

Современная наука и инновации.
2023. № 2(42). С. 102-113
Modern Science and Innovations.
2023; 2(42):102-113

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ
ПРОДУКТОВ /
TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS

Научная статья / Original article

УДК 637.143.6

DOI: 10.37493/2307-910X.2023.2.10

Динара Александровна Салманова

[Dinara A. Salmanova]¹

Андрей Александрович Брацихин

[Andrey A. Bratsikhin]²

Иван Алексеевич Евдокимов

[Ivan A. Evdokimov]¹

Анастасия Александровна Блинова

[Anastasiya A. Blinova]¹

**Исследование стабильности молочных систем,
восстановленных с использованием
кавитационной дезинтеграции**

**Investigation of the stability of dairy systems,
rehydrated using cavitation disintegration**

¹Северо-Кавказский Федеральный Университет, г. Ставрополь, Россия /
North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia, salmanova.dinara@yandex.ru

²Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия /
Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia, salmanova.dinara@yandex.ru

Аннотация. Одно из основных требований к восстановленной молочной системе заключается в ее стабильности на протяжении всего срока хранения. У образцов молочных систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка», восстановленных с использованием кавитационной дезинтеграции, исследовали значения дзета-потенциала частиц дисперсной фазы, а также среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина с целью изучить влияние режимов обработки ультразвуком, а также процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой в растворе и их влияние на стабильность полученной системы.

Ключевые слова: Молочная система, дзета-потенциал, средний гидродинамический радиус мицелл казеина, кавитационная дезинтеграция, стабильность

Для цитирования: Салманова Д. А., Брацихин А. А., Евдокимов И. А., Блинова А. А. Исследование стабильности молочных систем, восстановленных с использованием кавитационной дезинтеграции // Современная наука и инновации. 2023. №2 (42). С. 102-113. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.2.10>

Abstract. One of the main requirements for a rehydrated dairy system is stability throughout the entire shelf life. In samples of dairy systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» rehydrated using cavitation disintegration, the values of the zeta potential of dispersed phase particles, as well as the average hydrodynamic radius of casein micelles were studied in order to study the effect of ultrasound treatment modes, as well as the percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey in solution and their influence on the stability of the resulting system.

Key words: Rehydrated milk system, zeta-potential, average hydrodynamic radius of casein micelles, cavitation disintegration, stability

For citation: Salmanova D. A., Bratsikhin A. A., Evdokimov I. A., Blinova A. A. Investigation of the stability of dairy systems, rehydrated using cavitation disintegration. *Modern Science and Innovations*. 2023;2(42):102-113. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.2.10>

Введение. Стабильность коллоидного раствора обеспечивается наличием электрического заряда на поверхности коллоидно-дисперсных частиц и гидратных оболочек вокруг частиц.

Различают два основных вида устойчивости коллоидных систем:

- агрегативная (кинематическая) – против укрупнения частиц;
- седиментационная – против оседания.

Устойчивость связана с действием двух факторов:

- структурно-механического фактора (различные оболочки: диффузный слой, гидратная оболочка);
- ионно-электростатического фактора (наличие у каждой коллоидной частицы определённого заряда того же знака, что и у других частиц).

Электростатический потенциал двойного электрического слоя, окружающий наночастицу в растворе, называется дзета-потенциалом и является мерой устойчивости коллоидных систем и белков [1–3].

Дзета-потенциал описывает величину заряда, присутствующего на коллоидной частице, и определяется как заряд частицы в «плоскости сдвига». Эта плоскость представляет собой теоретическое положение вне коллоида (за Штерновским и диффузным слоями, так называемый «двойной слой»), где частица свободно взаимодействует с окружающей ее средой. Частицы с высоким дзета-потенциалом самостабилизируются, поскольку их заряд препятствует слипанию, повышает стабильность и устойчивость к агрегации. При низком дзета-потенциале, притяжение превышает отталкивание, и происходит нарушение устойчивости дисперсии, так коллоиды с низким значением дзета-потенциала склонны к коагуляции или флокуляции [4, 5]. Экспериментально установлено, что порогу коагуляции соответствует некоторое критическое значение дзета-потенциала в 30 мВ [6].

Целью данного исследования является изучение стабильности восстановленных кавитационной дезинтеграцией молочных систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» посредством измерения дзета-потенциала частиц дисперсной фазы, а также среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина восстановленных растворов.

