



Научная статья

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 637.142:532.13

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.014



РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛОЧНЫХ СИСТЕМ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ В АСПЕКТЕ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОГО ПЕНООБРАЗОВАНИЯ

Елена Евгеньевна Илларионова¹, Александр Геннадьевич Кручинин²,
Светлана Николаевна Туровская³, Алана Владиславовна Бигаева⁴

^{1, 2, 3, 4} ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»,
Москва, Россия

¹ e_illarionova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-9390-0984>

² a_kruchinin@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-3227-8133>

³ s_turovskaya@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-5875-9875>

⁴ a_bigaeva@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0001-8400-2465>

Аннотация. Производители концентрированных пищевых продуктов с промежуточной влажностью, вырабатываемых путем диспергирования сухих молочных компонентов в водной среде с последующим добавлением сахара, могут испытывать определенные трудности, связанные с нежелательным пенообразованием (взбитостью) системы. Эффект взбитости возникает вследствие интенсивной механической обработки молочных смесей с достаточно высоким содержанием белков, которые, являясь поверхностно-активными веществами, способствуют повышению эффективности пенообразования и стабилизации образовавшейся пены. При этом на границе раздела фаз воздух/вода интенсифицируются негативные микробиологические и окислительно-восстановительные процессы, а также существенно изменяются реологические характеристики продукта, создавая избыточную вязкость и усложняя работу технологического оборудования. Именно поэтому представляется актуальным получение новых данных о влиянии технологических и физико-химических факторов на степень пенообразования и изменение реологических характеристик в процессе диспергирования концентрированных молочных систем с промежуточной влажностью. В проводимом эксперименте была рассмотрена связь интенсивности механической обработки (частоты вращения ротора) с эффективностью пенообразования в обезжиренных молочных продуктах с промежуточной влажностью при диспергировании, а также последующее термокислотное воздействие на объекты исследования с различной степенью взбитости, изменяющее их реологические показатели. Анализ кинетики динамической вязкости систем с промежуточной влажностью с различной степенью взбитости в условиях совокупного термического воздействия и pH-сдвига в кислую сторону показал положительную корреляцию вязкоупругих свойств объектов исследования с повышением степени пенообразования и кислотности, что предположительно обусловлено влиянием увеличения относительных молекулярных масс белковых фракций в результате термокислотной коагуляции как фактора роста прочности межфазных пленок и устойчивости пенообразования.

Ключевые слова: молоко, продукты с промежуточной влажностью, пенообразование, вязкость, ротационная вискозиметрия.

Для цитирования: Реологические характеристики молочных систем с промежуточной влажностью в аспекте нежелательного пенообразования / Е. Е. Илларионова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 4. т. 1 С. 114–120. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.014. EDN: <https://elibrary.ru/FAMWEI>.

Original article

RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MILK SYSTEMS WITH AN INTERMEDIATE MOISTURE IN THE ASPECT OF UNWANTED FOAMING

Elena E. Illarionova¹, Aleksandr G. Kruchinin², Svetlana N. Turovskaya³,
Alana V. Bigaeva⁴

^{1,2,3,4} All-Russian Dairy Research Institute

¹ e_illarionova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-9390-0984>

² a_kruchinin@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-3227-8133>

³ s_turovskaya@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-5875-9875>

⁴ a_bigaeva@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0001-8400-2465>

Abstract. Producers of intermediate moisture concentrated food products, produced by dispersing dry milk components in the aquatic system with a following addition of sugar, may experience some difficulty with its unwanted foaming (overrunning). The overrunning effect occurs due to the intensive mechanical processing of milk mixtures with a sufficiently high content of proteins. Being surfactants, proteins help to increase the efficiency of foaming and stabilize the formed foam. At the same time, negative microbiological and redox processes are intensified at the air/water phase boundary, and the rheological characteristics of the product change significantly, creating excessive viscosity and complicating the operation of technological equipment. That is the reason why it is relevant to obtain new data on the influence of technological and physicochemical factors on the degree of foaming and changes in rheological characteristics in the process of dispersion of concentrated milk systems with intermediate moisture content. In the experiment, we considered the relationship between the intensity of mechanical processing (rotor speed) and the efficiency of foaming in skimmed dairy products with intermediate moisture during dispersion, as well as the subsequent thermal acid effect on objects of study with varying degrees of overrun, which changes their rheological parameters. An analysis of the systems dynamic viscosity kinetics with intermediate moisture content with varying degrees of overrun under conditions of cumulative thermal exposure and pH-shift to the acid side showed a positive correlation of the research objects' viscoelastic properties with an increase in the degree of foaming and acidity. It is presumably due to the influence of an increase in the relative molecular masses of protein fractions as a result of thermal acid coagulation as a factor in the growth of the interfacial films strength and foaming stability.

