

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-4-506-514>



Поступила 27.06.2025
 Поступила после рецензирования 12.11.2025
 Принята в печать 17.11.2025
 © Мистенева С. Ю., 2025

<https://www.fsjour.com/jour>
 Научная статья
 Открытый доступ

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПЕНООБРАЗНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ КЕКСОВ

Мистенева С. Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

кексы, пенообразная эмульсия, структурообразование, вязкость, напряжение сдвига, добавленный сахар, жир

Неинфекционные заболевания, связанные с рационами питания, представляют собой серьезную проблему мирового здравоохранения. Одной из ключевых стратегий по борьбе с ними является расширение ассортимента доступных пищевых продуктов, в том числе мучных кондитерских изделий, с полезным профилем пищевых веществ. В работе изучен характер структурообразования пенообразных эмульсий для кексов. Свойства эмульсий определяют качество готовых изделий. Модификация рецептурного состава изделий осуществлялась путем снижения добавленного сахара и жира и использования сухих молочных продуктов и сыворотки. Добавление сухих молочных продуктов и сыворотки приводило к увеличению вязкости эмульсий. Максимальную вязкость предельно неразрушенной структуры имел образец эмульсии с молоком цельным сухим ($162,8 \pm 8,1$ Па·с), что превышало значение данного показателя в контрольном образце ($36,1 \pm 1,8$ Па·с) в 4,5 раза. При этом основное снижение вязкости у всех образцов происходило в диапазонах незначительных скоростей сдвига (до $\dot{\gamma} = 3$ сек⁻¹), что указывало на их низкую структурную прочность. Динамический предел текучести всех эмульсий с порошкообразным сырьем превышал значение в контрольном образце ($22,4 \pm 1,1$ Па). Это свидетельствовало об изменении характера течения полученных систем за счет формирования более прочных структурных свойств. В работе определена реологическая модель течения образцов эмульсий модифицированного состава и контрольного образца и получены математические уравнения данного процесса. Установлено, что применение сухих молочных продуктов, сыворотки и разработанных технологических приемов обеспечивало формирование в пищевой системе структурообразующей воздушной фазы в необходимом количестве. Плотность исследуемых образцов изменялась незначительно по сравнению с контрольным ($590 \pm 5,3$ кг/м³), и превышала его значение на 2% в эмульсии с молоком цельным сухим ($600 \pm 5,6$ кг/м³), на 3% — с молоком сухим обезжиренным ($610 \pm 5,5$ кг/м³) и на 5% — с сухой молочной сывороткой ($620 \pm 5,6$ кг/м³). Результаты исследований стали основой разработки технологии кексов со сниженным содержанием критически значимых веществ в соответствии с принципами здорового питания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022-0007 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 27.06.2025
 Accepted in revised 12.11.2025
 Accepted for publication 17.11.2025
 © Misteneva S. Yu., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>
 Original scientific article
 Open access

SPECIFIC FEATURES OF STRUCTURE FORMATION OF FOAM-LIKE EMULSIONS FOR MUFFINS

Svetlana Yu. Misteneva

All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Moscow, Russia

KEYWORDS: muffins, foam-like emulsion, structure formation, viscosity, shear stress, added sugar, fat

ABSTRACT

Diet-related noncommunicable diseases (NCDs) are a major global health problem. One of the main strategies for NCDs prevention is an increase in a range of available food products, including flour confectionery, with the beneficial nutrient profile. In this paper the character of structure formation in foam-like emulsions for muffins was investigated. The properties of emulsions determine quality of finished products. The recipe composition of muffins was modified by reducing added sugar and fat and incorporating whole and skim milk powders and whey powder. The incorporation of these powders caused an increase in the viscosity of emulsions. The emulsion with whole milk powder had the highest viscosity of undisturbed structure (162.8 ± 8.1 Pa·s), which was 4.5 times higher than that in the control sample (36.1 ± 1.8 Pa·s). The main decrease in viscosity of all samples was noticed at low ranges of shear rate (up to $\dot{\gamma} = 3$ s⁻¹), that pointed to low structure strength of emulsions. The values of the dynamic yield strength for all emulsions with powdered raw materials exceeded the value in the control sample (22.4 ± 1.1 Pa). This indicated a change in the flow behavior of the modified systems due to the formation of stronger structural properties. In this study, the rheological model of flow for the samples of emulsions with the modified composition and the control sample was determined and mathematical equations of this process were obtained. It was found that the use of dry milk products and whey powder, and the developed techniques ensured the formation of the necessary amount of structure-forming air phase in the food system. Density of the experimental samples changed insignificantly compared to the control (590 ± 5.3 kg/m³) and was higher than this value in the control by 2% in the emulsion with whole milk powder (600 ± 5.6 kg/m³), by 3% — with skim milk powder (610 ± 5.5 kg/m³) and by 5% — with whey powder (620 ± 5.6 kg/m³). The research results form the basis for the development of technology for muffins with the reduced content of the critically important ingredients according to the principles of healthy nutrition.

FUNDING: The article was prepared as part of the research under the state assignment № FGUS-2022-0007 of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Science.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мистенева, С. Ю. (2025). Особенности структурообразования пенообразных эмульсий для кексов. *Пищевые системы*, 8(4), 506–514. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-4-506-514>

FOR CITATION: Misteneva, S. Yu. (2025). Specific features of structure formation of foam-like emulsions for muffins. *Food Systems*, 8(4), 506–514. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-4-506-514>

1. Введение

Распространенность избыточного веса, ожирения и других неинфекционных заболеваний, связанных с рационами питания, в современном обществе высока и продолжает расти, что отрицательно сказывается на продолжительности и качестве жизни населения. В частности, значимой проблемой, требующей серьезных и согласованных действий, является рост избыточного веса и ожирения среди детей и подростков [1]. Для обеспечения здорового образа жизни необходим целостный подход, включающий физическую активность, социальную среду и информирование о формировании адекватных рационов питания. Кроме того, важным фактором такого подхода является доступность пищевых продуктов, в том числе мучных кондитерских изделий, которые обеспечивают поддержание оптимальных рационов питания [2,3].

При проведении технологических процессов производства многокомпонентных пищевых систем большое значение имеют их реологические свойства, определяющие реакцию дисперсных систем на внешние воздействия. Реологические свойства в первую очередь определяются рецептурным составом и могут использоваться для прогнозирования поведения пищевых систем в процессе технологической обработки. Кроме того, реологические свойства пищевых систем оказывают существенное влияние на качественные характеристики готовых изделий [4–6]. Для описания реологического поведения пищевых материалов используют различные реологические уравнения: Гершеля–Балкли, Оствальда де Виля, Кассона и другие [7,8].

Кексы являются одним из распространенных видов мучных кондитерских изделий. В 2022 году объем производства кексов составил 43 тыс. т, и эта цифра продолжает расти из-за спроса на продукты для перекусов [9].

Основой формирования структуры кексов является наличие технологической стадии сбивания, обеспечивающей включение в систему значительного количества воздушной фазы. По технологическим особенностям производства и формирования структурно-механических свойств кексы, наряду с бисквитными полуфабрикатами и некоторыми видами сдобного печенья, могут быть выделены в отдельную категорию — сбивные кондитерские изделия мучной группы. В характеристике пищевых систем сбивные кондитерские изделия мучной группы представляют собой твердую упругую пену, в которой степень аэрации и структура воздушных пузырьков являются основой формирования качества. Твердые пены являются трехмерными грубодисперсными высококонцентрированными системами, дисперсной фазой которых является газовая фаза, заключенная во взаимосвязанную сеть. Основные структурные особенности сбивных кондитерских изделий мучной группы заключаются в отсутствии хрупкости, достаточной эластичности мякиша и наличии значительной пористости, обусловленной присутствием большого количества воздушных пустот внутри твердой матрицы [10–13].

При нагревании в процессе выпечки воздушные ячейки значительно увеличиваются за счет теплового расширения и поглощения углекислого газа из разрыхлителей и образующегося водяного пара. На этом этапе очень важны свойства поверхностной эластичности слоев, окружающих воздушные ячейки. В конце процесса выпечки воздушные ячейки соединяются в открытую сеть, а капли жидкого жира объединяются в пленку, покрывающую внутреннюю поверхность воздушных каналов [14]. Таким образом, воздушная фаза является важным структурным элементом сбивных изделий, обеспечивающим их идентификационные характеристики, формирующим реологические свойства полуфабрикатов и структурно-механические свойства готовых изделий.

В категории кексов существует ограниченное количество вариантов с пониженным содержанием сахара и жира, что, вероятно, связано с технологическими трудностями производства таких продуктов, поскольку данные виды сырья играют одну из основных ролей в формировании их пенообразной структуры.