Материалы и методы, используемое оборудование. Для ультразвуковой обработки путем кавитационной дезинтеграции растворов использовали лабораторный ультразвуковой гомогенизатор Hilscher UP – 400S («Hilscher» Germany) (400 Вт, 24 кГц).

Измерение дзета-потенциала (ζ) проводили с использованием совмещенного акустического и электроакустического спектрометра Dispersion DT-1202 (Dispersion Technology, Inc., США). Измерения проводили в соответствии с ISO 13099-1-2012.

Измерение среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина проводили методом фотонно-корреляционной спектроскопии при помощи многофункционального спектрометра динамического и статического рассеяния света «Photocor Complex» (производство ООО «Антекс-97», Россия). Измерения проводили в соответствии с ГОСТ Р 8.774.

Результаты и обсуждение. Восстановленные путем кавитационной дезинтеграцией образцы были получены соответственно построенной матрице математического планирования эксперимента [7], представленной в таблице 1, где в качестве варьируемых параметров использовали:

- амплитуду механических колебаний по шкале прибора Hilscher UP – 400S (А, %),
- время обработки раствора ультразвуком (t, с),
- процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой (С, %).

Значение дзета-потенциала частиц дисперсной фазы восстановленных образцов молочной системы «сухое обезжиренное молоко – сухая молочная деминерализованная сыворотка» измеряли в течение 26 суток. Продолжительность наблюдения определялась окончанием процесса коагуляции казеина во всех исследуемых образцах. Для проведения измерений использовали совмещенный акустический и электроакустический спектрометр Dispersion DT-1202 [8 – 11]. Полученные данные представлены в таблице 2, и на рисунках 1 – 9.

Таблица 1 – Матрица математического планирования эксперимента
Table 1 – Matrix of mathematical planning of the experiment

№ точки	A, %	t, c	C, %
1	20	10	10
2	20	50	50
3	20	90	90
4	60	10	50
5	60	50	90
6	60	90	10
7	100	10	90
8	100	50	10
9	100	90	50

Таблица 2 – Значения дзета-потенциала частиц дисперсной фазы систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка», мВ

Table 2 – Values of the zeta potential of particles of the dispersed phase of the systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder», mV

№ образца	Время экспозиции, сутки										
	0	1	2	4	6	8	12	18	22	24	26
1	-11,59	-11,64	-11,54	-11,45	-11,24	-11,12	-11,07	-10,97	-9,98	-0,98	-1,02
2	-32,93	-32,21	-31,73	-31,14	-30,61	-29,61	-29,1	-28,1	-26,49	-1,49	-1,44
3	-74,04	-73,6	-73,23	-73,05	-72,55	-71,45	-70,58	-68,28	-1,25	-1,08	-1,1
4	-34,17	-34,06	-33,91	-33,28	-32,92	-32,84	-31,14	-30,3	-25,85	-1,85	-1,79
5	-83,85	-81,8	-80,38	-79,2	-79,1	-78,45	-75,23	-70,92	-1,2	-1,08	-1,12
6	-9,64	-9,72	-9,64	-9,42	-9,35	-8,78	-9,11	-9,76	-8,94	-0,94	-1,02
7	-78,83	-77,92	-76,12	-72,45	-70,31	-67,21	-61,42	-2,1	-1,4	-1,28	-1,34
8	-9,21	-9,12	-9,04	-8,92	-8,84	-8,78	-8,11	-7,76	-1,05	-0,87	-0,98
9	-38,43	-38,26	-38,5	-36,02	-37,78	-35,84	-34,67	-34,51	-1,06	-1,24	-1,15

В ходе анализа полученных экспериментальных данных было установлено, что значение дзета-потенциала изменяется в зависимости от процента замены в растворе сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой. При 10 % замещения (образцы № 1, № 6 и № 8) значение дзета-потенциала не превышает - 15 мВ. Дзета-потенциал увеличивается по модулю с увеличением процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой более 50 %. В данном случае значения дзета-потенциала находятся в диапазоне от -32,93 мВ (образец № 2) до -38,43 мВ (образец № 9). При замене 90 % сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой значение дзета-потенциала находится в диапазоне от -74,04 мВ (образец № 3) до -83,85 мВ (образец № 5). Данный показатель

приближен к полученному в рамках эксперимента значению дзета-потенциала сыворотки (дзета-потенциал = -100,49 мВ).