Keywords: milk, products with intermediate moisture, foaming, viscosity, rotational viscometry.

For citation: Illarionova, E. E., Kruchinin, A. V., Turovskaya, S. N. & Bigaeva, A.G. (2022). Rheological characteristics of milk systems with intermediate moisture in terms of undesirable foaming. *Polzunovskiy vestnik*, 4 (1), 114-120. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.014. EDN: <https://elibrary.ru/FAMWEI>.

ВВЕДЕНИЕ

Пенообразование представляет собой распространенное явление в производстве пищевых продуктов, когда присутствие поверхностно-активных веществ в их составе обуславливает тонкодисперсное распределение воздуха в системе и способствует стабилизации пены [1–6].

Как следует из практики молочной промышленности, при выработке консервированной молочной продукции появление пены относят к нежелательным эффектам, стиму-

лирующим протекание негативных микробиологических и окислительно-восстановительных процессов на границе раздела фаз. Кроме того, пенообразование, изменяя реологические характеристики пищевых систем, влияет на их органолептические, физико-химические показатели и усложняет работу технологического оборудования [7].

В наибольшей степени это относится к пищевым продуктам, представляющим собой концентрированные системы с промежуточной влажностью, получаемые путем диспергирования сухих молочных компонентов в водной среде, как, например, сгущенные (концентри-

рованы) консервы с сахаром на молочной основе. Технологический процесс их производства сопряжен с необходимостью интенсивного механического воздействия на этапе восстановления молочного сырья. При этом высокая доля азотистых веществ протеиновых фракций, являющихся поверхностно-активными веществами, создает предпосылки к устойчивому пенообразованию в подобных системах [8–10]. Учитывая значительное распространение и расширение ассортимента таких продуктов, представляется актуальным получение новых данных о влиянии технологических и физико-химических факторов в процессе диспергирования сухих молочных компонентов в водной среде на степень пенообразования и изменение реологических характеристик концентрированных молочных систем с промежуточной влажностью.

Цель проводимого эксперимента состояла в анализе влияния различных уровней пенообразования и рН-сдвига системы на изменение динамической вязкости в продуктах с промежуточной влажностью посредством контроля кинетики структурообразования методом динамической реологии.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использовали системы с промежуточной влажностью, составленные из сухого обезжиренного молока (СОМ), сахара и дистиллированной воды.

Таблица 1 – Расчетный физико-химический состав объектов исследования

Table 1 - Estimated physical and chemical composition of the objects of study

Массовая доля, %							
Сухих веществ	Жира	Протеинов			Лактозы	Сахарозы	Минеральных веществ
		Общего белка	Казеинов	Сывороточных белков			
70,00	0,15	9,20	7,20	1,90	13,50	45,00	2,15

Приведенный в таблице 1 расчетный физико-химический состав экспериментальных моделей соответствовал базовым показателям нежирных молочных продуктов с промежуточной влажностью, вырабатываемых путем диспергирования сухих молочных компонентов в водной среде с последующим добавлением сахара.