Сахароза играет важную технологическую роль в процессе производства кексов, участвуя в формировании идентификационных признаков, объема, пористости, цвета, повышении сохранности. Сахароза также оказывает влияние на физико-химические и структурно-механические свойства теста. В процессе тестообразования происходит гидратация белков муки с образованием клейковины, увеличение количества которой свыше определенного уровня придает готовым изделиям излишнюю плотность и жесткость. Добавление сахара обеспечивает увеличение частичной концентрации дисперсионной среды, приводя к снижению осмотического набухания белков муки и препятствуя развитию клейковины. Сахар, добавляемый в определенном количестве в тесто, способствует снижению его

плотности за счет удержания большего количества воздушной фазы на стадии сбивания. Сахароза снижает температуру клейстеризации крахмала и денатурации белка при выпечке кексов, обеспечивая рост пузырьков воздуха за счет действия углекислого газа и пара до момента затвердевания тестовой заготовки [15,16].

Одним из ключевых ингредиентов в производстве кексов являются жиры. Входящие в состав изделий жиры оказывают значительное влияние на сохранность готовой продукции, ее функциональные (мягкость, текстуру, структурную целостность) и технологические свойства (удержание пузырьков воздуха, теплообмен тестовых заготовок, срок годности). Источниками жира в сбивных мучных кондитерских изделиях могут являться маргарин, сливочное масло, молочные и яичцепродукты и т. д. Каждая категория жиров (насыщенные, моно- или полиненасыщенные) обладает специфической структурой и свойствами, что усложняет их сокращение или замену в рецептуре изделий. Жиры при комнатной температуре существуют в жидком и/или кристаллическом состояниях. Количество кристаллической фазы в жире и, как следствие, его пластичность оказывают значительное влияние на процессы гомогенизации, коалесценции и образования структуры пищевой системы, в связи с этим профиль плавления жиров является одной из важных характеристик их качества. Пластические свойства жиров также существенно влияют на их способность захватывать и удерживать воздушную фазу в процессе сбивания [17–20].

Известно, что пищевые пены можно стабилизировать присутствующими природными поверхностно-активными веществами, такими как белки. Поверхностные вязкоупругие свойства белков могут существенно повысить стабильность пены за счет снижения скорости отделения и стекания жидкости — дисперсионной среды [21–23]. Белки молока можно разделить на две основные группы: казеины (~80%) и сывороточные белки (~20%). Казеины представляют собой гетерогенную группу фосфопротеинов и содержатся в молоке преимущественно в мицеллярной форме, т. е. включены в состав высокогидратированных казеиновых мицелл. Сывороточные белки, которые представляют собой более мелкие глобулярные белки с относительно высокой гидрофобностью, хорошо известны своей поверхностной активностью при образовании пищевых пен. Сывороточный альбумин является хорошим пенообразователем, который также обеспечивает хорошую стабильность пены благодаря своей способности образовывать вязкоупругие межфазные пленки [24–26]. В случае казеина амфифильная природа молекул придает ему высокие поверхностно-активные и, следовательно, функциональные свойства: сбивание, вспенивание, эмульгирование. Сывороточные белки не являются амфифильными по своей природе и обычно имеют более низкую поверхностную активность, чем казеин. Однако их свойства стабилизировать пену превосходят свойства казеина, поскольку на границе раздела воздух/жидкость образуется более жесткая пленка [27,28].

Цель работы — изучение качественных и реологических характеристик пенообразных эмульсий для кексов при снижении в их составе добавленного сахара и жира, а также при введении сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки.

2. Объекты и методы

Объектами исследований на разных этапах работы являлись сахаро-жировые смеси, представляющие собой смесь жирового продукта и сахара белого, и пенообразные эмульсии для кексов, получаемые в результате сбивания сахаро-жировой смеси с яичцепродуктами. Сухие молочные продукты (молоко сухое цельное и молоко сухое обезжиренное по ГОСТ 33629-2015¹) и сухая молочная сыворотка (по ГОСТ 33958-2016²) были проанализированы с целью уточнения их химического состава. Технологический процесс получения сахаро-жировых смесей и пенообразных эмульсий осуществлялся по [29] с использованием лабораторного планетарного миксера Kenwood KMC 560 (Kenwood, Англия). Для получения контрольных образцов сахаро-жировой смеси и эмульсии использована типовая рецептура кекса на химических разрыхлителях. Модельные образцы сахаро-жировых смесей и эмульсий получены при модификации рецептуры контрольного образца путем снижения в нем содержания добавленного сахара, жира и введения сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки. Рецептурные соотношения кексов для получения сахаро-жировых смесей и эмульсий контрольного и модельных образцов представлены в Таблице 1.

¹ ГОСТ 33629–2015 «Молоко сухое. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2017. — 13 с.

² ГОСТ 33958–2016 «Сыворотка молочная сухая. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2019. — 11 с.

Таблица 1. Рецептурные соотношения кексов для получения сахаро-жировых смесей и эмульсий контрольного и модельных образцов

Table 1. Recipe ratios in muffins used to obtain sugar-fat mixtures and emulsions of the control and model samples

Наименование сырья и полуфабрикатов	Соотношение сырья, %	
	Контрольный образец	Модельный образец
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	24,6	32,0
Сахар белый	24,6	17,8
Жировой продукт	24,7	18,0
Сухие молочные продукты/сухая молочная сыворотка	—	8,0
Яйцепродукты	26,0	21,6
Вода	—	2,5
Аммоний углекислый	0,1	0,1
ИТОГО:	100,0	100,0

В качестве жирового продукта использовался маргарин по ГОСТ 32188–2013⁵ со следующими характеристиками: массовая доля жира 82%, содержание твердого жира при температуре 20 °С 16–18%, температура плавления жира, выделенного из маргарина, 33–35 °С. В качестве яйцепродуктов использовались яйца куриные по ГОСТ 31654–2012⁴. При проведении исследований применялся сахар белый по ГОСТ 33222–2017³.

Контроль температуры при проведении исследований осуществлялся с помощью лабораторного жидкостного термометра по ГОСТ 28498–90⁶ с диапазоном измерения температур от 0 до 100 °С с ценой деления 1 °С. Для фиксации времени использовали трехканальный лабораторный таймер Stegler TL-303 (Stegler, Китай). Проведение взвешиваний осуществлялось на электронных лабораторных весах AND GF 1000 (A&D, Япония) с точностью до 0,01 грамма. Массовую долю влаги сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки определяли по ГОСТ 29246–91⁷ методом высушивания анализируемой пробы при температуре (102 ± 2) °С в сушильном шкафу СЭШ-3М-02 (ООО «Таглер», Россия). Массовую долю жира сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки определяли по ГОСТ 29247–91⁸. Определение общего белка в сухих молочных продуктах и в сухой молочной сыворотке осуществляли по ГОСТ 25179–2014⁹ и ГОСТ 30648.2–99¹⁰ соответственно.

Плотность сахаро-жировых смесей и эмульсий определяли отношением их массы к занимаемому объему по методике, разработанной ВНИИ кондитерской промышленности для жидкообразных кондитерских масс. Для проведения измерений использовали штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,1 мм, лабораторный цилиндрический стакан из полимерного материала высотой 40 мм и шпатель из нержавеющей стали размером 20 × 150 мм. Перед проведением анализа измеряли штангенциркулем внутренние диаметр и высоту стакана, записывая результат измерений до целого миллиметра. Объем стакана V (см³) вычисляли по формуле:

$$V = \frac{(\pi \times d^2 / 4) \times h}{1000}, \quad (1)$$

где π — число «пи»; h — внутренняя высота стакана, мм; d — внутренний диаметр цилиндрического стакана, мм; 1000 — коэффициент пересчета из мм³ в см³.

Измерения проводили следующим образом. Пустой стакан взвешивали, записывая результат взвешивания в граммах до второго десятичного знака. В зависимости от этапа исследований стакан наполняли сахаро-жировой смесью или эмульсией, которые брали

непосредственно после приготовления. Стакан наполняли пробой небольшими порциями с периодическим постукиванием дном стакана о поверхность стола так, чтобы проба равномерно заняла весь объем стакана. Выступающую часть пробы удаляли шпателем с выравниванием поверхности по срезу стакана и взвешивали, записывая результаты взвешивания в граммах до второго десятичного знака. Время от момента заполнения стакана до взвешивания не превышало 5 мин.

Плотность исследуемого полуфабриката (сахаро-жировых смесей и эмульсий) вычисляли по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V} \times 1000, \quad (2)$$

где ρ — плотность исследуемого полуфабриката, кг/м³; m_1 — масса стакана с исследуемым полуфабрикатом, г; m_2 — масса пустого стакана, г; V — объем стакана, см³; 1000 — коэффициент пересчета из г/см³ в кг/м³.

Эффективную вязкость и напряжения сдвига исследуемых полуфабрикатов (сахаро-жировых смесей и эмульсий) определяли с помощью ротационного вискозиметра «Реотест-2» (Mettingen, Германия). Эффективную вязкость $\eta_{эф}$, Па·с находили по формуле:

$$\eta_{эф} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}, \quad (3)$$

где τ — напряжение сдвига, Па; $\dot{\gamma}$ — скорость сдвига, сек⁻¹.