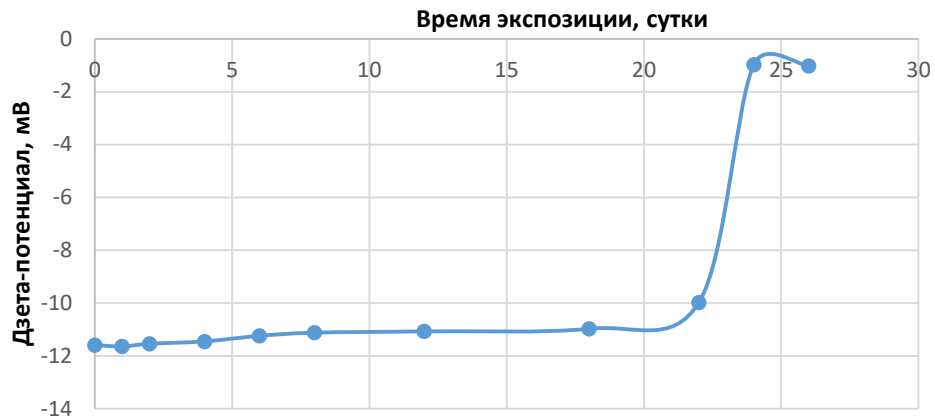


Рисунок 1 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 1
Figure 1 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 1

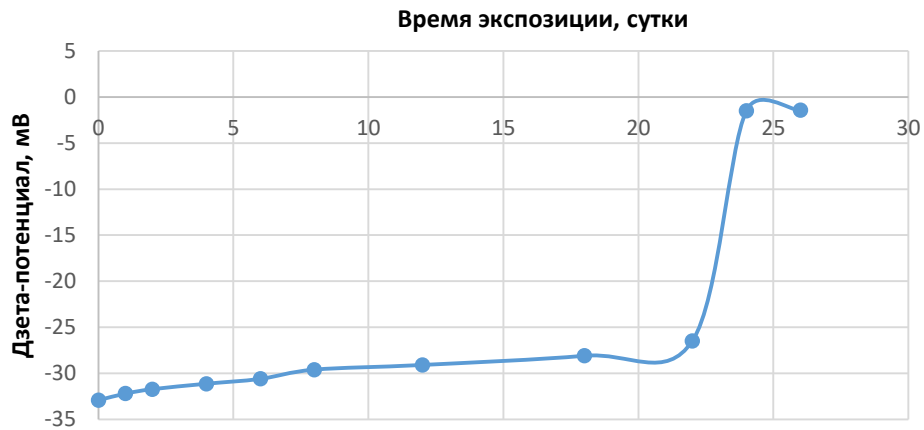


Рисунок 2 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 2
Figure 2 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 2



Рисунок 3 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 3
Figure 3 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 3

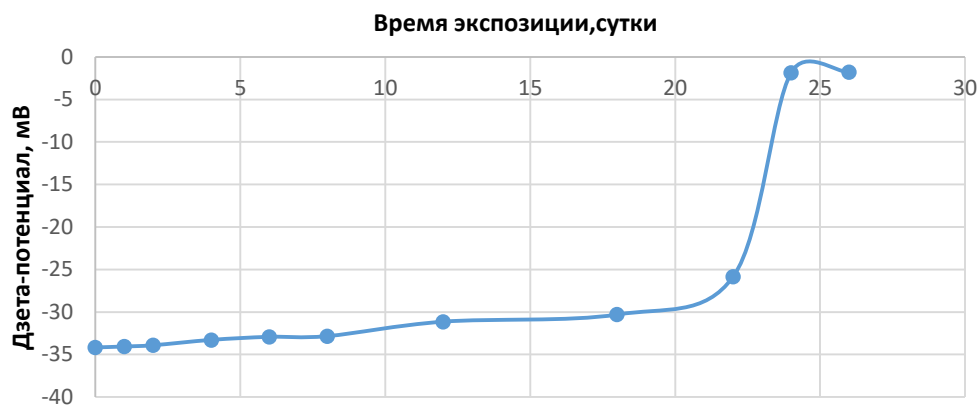


Рисунок 4 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 4
Figure 4 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 4