Технология формирования экспериментальных моделей состояла в следующем: воду в соответствии с рецептурой заливали в емкость, оснащенную диспергирующим устройством и термостатом, подогревали до температуры (40 ± 2) °С. Вносили рецептурное количество СОМ и диспергировали две минуты при одном из заданных режимов: частоте вращения ротора менее 200 об/мин (образец А), частоте вращения 500 об/мин (образец В) и частоте вращения 1000 об/мин (образец С) с последующей выдержкой в течение 15 минут при перемешивании для восстановления протеиновых фракций. Восстановленную молочную смесь подогревали до (80 ± 2) °С, добавляли сахар-песок в соответствии с рецептурой и продолжали нагрев до (90 ± 2) °С. В полученных продуктах с промежуточной влажностью производили контроль активной кислотности по ГОСТ 32892-2014 и степени пенообразования (взбитости) в соответствии с ГОСТ 31457-2012. Каждый экспериментальный образец разделяли по массе на 4 части, ранжируя их по величине активной кислотности путем рН-сдвига в кислую или щелочную сторону (с использованием концентрированной молочной кислоты или 1 н р-ра NaOH) от показателя 6,01 исходной контрольной пробы (К) с шагом 0,2 ед. рН для получения экспериментальных моделей с активной кислотностью 5,6/5,8/6,2 – образцы 1, 2 и 3 соответственно. Во всех экспериментальных моделях проводили анализ изменения реологических характеристик посредством контроля динамической вязкости (η , Па·с) в процессе охлаждения с использованием ротационного вискозиметра Brookfield с фиксированным внешним цилиндром и вращающимся измерительным стержнем (шпиндель S34). Перед началом измерения камеру прибора, оснащенную термодатчиком, с 10 мл анализируемой пробы помещали в закрепленный на приборе термостат при температуре $(80,0 \pm 2,0)$ °С и после выдержки в течение 5 мин для прогрева пробы начинали охлаждение системы со скоростью $(2,0 \pm 0,5)$ °С/мин. Одновременно запускали вращение шпинделя с минимальной постоянной скоростью 10 об/мин для фиксации показателей динамической вязкости с периодичностью 0,5 с до достижения температуры образца $(10,0 \pm 0,1)$ °С. Для каждой из проб проводили не менее трех повторных измерений. Аналогичную термическую обработку проводили для всех объектов исследования.

Во всех охлажденных образцах осуществляли контроль физико-химических показателей, а затем выдерживали при (10 ± 2) °С в течение 24 часов. По истечении этого периода вновь контролировали динамическую вязкость в заданном температурном режиме.

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛОЧНЫХ СИСТЕМ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ В АСПЕКТЕ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОГО ПЕНООБРАЗОВАНИЯ

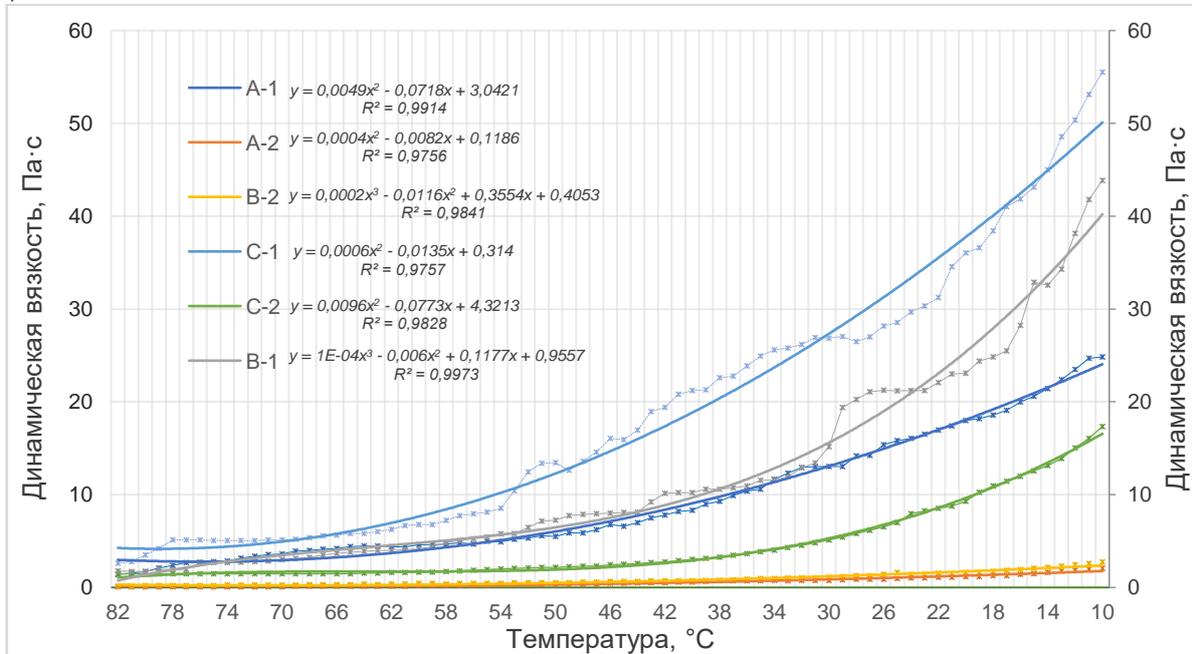
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее значимые для проводимого эксперимента результаты физико-химического контроля приведены в таблице 2.

