 %, СЭ – 97,4–98,8 %, ПНС – 1056,7–1096,9 Па).

Определена рациональная продолжительность составления сухих смесей для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий – 3 мин, позволяющая обеспечить оптимальные функционально-технологические показатели смесей: влагосвязывающую способность – 94,2–98,3 %, эмульгирующую способность – 97,3–98,6 %, стабильность эмульсий – 97,7–99,1 %.

### Выводы

1. В результате проведенных исследований получены новые научные данные о функционально-технологических и структурно-механических показателях мясного, коллагенсодержащего, молочного сырья и структурообразующих компонентов, а также технологической совместимости данных ингредиентов применительно к производству сухих смесей и эмульсий для изготовления полуфабрикатов с использованием аддитивных технологий.

2. Структурообразующие компоненты целесообразно вносить в состав эмульсий для аддитивных технологий в сухом виде, при котором, по сравнению с внесением в гидратированном виде и в виде гель-формы, обеспечиваются улучшенные функционально-технологические и структурно-механические показатели данных эмульсий: ВСС – 90,9–97,0 %, ЭС – 96,4–98,4 %, СЭ – 96,6–99,0 %, ПНС – 1043,8–1099,7 Па.

3. Использование 15 % гидролизованной соединительной ткани или 10 % гидролизованной свиной шкурки, являющихся ценными источниками белка и незаменимых аминокислот, позволяет снизить содержание структурообразующих компонентов в рецептурах эмульсий: каррагинана и гуаровой камеди – на 1,0 %, ксантановой камеди – на 1,5 %, карбоксиметилцеллюлозы – на 2,0 %, а также оказывает положительное влияние на снижение себестоимости эмульсий при сохранении рациональных функционально-технологических и структурно-механических показателей (ВСС – 93,2–97,2 %, ЭС – 97,5–98,5 %, СЭ – 97,3–99,2 %, ПНС – 1071,8–1098,7 Па).

4. Использование 6–12 % КСБ-УФ-80, 5–10 % сухой сыворотки или 4–8 % сухого обезжиренного молока в составе эмульсий и смесей для аддитивных технологий позволяет обеспечить снижение содержания структурообразующих ингредиентов в рецептурах: каррагинана – на 1,0–2,0 %, ксантановой и гуаровой камеди – на 0,5–1,5 %, карбоксиметилцеллюлозы – на 2,0–2,5 % при сохранении требуемых показателей качества (ВСС – 95,0–97,3 %, ЭС – 97,7–98,6 %, СЭ – 98,1–99,2 %, ПНС – 1079,1–1079,7 Па).

5. Разработаны составы эмульсий и сухих смесей для полуфабрикатов, а также технологии их производства, включающие последовательность внесения и продолжительность составления основного и вспомогательного сырья (для эмульсий из мяса цыплят-бройлеров – 5 мин, для эмульсий из мяса цыплят-бройлеров и свинины – 7 мин, для эмульсий из свинины и говядины – 9 мин, для сухих смесей – 3 мин), позволяющие обеспечить улучшенные функционально-технологические и структурно-механические показатели: ВСС – 93,2–98,3 %, ЭС – 97,0–98,9 %, СЭ – 97,4–99,5 %, ПНС – 1011,2–1096,9 Па.

6. Использование разработанных смесей и эмульсий на основе сырья животного происхождения в качестве сырья для пищевых 3D-принтеров позволит обеспечить производство инновационной группы мясных продуктов с использованием аддитивных технологий в Республике Беларусь.

**Благодарности.** Исследования проведены в рамках Государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства», 2016–2020 годы, подпрограммы 3 «Продовольственная безопасность».

### Список использованных источников

1. Колмыкова, О. Н. Научно-технический прогресс как фактор повышения уровня жизни населения / О. Н. Колмыкова, Т. В. Кудрявцева // Соц.-экон. явления и процессы. – 2011. – № 5–6 (27–28). – С. 127–129.
2. Морозов, А. В. Перспективы развития инновационного технологического уклада / А. В. Морозов, Р. Р. Низамов // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2013. – Т. 16, № 20. – С. 331–334.
3. Королёнок, К. С. Перспективы использования аддитивных технологий в экономике / К. С. Королёнок // Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий : материалы 15 Междунар. науч. семинара, г. Минск, Респ. Беларусь, 24–25 янв. 2019 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2019. – С. 122–123.
4. Новые технологии в индустрии питания – 3D-печать / А. С. Гришин [и др.] // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4, № 2. – С. 36–44. <https://doi.org/10.14529/food160205>
5. Оболенская, Ю. В. Мировой рынок 3D-технологий как основа инновационного развития экономики страны / Ю. В. Оболенская, Р. Г. Абакумов, А. Е. Наумов // Инновац. экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2018. – Т. 2, № 7 (33). – С. 90–95.
6. К использованию трехмерной печати пищевых продуктов, одежды / В. З. Крученецкий [и др.] // Вестн. Алмат. технол. ун-та. – 2016. – № 3 (112). – С. 18–25.