Исследования проводились в трех-пятикратной повторности. Результаты исследований представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения при доверительной вероятности $p \geq 0,95$. Различия средних значений выборок с применением критерия Стьюдента признавались статистически достоверными при доверительной вероятности $p \leq 0,05$. Статистический анализ проводили с использованием программы Microsoft Office Excel.

3. Результаты и обсуждение

При формировании требуемых структурно-механических показателей теста для кексов и готового изделия важным критерием выступает рецептурное соотношение муки пшеничной и пенеобразной эмульсии, состоящей из жира, сахара и яйцепродуктов. Следствием сокращения добавленного сахара и жира в изделии закономерно является снижение общего количества эмульсии, формирующей структурный каркас данной пищевой системы. В связи с этим основной задачей работы было обоснование технологически адекватных сырьевых компонентов, обеспечивающих не только сохранение количественного содержания пенеобразной эмульсии в тесте и ее стабильности при снижении сахара и жира, но и формирование в данной системе требуемых структурно-механических характеристик.

В качестве составной части пенеобразной эмульсии для кексов в работе предложено использование высокодисперсных пищевых порошков — сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки. Химический состав используемого сырья представлен в Таблице 2.

Таблица 2. Химический состав сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки

Table 2. Chemical composition of dry milk products and whey powder

Наименование сырья	Массовая доля влаги, %	Содержание жира, %	Содержание белка, %	Содержание лактозы (справочные данные) [26], %
Молоко сухое цельное	3,0 ± 0,1	24,0 ± 0,5	24,0 ± 1	37,2
Молоко сухое обезжиренное	3,2 ± 0,1	1,5 ± 0,01	32,0 ± 1	52,0
Сыворотка сухая молочная	4,5 ± 0,1	1,1 ± 0,01	10,0 ± 0,5	73,5

Содержание лактозы в выбранном сырье в среднем составляет от 37,2 до 73,5%, что позволяет обоснованно говорить о целесообразности его использования в качестве замены сахара белого в рецептуре изделий для снижения общего количества сахаров, поступающих с сырьем в пищевую систему. Кроме того, известно, что лактоза, содержащаяся в молочных продуктах, является природным сахаром. Использование данных видов сырья для снижения содержания жира в изделии также является актуальным и обоснованным [30,31].

Эмульсия представляет собой аэрированную многофазную дисперсную систему типа масла в воде, содержащую муку, сахар, яйца и микродобавки. Во многих эмульсиях для кексов образующиеся пузырьки воздуха располагаются в жировой, а не в водной фазе [14]. Это относится к бивитным мучным кондитерским изделиям с высоким содержанием жира (15–25% от массы теста), рассматриваемым в данной работе.

³ ГОСТ 32188–2013 «Маргарины. Общие технические условия». М.: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

⁴ ГОСТ 31654–2012 «Яйца куриные пищевые. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2013. — 7 с.

⁵ ГОСТ 33222–2017 «Сахар белый. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2019. — 23 с.

⁶ ГОСТ 28498–90 «Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний». М.: Стандартинформ, 2007. — 10 с.

⁷ ГОСТ 29246–91 «Консервы молочные сухие. Методы определения влаги». М.: Стандартинформ, 2009. — 5 с.

⁸ ГОСТ 29247–91 «Консервы молочные. Методы определения жира». М.: Стандартинформ, 2009. — 5 с.

⁹ ГОСТ 25179–2014 «Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка». М.: Стандартинформ, 2019. — 8 с.

¹⁰ ГОСТ 30648.2–99 «Продукты молочные для детского питания. Методы определения общего белка». Минск: ИПК Издательство стандартов, 1999. — 12 с.

Введение в пищевую систему сухих молочных продуктов и сухой сыворотки осуществлялось на первой стадии получения эмульсии, которая представляет собой предварительное сбивание жирового продукта с сахаром. Трение кристаллов сахара о жир приводит к образованию в системе значительного количества воздушных пузырьков [15], вследствие чего данная стадия является одним из важных этапов в технологии сбивных мучных кондитерских изделий. В контрольном образце соотношение данных видов сырья составляло 1:1. Соотношение сахара, жира и порошкообразных продуктов в исследуемых сахаро-жировых смесях составляло 1:1:0,45 (Рисунок 1).

В работе исследовано влияние вида сухих молочных продуктов и сухой сыворотки на плотность сахаро-жировых смесей в зависимости от температуры используемого жирового продукта и времени сбивания. Результаты исследований представлены на Рисунке 2.

Установлено, что введение сухих молочных продуктов и сухой сыворотки приводило к повышению показателя плотности содержащих их образцов сахаро-жировых смесей во всех временных интервалах сбивания, по сравнению с контрольным образцом, состоящим только из сахара и жира. При температуре жирового продукта $18 \pm 1^\circ\text{C}$ исследуемые смеси с порошкообразным сырьем также различались между собой по показателю плотности, минимальное значение которого достигалось при разном времени сбивания и составляло: для молока сухого цельного и молока сухого обезжиренного — $735 \pm 6,6 \text{ кг/м}^3$ и $800 \pm 7,2 \text{ кг/м}^3$ соответственно на 7 минуте сбивания; для сухой сыворотки — $825 \pm 7,4 \text{ кг/м}^3$ на 9 минуте сбивания. Дальнейшее сбивание увеличивало плотность масс, что свидетельствовало о снижении количества воздушной дисперсной фазы вследствие коалесценции и удаления захваченных пузырьков. В контрольном образце на 7 и 9 минутах сбивания показатели плотности

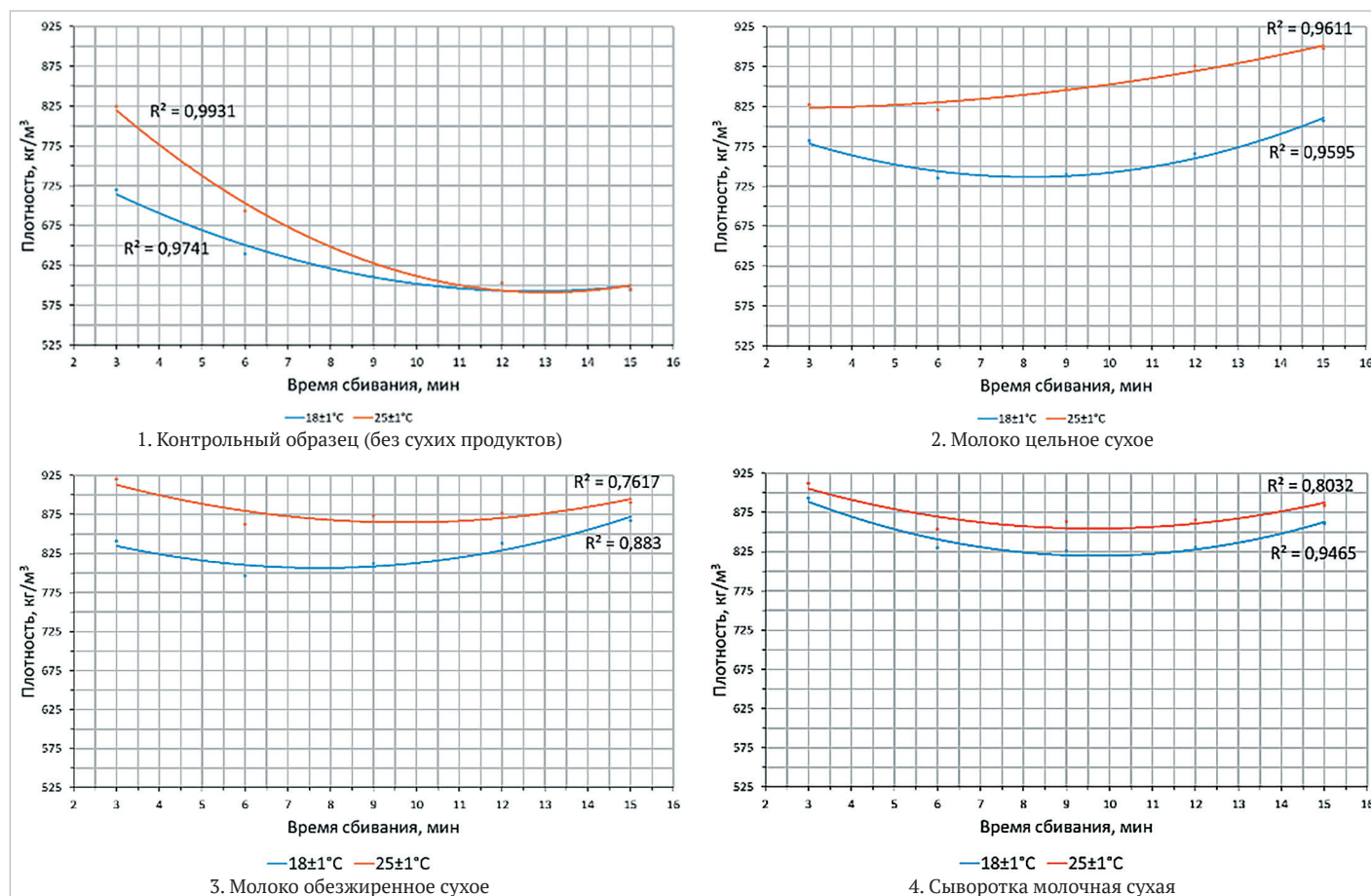
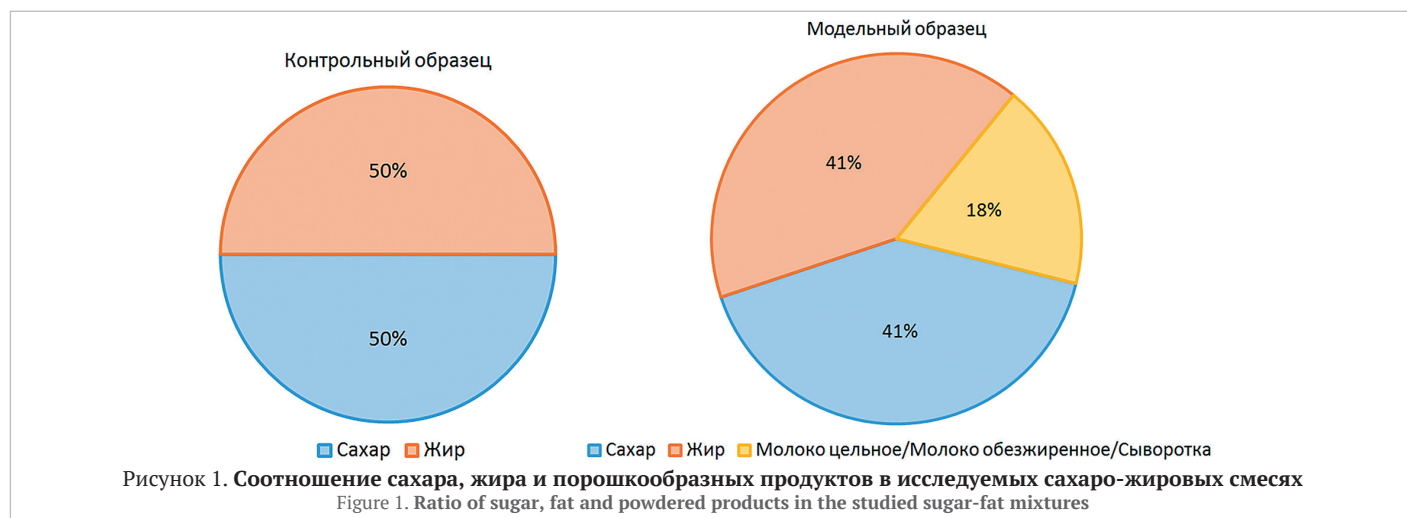