На рисунке 1 представлены диаграммы

изменения показателя динамической вязкости (η , Па·с) объектов исследования в процессе охлаждения от $(80,0 \pm 2,0)$ °С до $(10,0 \pm 0,1)$ °С в диапазонах вязкости $(0 \div 60)$ Па·с (рисунок 1, А) и $(0 \div 3)$ Па·с (рисунок 1, Б).

А)



Б)

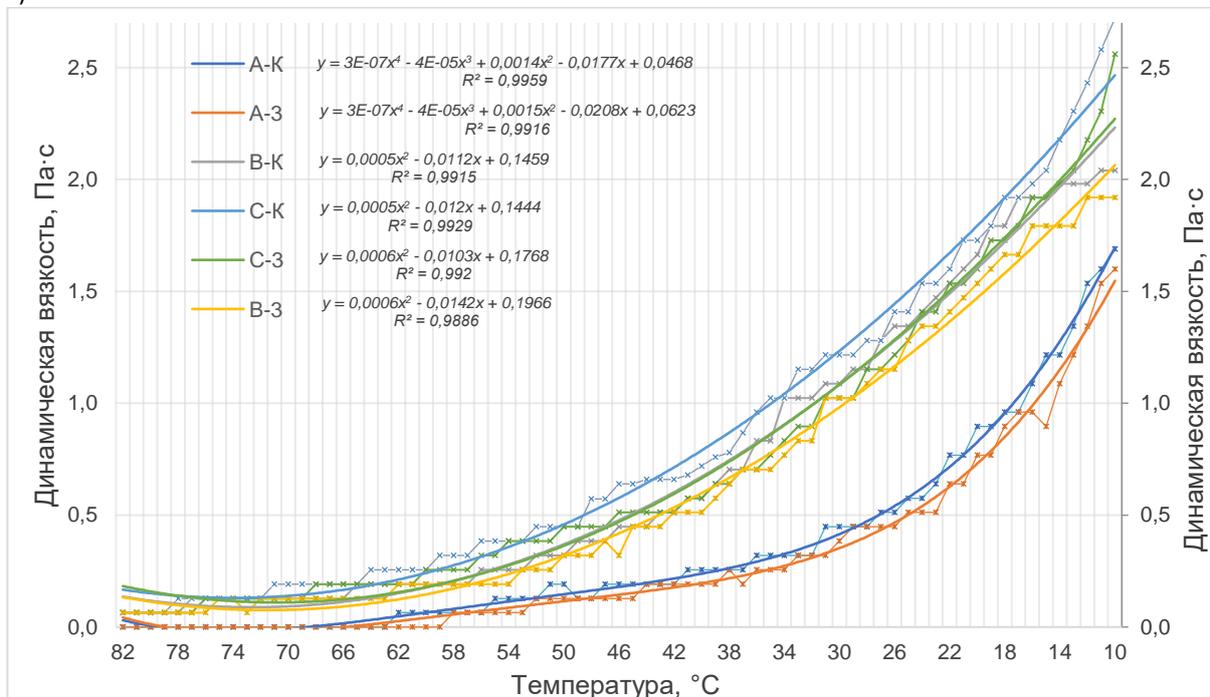


Рисунок 1 – Изменение динамической вязкости образцов при охлаждении: А – с pH-сдвигом в кислую сторону; В – с pH-сдвигом в щелочную сторону и контрольных

Figure 1 - Change in the dynamic viscosity of the samples during cooling: A - with a pH-shift to the acid side; B - with a pH-shift to the alkaline side and control