7. Потеха, В.Л. Аддитивные технологии в пищевой отрасли / В.Л. Потеха, А.В. Потеха // Инновационные технологии в пищевой промышленности : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 5–6 окт. 2016 г. : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию ; ред.: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2016. – Ч. 1. – С. 9–10.
8. Шварцев, С.Л. Есть ли будущее у аддитивных технологий? / С.Л. Шварцев // Вестн. Рос. акад. наук. – 2017. – Т. 87, № 6. – С. 538–547.
9. Родионова, О. И. 3D-печать пищевой продукции как инновационная технология / О.И. Родионова, А.В. Алешков, В.А. Синюков // Вестн. Хабар. гос. ун-та экономики и права. – 2019. – № 2 (100). – С. 119–124.
10. Максакова, Е.С. Аддитивные технологии в производстве кулинарных изделий / Е.С. Максакова, А.А. Гажур // Инновации: перспективы, проблемы, достижения : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 15 мая 2019 г. / Рос. экон. ун-т. – М., 2019. – С. 18–31.
11. Перспективы развития промышленного производства на основе аддитивных технологий / А.Е. Бром, Ж. Швандер, О.В. Белова, Ю.А. Белоносов // Экономика и упр.: проблемы, решения. – 2018. – Т. 1, № 2. – С. 48–58.
12. Дресвянников, В.А. Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности / В.А. Дресвянников, Е.П. Страхов, А.С. Возмищева // Продовольств. политика и безопасность. – 2017. – Т. 4, № 3. – С. 133–139. <https://doi.org/10.18334/ppib.4.3.38500>
13. Сульдина, В.В. Напечатать будущее: применение 3D-печати / В.В. Сульдина // Новое слово в науке: стратегии развития : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. / Чуваш. гос. ун-т [и др.] ; редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары, 2017. – Т. 1. – С. 199–202.
14. Кулаков, В.Г. Теоретические предпосылки разработки продуктов питания функциональной направленности с применением аддитивных технологий / В.Г. Кулаков, И.А. Никитин, Е.С. Коровина // Усиление конкурентного потенциала пищевых предприятий путем развития эффективных биотехнологий : сб. материалов науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–16 сент. 2016 г. / Науч.-исслед. ин-т хлебопекар. пром-сти, С.-Петерб. фил. ; отв. ред. М.Н. Костюченко. – М., 2016. – С. 67–69.
15. 3D-принтер для пищевой промышленности / А.Н. Афонин [и др.] // Современные технологии продуктов питания : сб. науч. ст. по материалам 2-й Междунар. науч.-практ. конф., 3–4 дек. 2015 г. / Юго-Зап. гос. ун-т [и др.] ; отв. ред. А.А. Горохов. – Курск, 2015. – С. 17–19.
16. Токарев, Б.Е. Анализ рынка 3D-печати: технологии и игроки / Б.Е. Токарев, Р.Б. Токарев // Практ. маркетинг. – 2014. – № 2 (204). – С. 10–16.
17. Толкачёв, С.А. Перспективы развития аддитивного производства в США / С.А. Толкачёв, Е.И. Москвитина, Т.М. Цветкова // США и Канада: экономика, политика, культура. – 2016. – № 1 (553). – С. 87–102.
18. Прокофьева, Ю.А. Инновационные возможности 3d-принтера / Ю.А. Прокофьева // Rep. Sci. Soc. – 2014. – № 1 (14). – С. 32–35.
19. Антипова, Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. – М. : Колос, 2001. – 571 с.

## References

1. Kolmykova O. N., Kudryavtseva T. V. Scientific and technical progress as the factor of increase of the standard of living of the population. *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy = Social and Economic Phenomena and Processes*, 2011, no. 5-6 (27-28), pp. 127-129 (in Russian).
2. Morozov A. V., Nizamov R. R. Prospects for the development of an innovative technological paradigm. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 20, pp. 331-334 (in Russian).
3. Korolenok K. S. Prospects for the use of additive technologies in the economy. *Mirovaya ekonomika i biznes-administririvanie malyykh i srednikh predpriyatii: materialy 15 Mezhdunarodnogo nauchnogo seminar, 24-25 yanvarya 2019 g., g. Minsk, Respublika Belarus'* [The world economy and business administration of small and medium-sized enterprises: proceedings of the 15th international scientific seminar, January 24-25, 2019, Minsk, Republic of Belarus]. Minsk, 2019, pp. 122-123 (in Russian).
4. Grishin A. S., Bredikhina O. V., Pomoz A. S., Ponomarev V. G., Krasulya O. N. New technologies in food industry – 3D printing. *Vestnik YuUrGU. Seriya Pishchevye i biotekhnologii = Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 36-44 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/food160205>
5. Obolenskaya Yu. V., Abakumov R. G., Naumov A. E. Global market 3D-technologies as a basis for innovative development of the country economy. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya* [Innovative economy: prospects for development and improvement], 2018, no. 7, vol. 2 (33), pp. 90-95 (in Russian).
6. Kruchenetskii V. Z., Kulzhanov T. K., Kizatova M. Zh., Kruchenetskii V. V. By using three-dimensional printing pro-food products, clothing. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta = The Journal of Almaty Technological University*, 2016, no. 3 (112), pp. 18-25 (in Russian).
7. Potekha V. L., Potekha A. V. Additive technology in the food industry. *Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoi promyshlennosti: materialy XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Minsk, 5-6 oktyabrya 2016 g.* [Innovative technologies in the food industry: proceedings of the XV international scientific and practical conference, Minsk, October 5-6, 2016]. Minsk, 2016, pt. 2, pp. 9-10 (in Russian).
8. Shvartsev S. L. Evolution in nonliving matter: Nature, mechanisms, complication, and self-organization. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2017, vol. 87, no. 6, pp. 518-526. <https://doi.org/10.1134/s1019331617050069>