Рисунок 5 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 5
Figure 5 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 5

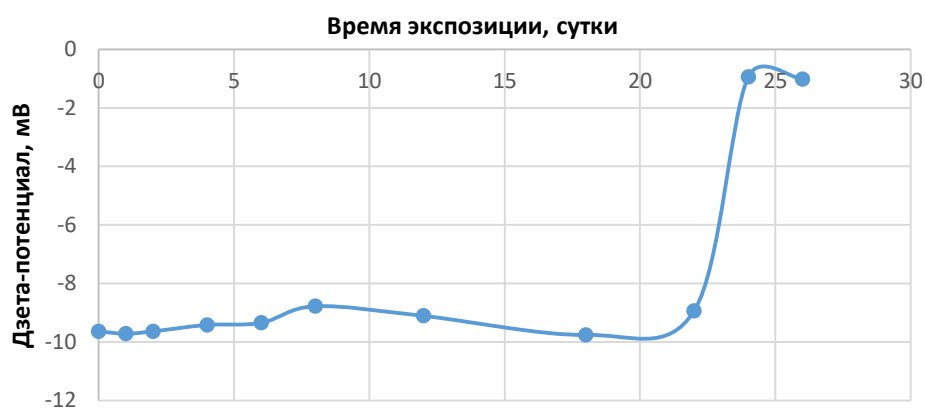


Рисунок 6 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 6
Figure 6 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 6



Рисунок 7 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 7
Figure 7 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 7



Рисунок 8 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 8
Figure 8 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 8



Рисунок 9 – Зависимость дзета-потенциала от времени экспозиции образца № 9
Figure 9 – Dependence of the zeta potential on the exposure time of sample № 9

Зависимость дзета-потенциала частиц дисперсной фазы систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» от времени ($d\zeta/dt$) можно разделить на два участка. На первом участке не происходит значительных изменений дзета-потенциала. Второй участок характеризуется «стремительным» уменьшением значения дзета-потенциала по модулю. Это происходит по причине коагуляции и последующей седиментации частиц дисперсной фазы систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка». Для графика, представленного на рисунке 9, уменьшение значения дзета-потенциала по модулю происходит на 24 сутки.

Для последующего построения математической модели зависимости стабильности восстановленных молочных систем от параметров обработки и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой в растворе, необходимо определить значение производной дзета-потенциала по времени $d\zeta/dt$. Значение $d\zeta/dt$ определяли, как тангенс угла наклона α зависимости $\zeta = f(t)$ (рисунок 9). Полученные значения производной представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения $d\zeta/dt$ частиц дисперсной фазы систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка»

Table 3 – Values of $d\zeta/dt$ particles of the dispersed phase of the systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder»

№ образца	A, %	t, c	%	α	$d\zeta/dt$
1	20	10	10	77	4,32
2	20	50	50	73	3,26
3	20	90	90	69	2,60
4	60	10	50	74	3,48
5	60	50	90	65	2,14
6	60	90	10	80	5,65
7	100	10	90	44	0,96
8	100	50	10	61	1,80
9	100	90	50	64	2,05

При помощи программного комплекса Statistica 10.0 получены тернарная поверхность и изолинии ее сечения для величины стабильности восстановленных молочных систем [12]. Полученная тернарная поверхность и изолинии сечения представлены на рисунке 10.