Рисунок 2. Влияние вида порошкообразного сырья на плотность сахаро-жировой смеси в зависимости от температуры и времени сбивания. Данные выражены как среднее значение \pm SD ($n = 5$), R^2 — величина достоверности аппроксимации.

Figure 2. Effect of the type of powdered raw materials on the density of the sugar-fat mixture depending on temperature and time of whipping. Data are expressed as mean \pm SD ($n = 5$), R^2 — value of significance of approximation

составляли $640 \pm 5,8$ кг/м³ и $610 \pm 5,5$ кг/м³ соответственно. Разница в плотности исследуемых сред и контрольного образца может быть обусловлена несколькими факторами: в частности, большим содержанием сахара и жира в контрольном образце, а также уменьшением размера частиц дисперсной фазы при введении в массу порошкообразного сырья. Известно, что размер частиц дисперсной фазы оказывает существенное влияние на количество воздуха, попадающего в смесь во время сбивания. Например, сахарный песок (поскольку его кристаллы крупнее) включает в массу больше воздуха, чем сахарная пудра [15].

Наблюдалось также различие в характере зависимостей показателя плотности в смесях с исследуемым сырьем и контрольном образце от времени сбивания. В случае с последним не произошло повышения плотности массы в процессе сбивания в исследуемом интервале времени. Это может быть следствием высокого содержания сахара и жира. Известно, что кристаллы жира обладают способностью адсорбироваться на поверхности пузырьков воздуха, способствуя их стабилизации в дисперсных системах [32]. При температуре жирового продукта 18 ± 1 °C (температура массы 23 ± 1 °C) минимальный показатель плотности в контрольном образце ($590 \pm 5,3$ кг/м³) достигался на 15 минуте сбивания и был ниже такового в образце с сухим цельным молоком (7 минут сбивания) в 1,2 раза; с сухим обезжиренным молоком (7 минут сбивания) и сухой молочной сывороткой (9 минут сбивания) — в 1,4 раза. Повышение температуры жирового продукта до 25 ± 1 °C привело к повышению показателей плотности контрольного образца и исследуемых смесей, свидетельствующему о снижении количества воздушной фазы в массах, по сравнению с массами, полученными при использовании жира с температурой 18 °C. Известно, что на стадии сбивания жира с сахаром пластические свойства жира выступают важным фактором, обуславливающим его способность захватывать и удерживать в системе воздушную фазу [19]. Сделан вывод, что повышение температуры жира приводило к повышению его пластичности и, как следствие, к снижению количества содержащейся в нем кристаллической фракции. В результате этого снижалась способность системы удерживать и стабилизировать воздушную фазу, приводя к увеличению плотности массы. Учитывая вышеизложенное, дальнейшие исследования проводились при использовании жирового продукта с температурой 18 ± 1 °C.

Второй стадией получения эмульсии для сбивных изделий мучной группы является процесс сбивания полученной сахаро-жировой смеси с яйцепродуктами.

На первом этапе этого процесса происходит захват значительного количества газообразной дисперсной фазы за счет пенообразующих свойств яичного белка и присутствия определенного количества кристаллической фракции в жировом продукте. На следующем этапе сбивания происходит диспергирование воздушной фазы внутри системы с образованием эмульгированной пены, обуславливающей формирование губчатой пористой структуры и объема в готовом изделии. Количество и равномерность распределения газообразной дисперсной фазы в эмульсии, а также однородный размер воздушных ячеек являются важными параметрами ее качества и структурных характеристик готового изделия.

Соотношение сырьевых компонентов в пенообразной эмульсии для контрольного и модельного образца представлено на Рисунке 3.

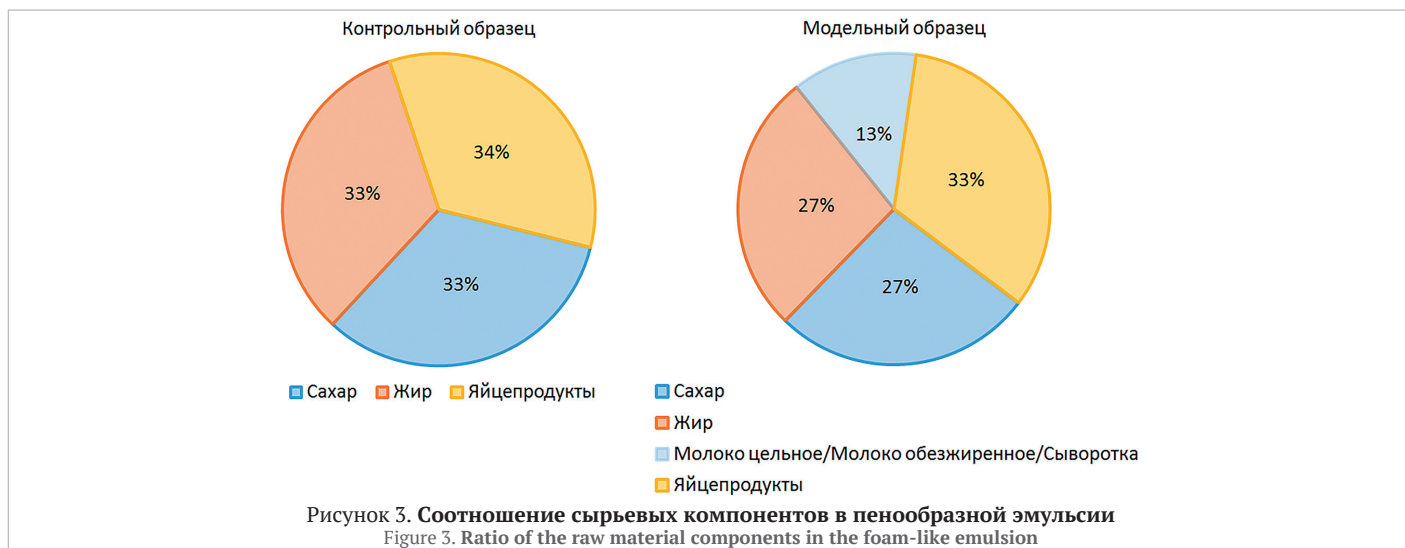
Основной технологической задачей на стадии сбивания сахаро-жировой массы с яйцепродуктами является получение пенообразной системы со стабильными структурными характеристиками, обеспечивающими сохранение максимального количества частиц воздушной фазы при введении муки пшеничной на стадии тестообразования. Под стабильностью пищевых пен понимают их устойчивость к двум основным процессам: утоньшению пленок между пузырьками воздуха, а также разрыву пленок и слипанию пузырьков (коалесценции) под действием различных факторов. В результате протекания данных процессов пищевые среды теряют дисперсность, воздушную фазу и объем [11,33].