Таблица 2 – Физико-химические показатели объектов в процессе исследования

Table 2 - Physical and chemical parameters of objects in the process of research

Образец	Активная кислотность, рН		Титруемая кислотность, °Т		Взбитость свежесывороточного продукта, %	Массовая доля сухих веществ, %	Динамическая вязкость при (10,0±0,1) °С, Па·с	
	свежий	24 часа	свежий	24 часа			свежий	24 часа
Образцы, полученные при частоте вращения менее 200 об/мин								
A-1	5,60	5,59	60	62	< 10	69,8	24,83	7,40
A-2	5,80	5,77	48	52	< 10	69,9	2,05	1,40
A-K	6,01	5,99	42	44	< 10	70,1	1,69	1,12
A-3	6,20	6,18	39	40	< 10	70,0	1,60	1,02
Образцы, полученные при частоте вращения 500 об/мин								
B-1	5,60	5,54	60	66	30	69,9	43,84	8,51
B-2	5,80	5,74	48	54	30	69,9	2,75	2,11
B-K	6,01	5,98	43	45	30	70,1	2,04	1,88
B-3	6,20	6,18	40	41	30	70,0	1,92	1,68
Образцы, полученные при частоте вращения 1000 об/мин								
C-1	5,60	5,57	61	64	70	70,0	56,51	12,15
C-2	5,80	5,70	50	55	70	70,0	17,34	4,92
C-K	6,01	6,00	42	44	70	70,5	2,72	1,93
C-3	6,19	6,17	41	42	70	70,5	2,56	1,70

Полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии поверхностно-активных макромолекул молочных белков, адсорбирующихся на гидрофобных поверхностях границы раздела, на образование устойчивой пены при механическом воздействии с повышенными частотами вращения ротора на концентрированную молочную систему в процессе диспергирования – технологического фактора, приводящего к значительному увеличению взбитости проб. Степень пенообразования в экспериментальных моделях, полученных при 500 об/мин (B-1, B-2, B-K, B-3) и 1000 об/мин (C-1, C-2, C-K, C-3), превысила взбитость образцов, выработанных при частоте менее 200 об/мин (A-1, A-2, A-K, A-3) более чем в 3 и 7 раз соответственно.

Контроль кинетики изменения динамической вязкости во всех объектах исследования в процессе охлаждения продемонстрировал закономерную положительную корреляцию измеряемого параметра со степенью пенообразования. В пробах с наибольшей степенью пенообразования отмечены соответственно наиболее высокие значения динамической вязкости на всех этапах процесса охлаждения (рисунок 1). При (10,0±0,1) °С в свежесывороточных образцах B-K, B-3 и C-K, C-3 максимальная динамическая вязкость (η_{max}) превосходила аналогичный показатель образцов A-K, A-3 в 1,2 и 1,6 раз соответственно. Самые высокие значения данного показателя отмечены для экспериментальных моделей

B-1 и C-1, превышающих значения вязкости образца A-1 в 1,8 и 2,3 раза соответственно.

Оценка влияния дисперсионной среды на образование коллоидной фазы воздушных пузырьков подтвердила мощное совокупное воздействие термической обработки и сдвига рН объектов исследования в кислую сторону на показатель их динамической вязкости. Увеличение относительной молекулярной массы казеинов в результате термокислотной микроагуляции является фактором, значительно повышающим эффективность степени их участия в стабилизации пены за счет образования вязкоупругих пленок на поверхности пузырьков. Агрегация мицелл казеина увеличивает проявление их гидрофобности и в результате повышения адсорбции белков на границе воздух/вода способствует образованию более вязких межфазных пленок [2, 8].

Причем, чем ближе показатели активной кислотности объектов исследования находились к изоэлектрической точке, где при рН 4,6–4,8 межфазные пленки имеют максимальную стабильность, тем в большей степени проявлялись вязкоупругие свойства проб [1,9,10]. Так, η_{max} свежесывороточных образцов A-1, B-1, C-1 с рН 5,6 превысила η_{max} контрольных проб A-K, B-K, C-K в 15, 22 и 21 раз соответственно.

Сдвиг активной кислотности объектов исследования в щелочную сторону практически не повлиял на показатели динамической вязкости, выявив лишь незначительное её

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛОЧНЫХ СИСТЕМ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ В АСПЕКТЕ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОГО ПЕНООБРАЗОВАНИЯ

снижение в сравнении с контрольными образцами при аналогичных условиях температурного воздействия. В целом, все экспериментальные образцы проявили выраженную тенденцию возрастания вязкоупругих свойств при изменении pH в направлении повышения кислотности.