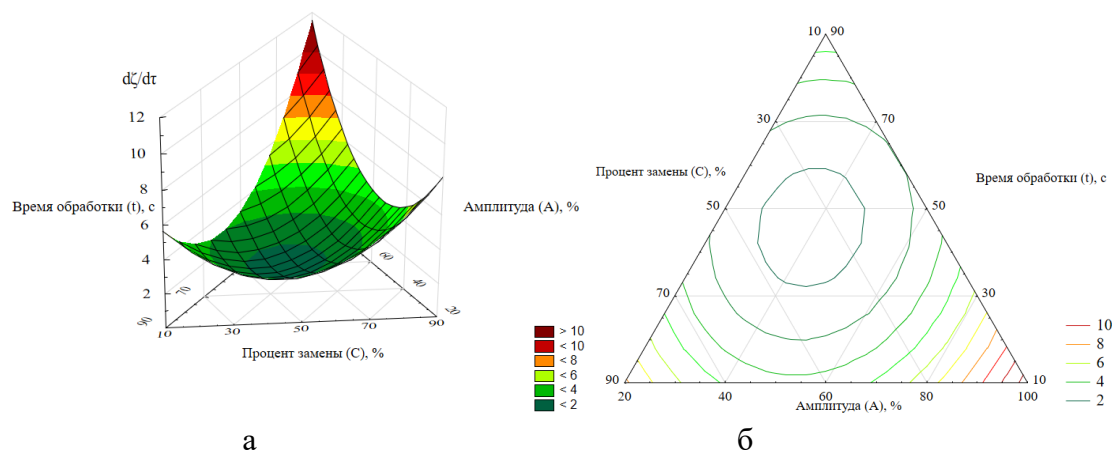


Рисунок 10 – Зависимость стабильности восстановленных систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» от амплитуды, времени обработки ультразвуком и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой:

а – тернарная поверхность, б – изолинии сечения тернарной поверхности

Figure 10 – Dependence of the stability of the restored systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» on the amplitude, time of ultrasound treatment and the percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey: а – ternary surface, б – isolines of the section of the ternary surface

По итогам анализа полученных данных установлено, что зависимость дзета-потенциала по времени от амплитуды механических колебаний и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой в растворе $d\zeta/dt = f(A, C, t)$ имеет следующий вид:

$$d\zeta/dt = 8,1793 \cdot A + 11,5396 \cdot t + 5,6565 \cdot C - 22,0298 \cdot A \cdot t - 16,938 \cdot A \cdot C - 20,8326 \cdot C \cdot t$$

Установлено, что восстановленные растворы с оптимальными значениями дзета-потенциала формируются при следующих режимах обработки ультразвуком: амплитуда механических колебаний – от 20 до 50 %, время воздействия ультразвука – от 40 до 60 секунд. Также установлено, что оптимальный процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой для получения стабильного восстановленного раствора составляет от 20 % до 50%.

У полученных в рамках многофакторного эксперимента образцов также исследовали значение среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина R (нм) [13 – 15]. Измерения проводили в течение 26 суток, также, как и в предыдущем исследовании. Данный период наблюдения определялся этапом завершения коагуляции казеина в растворах и был направлен на изучение изменения размера среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина в восстановленном растворе до и после коагуляции. Полученные в ходе исследования данные представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина, нм.

Table 4 – Values of the average hydrodynamic radius of casein micelles, nm.

№ образца	Время экспозиции, сутки									
	1	2	4	6	8	12	18	22	24	26
1	22,4	41,02	44,64	43,32	42,41	41,02	81,83	22,82	22,82	20,82
2	22,4	75,12	81,73	79,24	77,1	75,12	81,86	76,53	76,53	74,53
3	137,6	137,6	274,1	234,24	172,02	137,6	274,5	256,7	2033,681	2033,681
4	41,02	41,02	137,6	67,2	67,2	41,02	81,84	253,7	228,7	228,7
5	137,6	251,9	251,9	212,32	251,9	251,9	274,5	256,7	4307,076	4310,8
6	22,4	41,02	41,02	41,02	41,02	41,02	81,86	40,43	37,24	37,24
7	137,6	251,9	251,9	251,9	251,9	251,9	274,6	454,7	454,7	470,9
8	22,4	41,02	41,02	40,52	37,25	41,02	44,67	8585,5	8585,5	8600,1
9	22,4	41,02	75,12	85,34	112,01	137,6	2884,019	2793	2793	2801
молоко	22,4	75,12	81,75	65,02	65,02	41,02	81,87	22,82	20,33	20,33
сыворотка	251,9	251,9	274,2	251,9	251,9	251,9	274,5	140,2	124,9	120,1

Получены тернарная поверхности и изолинии сечения для величины среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина в восстановленных системах (рисунок 11).