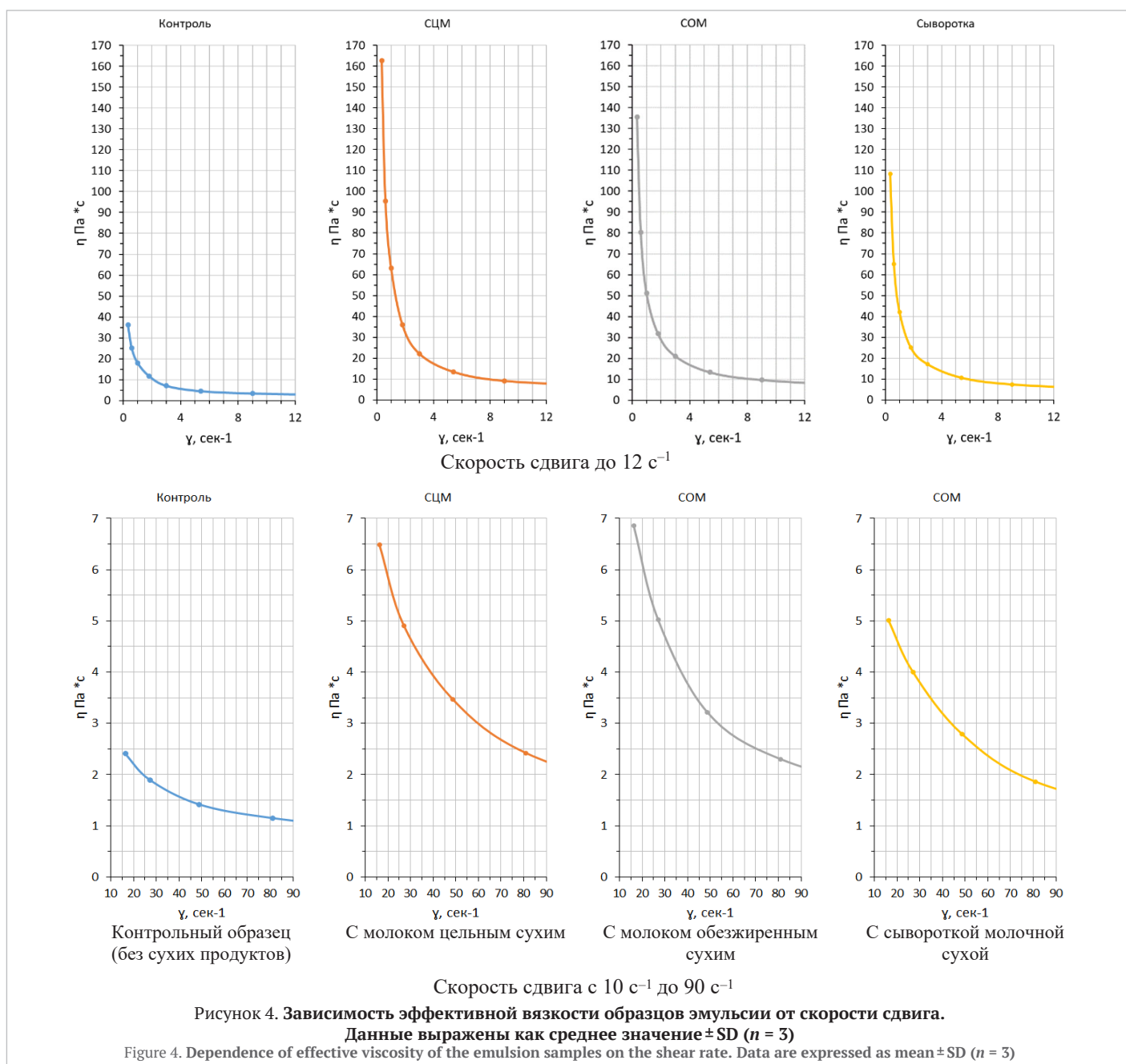
В связи с этим на стадии сбивания эмульсии для мучных кондитерских изделий, помимо ее рецептурного состава, важными факторами выступают время и интенсивность механических воздействий, приложенных к системе. С одной стороны, механические воздействия обеспечивают максимально возможное диспергирование в эмульсии захваченного воздуха, а с другой — способствуют формированию оптимальной толщины пленок между частицами воздушной фазы, которые удерживают воздух внутри системы. Толщина пленок, в свою очередь, будет находиться в зависимости от структурных свойств дисперсионной среды, в частности, вязкости и предельного напряжения сдвига [34].

В работе изучено влияние порошкообразного сырья на реологические характеристики пенообразной эмульсии (t эмульсии = 22 ± 1 °C). Исследована зависимость эффективной вязкости образцов от скорости сдвига, отражающая в том числе структурную устойчивость полученных эмульсий к разрушению при приложении внешних механических воздействий. Результаты исследований представлены на Рисунке 4.

Кривые вязкости для всех исследуемых образцов эмульсий носили нелинейный характер и являлись неньютоновскими жидкостями. При минимальных скоростях сдвига образцы обладали максимальной вязкостью практически неразрушенной структуры, значения которой снижались по мере увеличения скорости. Установлено, что добавление сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки привело к увеличению вязкости изучаемых систем. Показатели максимальной вязкости неразрушенной структуры составили для контрольного образца эмульсии $36,1 \pm 1,8$ Па·с, эмульсии с сухим цельным молоком — $162,8 \pm 8,1$ Па·с, с молоком сухим обезжиренным $135,5 \pm 6,8$ Па·с, с сывороткой молочной сухой — $108,4 \pm 5,4$ Па·с. При минимальной скорости сдвига эффективная вязкость эмульсий была выше контрольного образца при использовании сухого цельного молока в 4,5 раза, сухого обезжиренного молока — в 3,8 раза, сухой молочной сыворотки — в 3 раза. Максимальную тенденцию к образованию прочной структуры демонстрировал образец с молоком цельным сухим. Увеличение вязкости эмульсий при добавлении сухих порошкообразных продуктов может быть обусловлено в том числе новыми свойствами дисперсионной среды.

Установлено, что исследуемые эмульсии обладали низкой структурной прочностью, поскольку основное снижение вязкости происходило при низких скоростях сдвига. При увеличении скорости сдвига от 1 сек^{-1} до 3 сек^{-1} вязкость контрольного образца эмульсии снизилась в 5 раз, эмульсии с сухим цельным молоком — в 7 раз, эмульсий с сухим обезжиренным молоком и сывороткой — в 6,5 раза. В контрольном образце эмульсии вязкость снизилась от $36,1 \pm 1,8$ Па·с до $7,0 \pm 0,4$ Па·с; в образце эмульсии с молоком сухим цельным —





от 162,6±8,1 Па·с до 22,0±1,1 Па·с; в образце эмульсии с молоком сухим обезжиренным — от 135,5±6,8 Па·с до 21,0±1,1 Па·с; в образце с сывороткой — от 108,4±5,4 Па·с до 17,1±0,9 Па·с. При увеличении скорости сдвига от 27 сек⁻¹ до 81 сек⁻¹ вязкость всех исследуемых эмульсий снизилась в среднем в 2 раза: для контрольного образца — с 2,4±0,1 Па·с до 1,2±0,1 Па·с; для образца с молоком цельным сухим — с 4,9±0,2 Па·с до 2,4±0,1 Па·с; с молоком сухим обезжиренным — с 4,8±0,2 Па·с до 2,3±0,1 Па·с; с сывороткой молочной сухой — с 3,8±0,2 Па·с до 1,9±0,1 Па·с. Свойство дисперсных систем к снижению показателей их эффективной вязкости при увеличении скорости сдвига объясняют ориентацией частиц в направлении течения под действием возрастающих сдвигающих сил, в то время как в неподвижной среде расположение частиц характеризуется значительной хаотичностью, обусловленной броуновским движением. С повышением скорости также уменьшается взаимодействие между частицами [35,36].

Известно, что важным свойством пенообразных структур является межфазная вязкость, действующая в межфазных областях дисперсии и способствующая стабильности пены посредством замедления скорости сближения пузырьков воздуха. Высокая межфазная вязкость в системе значительно замедляет процесс утоньшения и вытеснения пленок и, вероятно, создает вязкоупругий барьер для коалесценции [37,38]. Следовательно, можно предположить, что высокая вязкость пенообразной эмульсии с молоком цельным сухим

будет способствовать увеличению межфазной вязкости и, как следствие, придавать исследуемой системе большую устойчивость к разрушению вследствие изменений воздушной фазы.