9. Rodionova O. I., Aleshkov A. V., Sinyukov V. A. 3D printing of food products as an innovative technology. *Vestnik Khabarovskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i prava* [Bulletin of the Khabarovsk State University of Economics and Law], 2019, no. 2 (100), pp. 119-124 (in Russian).

10. Maksakova E. S., Gazhur A. A. Additive technology in the food production. *Innovatsii: perspektivy, problemy, dostizheniya: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Moskva, 15 maya 2019 g.* [Innovations: prospects, problems, achievements: proceedings of the VII international scientific and practical conference, Moscow, May 15, 2019]. Moscow, 2019, pp. 18-31 (in Russian).

11. Brom A. E., Shvander Zh., Belova O. V., Belonosov Yu. A. Prospects of development of industrial production on the basis of additive technologies. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 2018, vol. 1, no. 2, pp. 48-58 (in Russian).

12. Dresvyannikov V. A., Strakhov E. P., Vozmishcheva A. S. Analysis of application of additive technologies in the food industry. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost' = Food Policy and Security*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 133-139 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.4.3.38500>

13. Sul'dina V. V. To print the future: applications of 3D printing. *Novoe slovo v nauke: strategii razvitiya: sbornik materialov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [A new word in science: development strategies: a collection of papers of the II international scientific and practical conference]. Cheboksary, 2017, vol. 1, pp. 199-202 (in Russian).

14. Kulakov V. G., Nikitin I. A., Korovina E. S. Theoretical background for the development of functional food products using additive technologies. *Usilenie konkurentnogo potentsiala pishchevykh predpriyatii putem razvitiya effektivnykh biotekhnologii : sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii, 15-16 sentyabrya 2016 g., Sankt-Peterburg* [Strengthening the competitive potential of food enterprises through the development of effective biotechnologies: a collection of papers of the scientific and practical conference, September 15-16, 2016, St. Petersburg]. Moscow, 2016, pp. 67-69 (in Russian).

15. Afonin A.N., Aleinikov A.Yu., Ugol'nikova A.A., Gladyshev A. R. A 3D printer for the food industry. *Sovremennyye tekhnologii produktov pitaniya: sbornik nauchnykh statei po materialam 2 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 3-4 dekabrya 2015 g.* [Modern food production technologies: a collection of scientific articles based on the proceedings of the 2nd international scientific and practical conference, December 3-4, 2015]. Kursk, 2015, pp. 17-19 (in Russian).

16. Tokarev B. E., Tokarev R. B. Market analysis of 3D printing: technologies and participants. *Prakticheskii marketing = Practical Marketing*, 2014, no. 2 (204), pp. 10-16 (in Russian).

17. Tolkachev S. A., Moskvitina E. I., Tsvetkova T. M. Prospects of additive manufacturing development in USA. *SShA i Kanada: ekonomika, politika, kul'tura = USA v Kanada: Economics – Politics – Culture*, 2016, no. 1 (553), pp. 87-102 (in Russian).

18. Prokofyeva Yu. A. Innovative features of 3D-printer. *Reports Scientific Society*, 2014, no. 1 (14), pp. 32-35.

19. Antipova L. V., Glotova I. A., Rogov I. A. *Research methods for meat and meat products*. Moscow, Kolos Publ., 2001. 571 p. (in Russian).

### Информация об авторах

*Мелецня Алексей Викторович* – кандидат экономических наук, доцент, директор, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (Партизанский пр., 172, 220075 Минск, Беларусь). E-mail: [aleksmel@tut.by](mailto:aleksmel@tut.by)

*Калтович Ирина Васильевна* – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела технологий мясных продуктов, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (Партизанский пр., 172, 220075 Минск, Беларусь). E-mail: [irina.kaltovich@inbox.ru](mailto:irina.kaltovich@inbox.ru)

### Information about authors

*Alexey V. Meliashchenia* – Ph. D. (Economics), Assistant Professor. Institute of Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus Minsk, Belarus (172 Partizanski Ave., Minsk 220075, Republic of Belarus). E-mail: [aleksmel@tut.by](mailto:aleksmel@tut.by)

*Irina V. Kaltovich* – Ph. D. (Engineering), Assistant Professor. Institute of Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus Minsk, Belarus (172 Partizanski Ave., Minsk 220075, Republic of Belarus). E-mail: [irina.kaltovich@inbox.ru](mailto:irina.kaltovich@inbox.ru)