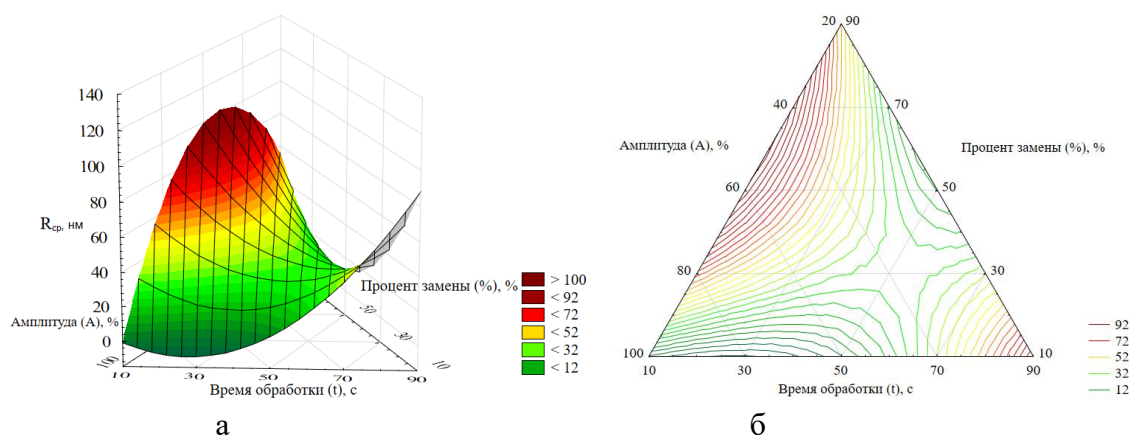


Рисунок 11 – Зависимость среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина восстановленных систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» от амплитуды, времени обработки ультразвуком и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой:

а – тернарная поверхность, б – изолинии сечения тернарной поверхности

Figure 11 – Dependence of the average hydrodynamic radius of casein micelles of the reduced systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» on the amplitude, time of ultrasound treatment and percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey:

а – ternary surface, б – isolines of the ternary surface section

Зависимость среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина от параметров обработки и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой в растворе $R = f(A, C, t)$ описывается следующим математическим уравнением:

$$R = 0,8956 \cdot A + 88,2633 \cdot t + 55,9224 \cdot C - 159,6374 \cdot A \cdot t + 286,7068 \cdot A \cdot C - 241,0704 \cdot t \cdot C$$

Установлено, что значения среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина для образцов, полученных в пределах, обеспечивающих получение стабильного восстановленного раствора, не превышает 110 нм.

Заключение. Данное исследование является продолжением изучения влияния параметров ультразвуковой обработки и процента замены в восстанавливаемых растворах сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой на процесс восстановления сухих молочных систем. На предыдущем этапе изучено влияние параметров кавитационной дезинтеграции и процента замены в восстанавливаемых растворах процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой на формирование физико-химических и реологических свойств восстанавливаемых растворов.

В результате проведенного исследования установлено, что стабильные растворы формируется при следующих режимах обработки ультразвуком: амплитуда механических колебаний – от 20 до 50 %, время воздействия ультразвука – от 40 до 60 секунд, процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой составил – от 20 % до 50%. Также установлено, что значения среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина для образцов, полученных в пределах, обеспечивающих стабильный раствор, не превышает 110 нм. Таким образом формируется стабильная восстановленная молочная система.

Полученные в ходе данного исследования параметры амплитуды механических колебаний, времени обработки ультразвуком и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой согласуются с оптимальными параметрами восстановления растворов кавитационной дезинтеграцией, при которых формируются их технологически приемлемые физико-химические и реологические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lunardi C. N., Gomes A. J., Rocha F. S., De Tommaso J., Patience G. S. Experimental methods in chemical engineering: Zeta potential // *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2021. Vol. 99, No. 3. P. 627-639.
2. Biriukov D., Fibich P., Předota M. Zeta potential determination from molecular simulations // *The Journal of Physical Chemistry*. 2020. Vol. 124, No. 5. P. 3159-3170.
3. Kamble S., Agrawal S., Cherumukkil S., Sharma V., Jasra R. V., Munshi P. Revisiting zeta potential, the key feature of interfacial phenomena, with applications and recent advancements // *ChemistrySelect*. 2022. Vol. 7, No. 1. P. 1-40.
4. Бельский Д. И., Аверкин Д. В., Вишневецкий Д. В., Хижняк С. Д., Пахомов П. М. Исследования дисперсных систем и разработка стандартных образцов дзета-потенциала частиц в жидкости // *Измерительная техника*. 2021. № 4. С. 58-62.
5. Радаева И. А., Кручинин А. Г., Туровская С. Н., Илларионова Е. Е., Бигаева А. В. Формирование технологических свойств сухого молока // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2020. Т. 23, № 3. С. 280-290.
6. Neves M. I. L., Strieder M. M., Silva E. K., Meireles M. A. A. Milk colloidal system as a reaction medium and carrier for the natural blue colorant obtained from the cross-linking between genipin and milk proteins // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Vol. 61. P. 1-5.