С повышением концентрации растворенного вещества происходит увеличение вязкости среды, а также изменяется характер ее течения, что оказывает существенное влияние на технологические параметры обработки пищевых сред. Течение материалов зависит от его физико-химических особенностей: от формы и расположения молекул, концентрации полимера, температуры, массовой доли влаги. О течении материала можно судить по непрерывному и неограниченному увеличению его деформации под действием внешних сил [36].

Полученные в результате исследований экспериментальные значения скоростей сдвига и напряжений сдвига показали, что течение исследуемых образцов пенообразных эмульсий с достаточной величиной достоверности аппроксимации (R^2) может быть описано реологическим уравнением Гершеля–Балкли:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n; \text{ (функция вязкости } \eta_{\text{эф}} = \tau/\dot{\gamma} \text{)} \quad (4)$$

где τ_0 — предел текучести, Па; K — коэффициент консистенции; $\dot{\gamma}$ — градиент скорости, сек⁻¹; n — индекс течения по Гершелю–Балкли; $\eta_{\text{эф}}$ — эффективная вязкость.

Реологические уравнения течения для всех исследуемых пенообразных эмульсий представлены в Таблице 3.

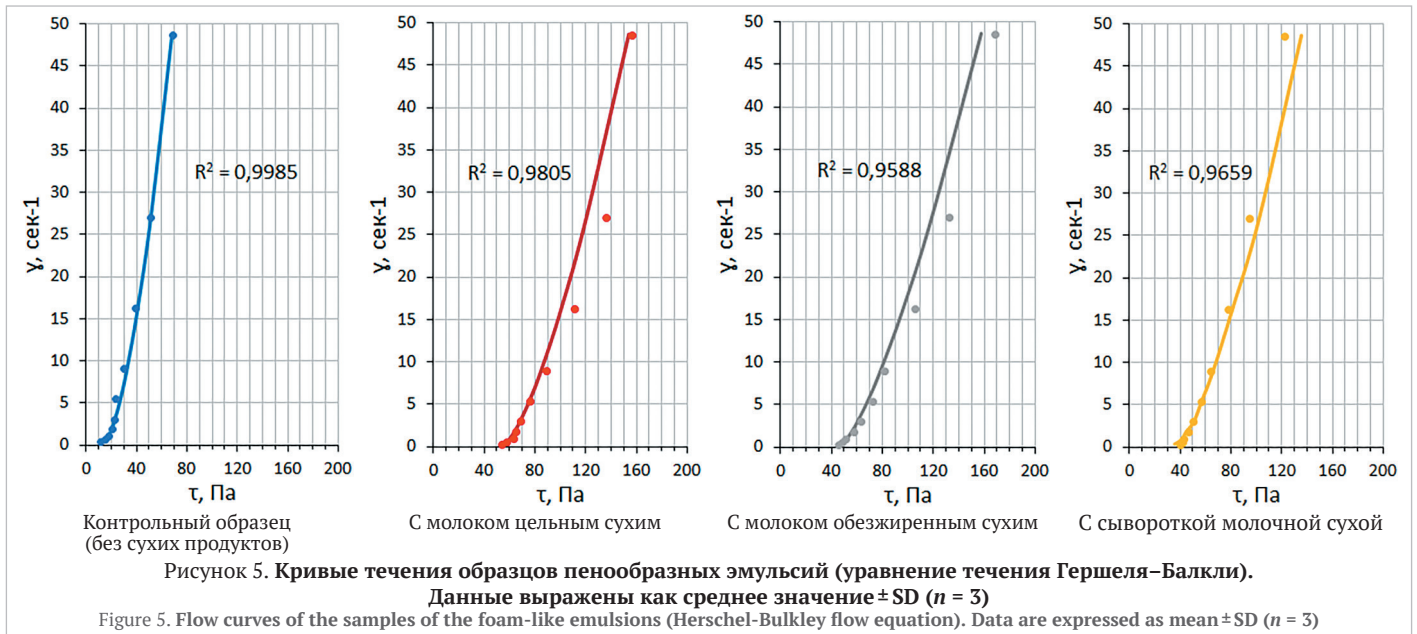


Таблица 3. Реологические уравнения течения пенообразных эмульсий

Table 3. Rheological equations of the flow of the foam-like emulsions

Образец эмульсии	τ , Па	R^2
Контроль	$\tau = 12,44 + 5,0769\gamma^{0,6171}$	0,9985
С сухим цельным молоком	$\tau = 54,53 + 6,7952\gamma^{0,6923}$	0,9805
С сухим обезжиренным молоком	$\tau = 45,42 + 6,7292\gamma^{0,7253}$	0,9588
С сухой молочной сывороткой	$\tau = 37,11 + 6,0298\gamma^{0,6825}$	0,9659

Структурная прочность эмульсий подтверждалась наличием двух критических значений предельного напряжения сдвига: условного статического и динамического пределов текучести, определенных по реологическим кривым течения (Рисунок 5).

Значения показателей критических напряжений сдвига зависели от вида используемого порошкообразного сырья. Наибольший статический предел текучести имел образец эмульсии с молоком цельным сухим ($54,5 \pm 2,7$ Па), что превышало величину данного показателя в контрольном образце ($12,4 \pm 0,6$ Па) в 4,5 раза. Далее в порядке убывания значений показателя следовали эмульсии: с молоком сухим обезжиренным ($45,4 \pm 2,3$ Па) > с сывороткой молочной сухой ($37,1 \pm 1,9$ Па). Наибольшим динамическим пределом текучести также характеризовался образец эмульсии с молоком цельным сухим ($67,6 \pm 3,4$ Па), что превышало величину данного показателя в контрольном образце ($22,4 \pm 1,1$ Па) в 3 раза. Далее в порядке убывания значений показателя следовали эмульсии: с молоком сухим обезжиренным ($63,1 \pm 3,2$ Па) > с сывороткой молочной сухой ($50,1 \pm 2,5$ Па).

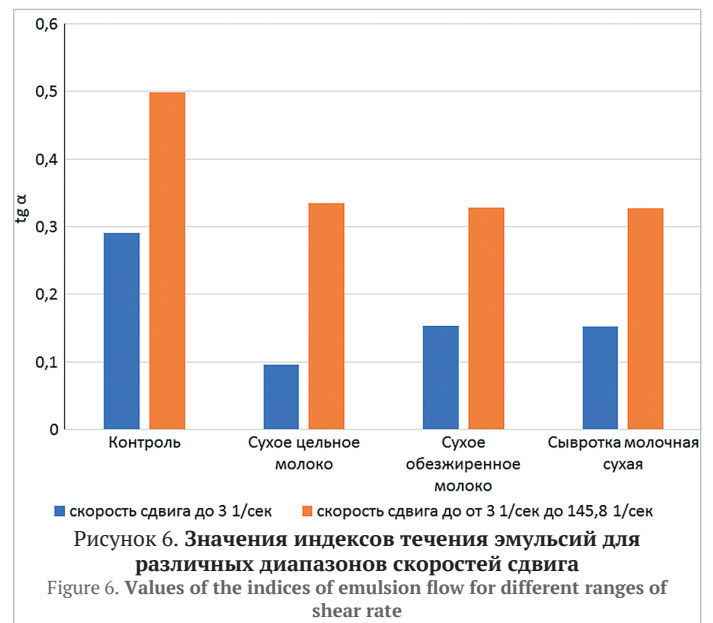
Сделан вывод, что введение исследуемого порошкообразного сырья приводило к изменению характера течения образцов пенообразных эмульсий. Происходило формирование систем с более прочными структурными свойствами, для перевода которых из области упругих в область пластических деформаций требовалось приложение больших механических воздействий, по сравнению с контрольным образцом. При этом необходимо отметить, что процесс обработки пенообразных масс следует вести при значениях ниже динамического предела текучести, обеспечивая сохранение структурной целостности обрабатываемых масс.