Измерение динамической вязкости объектов исследования после 24 часов выдержки при температуре $(10,0 \pm 0,1)$ °C выявило снижение этого показателя во всех пробах, вероятнее всего обусловленное частичной коалесценцией пены в процессе хранения, наиболее выраженной в образцах с самой высокой взбитостью [2, 9]. Значения динамической вязкости проб А-1, В-1, С-1, С-2 снизились в 3,4; 5,15; 4,7 и 3,5 раз соответственно. В остальных объектах исследования снижение показателей динамической вязкости было не столь значительным и составило от 10 % до 50 %. Тем не менее, в целом можно отметить явную тенденцию сохранения значительных вязкоупругих свойств в образцах с наибольшей взбитостью и повышенной кислотностью, свидетельствующую о совокупном влиянии пенообразования и термокислотной микрокоагуляции на консистенцию концентрированных молочных систем с промежуточной влажностью в процессе диспергирования и последующей термообработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам эксперимента подтверждено, что обезжиренные молочные системы с промежуточной влажностью, получаемые путем диспергирования сухих молочных продуктов в водной среде с последующим внесением сахара, способны к значительному устойчивому пенообразованию при высокоинтенсивном механическом воздействии в процессе диспергирования с температурой (40 ± 2) °C.

Анализ изменения динамической вязкости систем с промежуточной влажностью с различной степенью взбитости в условиях совокупного термического воздействия и pH-сдвига в кислую сторону показал значительное повышение вязкостных характеристик объектов исследования, предположительно обусловленное влиянием увеличения относительных молекулярных масс белковых фракций в результате термокислотной коагуляции, как фактора роста прочности межфазных пленок и устойчивости пенообразования.

Несмотря на частичную коалесценцию пены в процессе выдержки образцов, сохранилась корреляция реологических характери-

стик с величиной pH объектов исследования и исходной степенью взбитости, полученной при диспергировании сухих молочных продуктов.

Принимая во внимание, что важным аспектом получения качественных сгущенных (концентрированных) консервов с сахаром на молочной основе является управление нежелательным пенообразованием и регулирование избыточной вязкости, в процессе производства необходимо учитывать такие технологические и физико-химические факторы воздействия, как интенсивность механической обработки, неконтролируемое насыщение системы воздухом при диспергировании сухих молочных продуктов, а также кислотность молочной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modifying the structure, physicochemical properties, and foaming ability of amaranth protein by dual pH-shifting and ultrasound treatments / J.J. Figueroa-González [et al.] // *LWT*. – 2022. – Vol. 153. – Issue 1. – № 112561. – <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112561>.
2. Stability, temperature dependence and microstructure of high pressure jet-treated dairy foams / G.L. Voronin [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2021. – Vol. 116. – Issue 7. – № 106621. – <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106621>.
3. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products / A.G. Galstyan [et al.] // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. – 2019. – Vol. 89. – № 2. – P. 211–213. doi: 10.1134/S1019331619020059.
4. Золотарёв, Н.А., Федотова, О.Б., Агаркова Е.Ю. Аэрированный творожный эмульсионный продукт с гидролизатом сывороточных белков // *Молочная промышленность*. – 2018. – № 8. – С. 52–54. doi:10.31515/1019-8946-2018-8-52-54.
5. Агаркова, Е.Ю. Аэрированные продукты с производными белков молочной сыворотки // *Пищевая промышленность*. – 2022. – № 3. – С. 24–27.
6. Агаркова, Е.Ю., Чиликин, А.Ю. Особенности технологии молочных продуктов, обогащенных сывороточными белками // *Молочная промышленность*. – 2021. – № 3. – С. 49–51. doi:10.31515/1019-8946-2021-03-49-51.
7. Галстян, А.Г., Радаева, И.А., Хуршудян, С.А., Туровская, С.Н., Семипятный, В.К., Илларионова, Е.Е. Закономерности формирования вязкости сгущенного обезжиренного молока с сахаром от параметров тепловой обработки // *Пищевые системы*. – 2018. – Том 1. – № 1. – С. 13–18. doi:10.21323/2618-9771-2018-1-1-13-18.
8. Foaming properties of milk protein dispersions at different protein content and casein to whey protein ratios / X. Xiong [et al.] // *International Dairy Journal*. 2020. – Vol. 109. – Issue 10. – № 104758. doi:10.1016/j.idairyj.2020.104758.