7. Shashkanova O., Maliutina K. Mathematical Modeling and Planning of a Three-Factor Experiment to Determine the Content of Copper and Zinc in the Brass Coating of Steel Wire // 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). IEEE, 2019. P. 590-595.
8. Блинов А. В., Серов А. В., Кравцов В. А. Применение акустической и электроакустической спектроскопии в молочном деле // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2018. № 2. С. 7-14.
9. Blinov A. V., Siddiqui S. A., Blinova A. A., Khramtsov A. G., Oboturova N. P., Nagdalian A. A., Ibrahim S. A. Analysis of the dispersed composition of milk using photon correlation spectroscopy // Journal of Food Composition and Analysis. 2022. Vol. 108. P. 1-29.
10. Ясная М. А., Блинов А. В., Блинова А. А., Шевченко И. М., Маглакелидзе Д. Г., Сенкова А. О. Определение оптимальных режимов измерения размера коллоидных частиц методами фотонно-корреляционной и акустической спектроскопии // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2020. № 12. С. 232-242.
11. Храмцов А. Г., Блинов А. В., Серов А. В., Оботурова Н. П., Блинова А. А. Изучение возможности использования метода акустической и электроакустической спектроскопии для контроля параметров дисперсной фазы молока во время сквашивания // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России. Материалы VIII Международной научно-практической конференции / под ред. И. А. Евдокимова, А.Д. Лодыгина. Ставрополь, 2021. С. 327-331.
12. Салманова Д. А., Евдокимов И. А., Гвозденко А. А. и др. Математическое моделирование в процессах восстановления сухих молочных продуктов // Материалы IX (66-й) ежегодной научно-практической конференции «Университетская наука – региону» Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь, 2022. С. 132-138.
13. Velazquez-Dominguez A., Henriet M., Abdallah M., Hiolle M., Violleau F., Delaplace G., Peixoto P. P. D. S. Influence of enzymatic cross-linking on the apparent viscosity and molecular characteristics of casein micelles at neutral and acidic pH // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 139. P. 1-7.
14. Holt C., Carver J. A. Quantitative multivalent binding model of the structure, size distribution and composition of the casein micelles of cow milk // International Dairy Journal. 2022. Vol. 126. P.1-4.
15. Сенченкова Е.А., Боровская Л.В. Процесс коагуляции белков молока // The Scientific Heritage. 2021. № 80-3. С. 28-31.

REFERENCES

1. Lunardi C. N., Gomes A. J., Rocha F. S., De Tommaso J., Patience G. S. Experimental methods in chemical engineering: Zeta potential // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2021. Vol. 99, No. 3. P. 627-639.
2. Biriukov D., Fibich P., Předota M. Zeta potential determination from molecular simulations // The Journal of Physical Chemistry. 2020. Vol. 124, No. 5. P. 3159-3170.
3. Kamble S., Agrawal S., Cherumukkil S., Sharma V., Jasra R. V., Munshi P. Revisiting zeta potential, the key feature of interfacial phenomena, with applications and recent advancements // ChemistrySelect. 2022. Vol. 7, No. 1. P. 1-40.
4. Belen'kii D. I., Averkin D. V., Vishnevetskii D. V., Khizhnyak S. D., Pakhomov P. M. Issledovaniya dispersnykh sistem i razrabotka standartnykh obraztsov dzeta-potentsiala chastits v zhidkosti // Izmeritel'naya tekhnika. 2021. No. 4. P. 58-62.
5. Radaeva I. A., Kruchinin A. G., Turovskaya S. N., Illarionova E. E., Bigaeva A. V. Formirovanie tekhnologicheskikh svoystv sukhogo moloka // Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2020. T. 23, No. 3. P. 280-290.
6. Neves M. I. L., Strieder M. M., Silva E. K., Meireles M. A. A. Milk colloidal system as a reaction medium and carrier for the natural blue colorant obtained from the cross-linking between

genipin and milk proteins // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Vol. 61. P. 1-5.