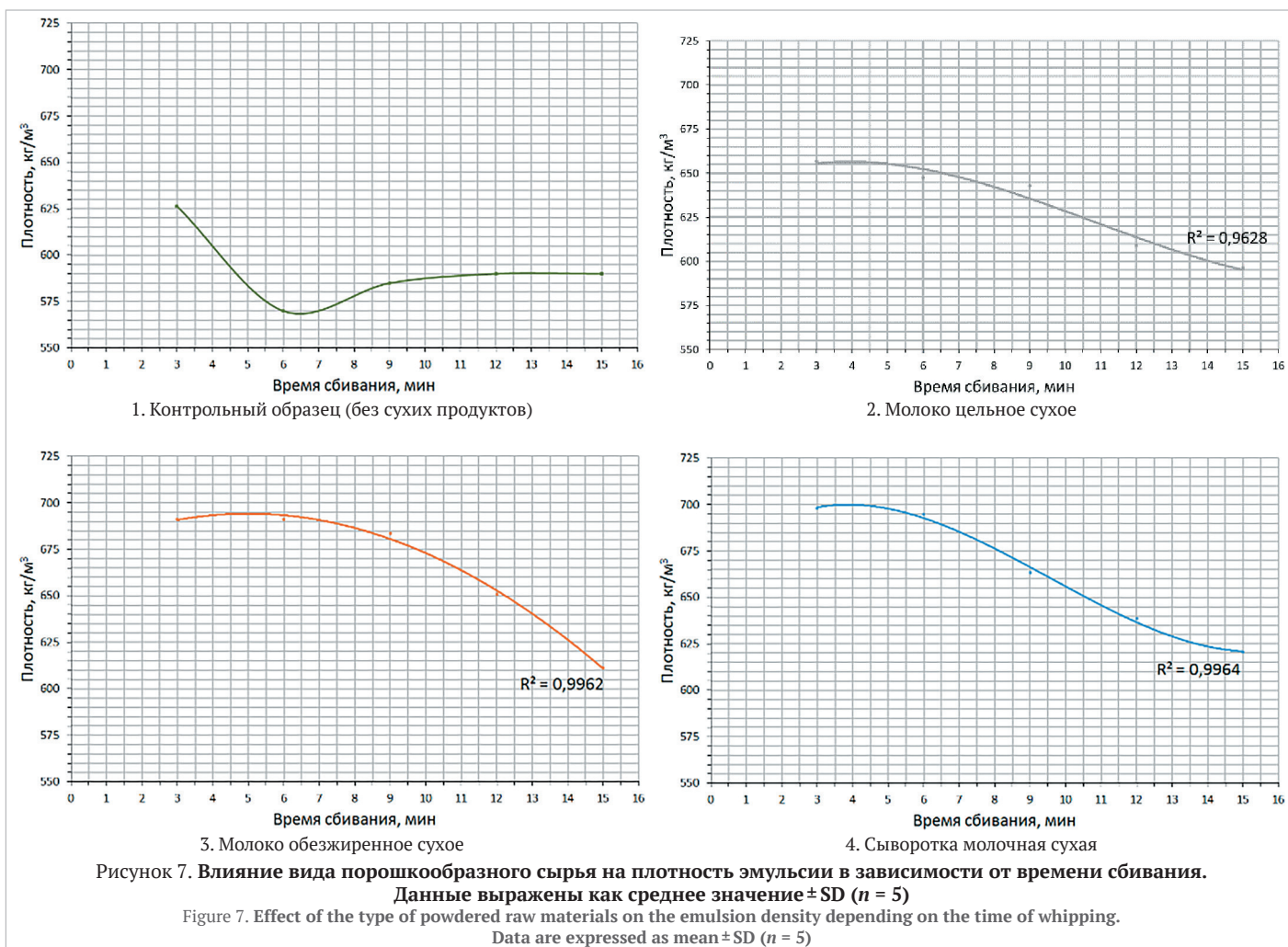
Для всех образцов эмульсий с порошкообразным сырьем кривые течения в логарифмических координатах аппроксимировались двумя прямыми в диапазонах скоростей сдвига: 0–3 сек⁻¹ и 3–145,8 сек⁻¹. Они имели разный тангенс угла наклона к оси абсцисс, характеризующий степень разжижения материала, которая выражается индексом течения (уровнем отклонения жидкости от ньютоновского течения). Полученные значения показателей для исследуемых сред представлены на Рисунке 6.

Тангенс угла наклона всех прямых был меньше в диапазоне низких скоростей сдвига, что отражает большее разрушение структуры систем в этой области. В области низких скоростей максимальное разжижение при сдвиге демонстрировал образец эмульсии с молоком цельным сухим; минимальным разжижением характеризовался контрольный образец.

Плотность является важным физическим параметром пищевых пен. В общей характеристике масс данного вида низкая плотность свидетельствует о высоком количественном содержании воздушной дисперсной фазы, захваченной и удержанной системой на стадии ее получения. В работе исследовано влияние вида сухих молочных продуктов и сухой сыворотки на плотность эмульсии в зависимости от времени сбивания. Результаты исследований представлены на Рисунке 7.

Установлено, что контрольный образец эмульсии отличался от исследуемых образцов с порошкообразными продуктами характером формирования структуры (Рисунок 7.1). На первой стадии сбивания (до 6-й минуты) в контрольной пенообразной массе происходило образование максимального количества воздушной фазы, сопровождающееся достижением минимального значения показателя ее плотности ($570 \pm 5,1$ кг/м³). Дальнейшее сбивание в интервале 6–9 минут приводило к некоторому повышению показателя плотности массы (до $590 \pm 5,3$ кг/м³), значение которого не изменялось до 15 минут сбивания. Известно, что стабильность дисперсных систем характеризуется способностью дисперсной фазы сохранять во времени постоянство дисперсности частиц и состояние равномерного распределения их во всем объеме дисперсионной среды. В случае с пенообразными структурами стабильность дисперсных систем также характеризуется постоянством количества дисперсной воздушной фазы. В связи с этим сделан вывод, что на первом этапе сбивания система в контрольном образце обладала неустойчивой структурой, в том числе вследствие недостаточно сформированных





межфазных слоев. В связи с этим при дальнейшем диспергировании и распределении воздушной фазы внутри системы происходила потеря ее части.

Процесс формирования пенообразной структуры эмульсии в образцах с порошкообразным сырьем происходил постепенно на протяжении всего процесса сбивания. Минимальное значение показателя плотности эмульсии во всех образцах достигалось в конце технологического процесса и составляло: для образца с сухим цельным молоком — $600 \pm 5,4$ кг/м³, для образца с сухим обезжиренным молоком — $610 \pm 5,5$ кг/м³, для образца с сухой молочной сывороткой — $620 \pm 5,6$ кг/м³. Повышение плотности в образцах эмульсии с сухим обезжиренным молоком и сухой молочной сывороткой может быть следствием высокого содержания лактозы, которая обладает высокой влагоудерживающей способностью и повышает стабильность пены за счет минимизации стекания жидкости и слипания воздушных пузырьков.

Несмотря на то, что показатели плотности эмульсий с порошкообразным сырьем были несколько выше этого показателя в контрольном образце (максимально на 5% в образце с сухой молочной сывороткой), можно сделать вывод, что на данной технологической стадии достигнуто максимальное приближение характеристик эмульсий с исследуемым сырьем к контрольному образцу.

4. Выводы

Сокращение количества добавленного сахара, жира в рационах питания является стратегически важным шагом для снижения риска алиментарно-зависимых заболеваний и повышения качества жизни населения Российской Федерации. В работе для снижения содержания добавленного сахара и жира в кексах показана возмож-