9. Interfacial properties, film dynamics and bulk rheology: A multi-scale approach to dairy protein foams / A. Audebert [et al.] // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2019. – Vol. 542. – Issue 4. – P. 222–232. doi:10.1016/j.jcis.2019.02.006.

10. Просеков, А.Ю. Теория и практика формирования молочных пенообразных систем : монография / А.Ю. Просеков, Т.Л. Остроумова. – Москва: 2005. – 216 с. ISBN5-85941-239-8.

Информация об авторах

Е. Е. Илларионова – кандидат технических наук, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

А. Г. Кручинин – кандидат технических наук, кандидат технических наук, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

С. Н. Туровская – кандидат технических наук, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

А. В. Бигаева – кандидат технических наук, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», тел: +7(499)236-0-236.

REFERENCES

1. Figueroa-González, J.J., Lobato-Calleros, C., Vernon-Carter, E.J., Aguirre-Mandujano, E., Alvarez-Ramirez, J., Martínez-Velasco, A. (2022). Modifying the structure, physicochemical properties, and foaming ability of amaranth protein by dual pH-shifting and ultrasound treatments. *LWT*. 153 (1). № 112561. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112561>.

2. Voronin, G.L., Coupland, J., Harte, F. (2021). Stability, temperature dependence, and microstructure of high pressure jet-treated dairy foams. *Food Hydrocolloids*. 116 (7). № 106621. doi:10.1016/j.foodhyd.2021.106621.

3. Galstyan, A.G., Aksenova, L.M., Lisitsyn, A.B., Oganesyants, L.A. & Petrov, A.N. (2019). Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products. *Herald of the Russian Academy*

of Sciences, 89 (2), 211–213. doi: 10.1134/S1019331619020059.

4. Zolotarev, N.A., Fedotova, O.B., Agarkova, E.Yu. (2018). Development of the technology of the aerated curds product with whey proteins hydrolysate // *Dairy Industry*, (8), 52-54. (In Russ.). doi:10.31515/1019-8946-2018-8-52-54.

5. Agarkova, E.Yu. (2022). Aerated product with whey protein derivatives. *Food industry*, (3), 24-27. (In Russ.). doi:10.52653/PPI.2022.3.3.006.

6. Agarkova, E.Yu. & Chilikin, A.Yu. (2021). Features of the technology of dairy products enriched with whey proteins. *Dairy industry*, (3), 49–51. (In Russ.). doi: 10.31515/1019-8946-2021-03-49-51.

7. Galstyan, A.G., Radaeva I.A., Khurshudyan, S.A., Turovskaya, S.N., Semipyatny, V.K., Illarionova, E.E. (2018). Regularities of viscosity formation of condensed fat-free milk with sugar from heat treatment parameters. *Food systems*, 1(1), 13-18. (In Russ.). doi: 10.21323/2618-9771-2018-1-1-13-18.

8. Xiong, X., Thao, Ho.M., 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 (10). 104758. doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104758.

9. Audebert, A., Saint-Jalmes, A., Beaufiles, S., Lechevalier, V., Le Floch-Fouéré, C., Cox, S., Leconte, N., Pezennec, S. (2019). Interfacial properties, film dynamics and bulk rheology: A multi-scale approach to dairy protein foams. *Journal of Colloid and Interface Science*. 542 (4). 222-232. doi: 10.1016/j.jcis.2019.02.006.

10. Prosekov, A.Yu., Ostroumova, T.L., (2005). Theory and practice of the formation of milk foam systems: monograph. ISBN: 5-85941-239-8. (In Russ.).

Information about the authors

E. E. Illarionova - Candidate of Technical Sciences, All-Russian Research Institute of Dairy Industry.

A. G. Kruchinin - Candidate of Technical Sciences, Candidate of Technical Sciences, All-Russian Research Institute of Dairy Industry.

S. N. Turovskaya - Candidate of Technical Sciences, All-Russian Research Institute.

A. V. Bigaeva - Candidate of Technical Sciences, All-Russian Scientific Research Institute of Dairy Industry.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 10.08.2022; одобрена после рецензирования 24.09.2022; принята к публикации 03.10.2022.

The article was received by the editorial board on 10 Aug 2022; approved after editing on 24 Sep 2022; accepted for publication on 03 Oct 2022.