ность использования сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки. Направлением исследований являлось изучение качественных и реологических характеристик пенообразных эмульсий для кексов. Установлено влияние модификации состава на реологические показатели эмульсий, определяющие поведение пищевых масс при технологической обработке. Эффективная вязкость сред возрастала по сравнению с контрольным образцом, что обусловлено, в частности, новыми свойствами дисперсионной среды. Максимальное значение показателя демонстрировал образец с молоком сухим цельным. При этом все образцы пенообразных эмульсий, наряду с контрольным образцом, обладали низкой структурной прочностью и при приложении низких механических воздействий демонстрировали значительное разрушение, свойственное данному типу структур. Наблюдалось изменение характера течения исследуемых сред при введении указанного сырья вследствие формирования структур с новыми структурными свойствами. Установлено, что для описания характера течения эмульсий с высокой величиной достоверности аппроксимации может быть использовано реологическое уравнение Гершеля–Балкли. Показатели плотности у всех исследуемых эмульсий превышали значение контрольного образца незначительно, что является свидетельством получения новых пищевых систем с достаточным уровнем структурообразующей дисперсной воздушной фазы. Результаты исследований позволили установить, что использование сухих молочных продуктов и сухой молочной сыворотки в исследуемых количествах является одним из путей моделирования рецептурного состава кексов с учетом принципов здорового питания, а также обеспечивает формирование оптимальных характеристик пенообразных эмульсий, свойства которых лежат в основе качества готовых изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Gassner, L., Zechmeister-Koss, I., Reinsperger, I. (2022). National strategies for preventing and managing non-communicable diseases in selected countries. *Frontiers in Public Health*, 10, Article 838051. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.838051>
- Maffei, C., Olivieri, F., Valerio, G., Verduci, E., Licenziati, M. R., Calcaterra, V. et al. (2023). The treatment of obesity in children and adolescents: Consensus position statement of the Italian society of pediatric endocrinology and diabetology, Italian Society of Pediatrics and Italian Society of Pediatric Surgery. *Italian Journal of Pediatrics*, 49(1), Article 69. <https://doi.org/10.1186/s13052-023-01458-z>
- Мистенева, С. Ю. (2022). Продукты переработки цельного зерна и перспективы их использования при производстве мучных кондитерских изделий. *Пищевые системы*, 5(3), 249–260. [Misteneva, S. Yu. (2022). Products of whole grain processing and prospects of their use in production of flour confectionery. *Food Systems*, 5(3), 249–260. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-249-260>
- Ranasinghe, M., Stathopoulos, C., Sundarakani, B., Maqsood, S. (2024). Valorizing date seeds through ultrasonication to enhance quality attributes of dough and biscuit, Part-1: Effects on dough rheology and physical properties of biscuits. *Ultrasonics Sonochemistry*, 109, Article 107015. <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2024.107015>
- Marzec, A., Kowalska, J., Domian, E., Galus, S., Ciurzyńska, A., Kowalska, H. (2021). Characteristics of dough rheology and the structural, mechanical, and sensory properties of sponge cakes with sweeteners. *Molecules*, 26(21), Article 6638. <https://doi.org/10.3390/molecules26216638>
- Neji, C., Semwal, J., Máthé, E., Sipos, P. (2023). Dough rheological properties and macronutrient bioavailability of cereal products fortified through legume proteins. *Processes*, 11(2), Article 417. <https://doi.org/10.3390/pr11020417>
- Martínez-Padilla, L. P. (2025). Rheology of liquid foods under shear flow conditions: Recently used models. *Journal of Textures Studies*, 55(1), Article e12802. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12802>
- Sofou, S., Muliawan, E. B., Hatzikiriakos, S.G., Mitsoulis, E. (2008). Rheological characterization and constitutive modeling of bread dough. *Rheologica Acta*, 47, 369–381. <https://doi.org/10.1007/s00397-007-0248-x>
- RB-STR.RU (2021). Рынок кексов: развитие сладкого сегмента. Электронный ресурс: <https://rb-str.ru/politika/rynok-keksov-razvitiye-sladkogo-segmenta/?ysclid=lu9ff76xii714564013>. Дата обращения: 21.03.2025. [Muffins Market: Development of the Sweet Segment. (2021). Retrieved from <https://rb-str.ru/politika/rynok-keksov-razvitiye-sladkogo-segmenta/?ysclid=lu9ff76xii714564013>. Accessed March 21, 2025 (In Russian)]
- Koksel, F., Aritan, S., Anatolii Strybulevych, A., Page, J. H., Scanlon, M. G. (2016). The bubble size distribution and its evolution in non-yeasted wheat flour doughs investigated by synchrotron X-ray microtomography. *Food Research International*, 80, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.005>
- Schramm, L. (2014). Emulsions, Foams, Suspensions, and Aerosols. Microscience and Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co.KGaA, 2014. <https://doi.org/10.1002/9783527679478>
- Zhao, T., Zhang, X., Chen Y., Jing, L., Bao, Z. (2024). Study on the relationship between surface tension and dilational visco-elasticity with foam stability. *Journal of Surfactants and Detergents*, 28(3), 411–421. <https://doi.org/10.1002/jsde.12801>
- Csurka, T., Varga-Tóth, A., Kühn, D., Hitka, G., Badak-Kerti, K., Alpár, B. et al. (2022). Comparison of techno-functional and sensory properties of sponge cakes made with egg powder and different quality of powdered blood products for substituting egg allergen and developing functional food. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 979594. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.979594>
- Tadros, F. T. (2014). Formulation of disperse systems. Science and Technology. Wiley-VCH, 2014. <https://doi.org/10.1002/9783527678297>
- O'Sullivan, M. G. (2020). Salt, Fat and Sugar reduction. Sensory Approaches for Nutritional Reformulation of Foods and Beverages. Woodhead Publishing Ltd, 2020.
- Vassiliou, R., Viren, R. (2019). Reformulation as a Strategy for Developing Healthier Food Products. Challenges, Recent Developments and Future Prospects. Springer, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23621-2>
- Tadros, T. F. (2018). Formulation Science and Technology. Volume 4: Agrochemicals, Paints and Coatings and Food Colloids. Walter de Gruyter GmbH, 2018.
- O'Brien, R. (2008). Fats and oils. Formulating and processing for applications. CRC Press, 2008. <https://doi.org/10.1201/9781420061673>
- Rajah, K. K. (2014). Fats in food technology. Wiley Blackwell, 2014.
- Janssen, F., Wouters, A. G. B., Linclau, L., Waelkens, E., Derua, R., Dehairs, J. et al. (2020). The role of lipids in determining the air-water interfacial properties of wheat, rye, and oat dough liquor constituents. *Food Chemistry*, 319, Article 126565. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126565>
- Xiao, B., Liu, T., Wang D., Tang, L., Zhou, L., Gou, S. (2025). Another possible rationale for foam stability: The quantity and strength of hydrogen bonds at the gas-liquid interface. *The Journal of Physical Chemistry B*, 129(11), 3083–3093. <http://doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c08131>
- Ho, T. M., Tanzil, A., Bhandari, B. R., Bansal, N. (2023). Effect of surfactant type on foaming properties of milk. *Food Bioprocess Technology*, 16, 1781–1793. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03012-5>
- Xiong, X., Ho, M. T., Bhandari, B., Bansal, N. (2020). Foaming properties of milk protein dispersions at different protein content and casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, 109, Article 104758. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104758>
- Ho, T. M., Bhandari, B. R., Bansal, N. (2022). Functionality of bovine milk proteins and other factors in foaming properties of milk: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(17), 4800–4820. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1879002>
- Zhang, S., Cheng, J., Xie, Q., Jiang, S., Sun, Y. (2022). Foaming and physicochemical properties of commercial protein ingredients used for infant formula formulation. *Foods*, 11(22), Article 3710. <https://doi.org/10.3390/foods11223710>
- McSweeney, P. L., McNamara, J. P. (2022). Encyclopedia of dairy sciences. Third edition: Elsevier Inc., 2022.
- Ho, T. M., Xiong, X., Bhandari, B. R., Bansal, N. (2024). Foaming properties and foam structure of milk determined by its protein content and protein to fat ratio. *Food Bioprocess Technology*, 17, 4665–4678. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03407-y>
- Ramesh, C., Chandan, A. K. (2008). Dairy Processing and Quality Assurance. Wiley, 2008.
- Сборник ВНИИ кондитерской промышленности «Технологические инструкции по производству мучных кондитерских изделий». (1992). М. Астра-семь, 2009. [Collection of the All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry “Technological instructions on production of flour confectionery”. Moscow: Astra-sem’, 2009. (In Russian)]
- Swan, G. E., Powell, N. A., Knowles, B. L., Bush, M. T., Levy, L. B. (2018). A definition of free sugars for the UK. *Public Health Nutrition*, 21(9), 1636–1638. <https://doi.org/10.1017/S136898001800085X>
- WHO (World Health Organization) (2022). Sugars Factsheet. Retrieved from <https://cdn.who.int/media/docs/libraries/provider2/euro-health-topics/obesity/sugars-factsheet.pdf>. Accessed March 21, 2025
- Brooker, B. E. (1993). The stabilization of fir in cake batters – The role of fat. *Food Structure*, 12(3), Article 2.
- Ezerowa, D., Gochev, G., Platikanov, D. et al. (2019). Foam Films and Foams. Fundamentals and Applications: CRC Press, 2019. <https://doi.org/10.1201/9781351117746>
- Bashir, A., Haddad, A. S., Rafati R. (2022). An experimental investigation of dynamic viscosity of foam at different temperatures. *Chemical Engineering Science*, 248(Part B), Article 117262. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.117262>
- Bezelgues, J.-B., Serieye, S., Crosset-Perrotin, L., Leser, M. E. (2008). Interfacial and foaming properties of some food grade low molecular weight surfactants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 331(1–2), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.07.022>
- Hollenbach, R., Völpl, A. R., Höfert, L., Rudat, J., Ochsenreither, K., Willenbacher, N., Syldatk, C. (2020). Interfacial and foaming properties of tailor-made glycolipids – influence of the hydrophilic head group and functional groups in the hydrophobic tail. *Molecules*, 25(17), Article 3797. <https://doi.org/10.3390/molecules25173797>
- Moradpour, N., Yang, J., Tsai, P. A. (2024). Liquid foam: Fundamentals, rheology, and applications of foam displacement in porous structures. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 74, Article 101845. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2024.101845>
- Luo, H., Jia, Y., Lu, Y., Wen, J., Luo, Y., Wang, C. et al. (2025). Progress on emulsification, viscosity, phase inversion characteristics, and prediction methods of crude oil-water mixed system. *ACS Omega*, 10(42), 49321–49334. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c05760>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Мистенева Светлана Юрьевна — кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория мучных кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, 20 стр. 3
E-mail: s.misteneva@fncps.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1439-7972>

Критерии авторства

Автор самостоятельно подготовил рукопись и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR INFORMATION

Affiliation

Svetlana Yu. Misteneva, Candidate of Technical Science, Researcher, Laboratory of flour confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry 20/3, Elektrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia
E-mail: s.misteneva@fncps.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1439-7972>

Contribution

Author completely prepared the manuscript and is responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.