7. Shashkanova O., Maliutina K. Mathematical Modeling and Planning of a Three-Factor Experiment to Determine the Content of Copper and Zinc in the Brass Coating of Steel Wire // 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). IEEE, 2019. P. 590-595.

8. Blinov A. V., Serov A. V., Kravtsov V. A. Primenenie akusticheskoi i ehlektroakusticheskoi spektroskopii v molochnom dele // *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*. 2018. № 2. Pp. 7-14.

9. Blinov A. V., Siddiqui S. A., Blinova A. A., Khramtsov A. G., Oboturova N. P., Nagdalian A. A., Ibrahim S. A. Analysis of the dispersed composition of milk using photon correlation spectroscopy // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022. Vol. 108. Pp. 1-29.

10. Yasnaya M. A., Blinov A. V., Blinova A. A., Shevchenko I. M., Maglakelidze D. G., Senkova A. O. Opredelenie optimal'nykh rezhimov izmereniya razmera kolloidnykh chastits metodami fotonno-korelyatsionnoi i akusticheskoi spektroskopii // *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov*. 2020. № 12. Pp. 232-242.

11. Khramtsov A. G., Blinov A. V., Serov A. V., Oboturova N. P., Blinova A. A. Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniya metoda akusticheskoi i ehlektroakusticheskoi spektroskopii dlya kontrolya parametrov dispersnoi fazy moloka vo vremya skvashivaniya // *Sovremennye dostizheniya biotekhnologii. Global'nye vyzovy i aktual'nye problemy pererabotki i ispol'zovaniya vtorichnykh syr'evykh resursov agropromyshlennogo kompleksa Rossii. Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii / pod red. I.A. Evdokimova, A.D. Lodygina. Stavropol', 2021. Pp. 327-331.*

12. Salmanova D. A., Evdokimov I. A., Gvozdenko A. A. et al. Matematicheskoe modelirovanie v protsessakh vosstanovleniya sukhikh molochnykh produktov // *Materialy IX (66-i) ezhegodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Universitetskaya nauka – regionu» Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. Stavropol', 2022. P. 132-138.*

13. Velazquez-Dominguez A., Henriet M., Abdallah M., Hiolle M., Violleau F., Delaplace G., Peixoto P. P. D. S. Influence of enzymatic cross-linking on the apparent viscosity and molecular characteristics of casein micelles at neutral and acidic pH // *Food Hydrocolloids*. 2023. Vol. 139. P. 1-7.

14. Holt C., Carver J. A. Quantitative multivalent binding model of the structure, size distribution and composition of the casein micelles of cow milk // *International Dairy Journal*. 2022. Vol. 126. P.1-4.

15. Senchenkova E. A., Borovskaya L. V. Protsess koagulyatsii belkov moloka // *The Scientific Heritage*. 2021. No. 80-3. P. 28-31.

ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Салманова Динара Александровна, инженер научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-906-462-49-14, ORCID: 0009-0003-2240-0777, salmanova.dinara@yandex.ru

Salmanova Dinara Alexandrovna, engineer of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, North-Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029, Stavropol, Russia, 8-906-462-49-14, ORCID: 0009-0003-2240-0777, salmanova.dinara@yandex.ru

Брацихин Андрей Александрович, доктор техн. наук, доцент, ректор ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», 426069, Ижевск, улица Студенческая, 11, 8-905-443-92-43, a_bracihin@mail.ru

Bratsikhin Andrey Alexandrovich, Doctor in Technical Science, associate professor, rector of Udmurt State Agricultural University, Studentskaya str. 11, 426069, Izhevsk, Russia, 8-905-443-92-43, a_bracihin@mail.ru

Евдокимов Иван Алексеевич, доктор техн. наук, профессор, зав. базовой кафедрой «Технологии молока и молочных продуктов» Института живых систем ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-962-403-08-47, ievdokimov@ncfu.ru

Evdokimov Ivan Alekseevich, Doctor in Technical Science, Professor, Head of the Department of milk and dairy products technology, Institute of Living Systems, North-Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029, Stavropol, Russia, 8-962-403-08-47, ievdokimov@ncfu.ru

Блинова Анастасия Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-988-767-94-60, ORCID: 0000-0001-9321-550X, nastya_bogdanova_88@mail.ru

Blinova Anastasiya Alexandrovna, PhD, associate professor of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North-Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029 Stavropol, Russia, 8-988-767-94-60, ORCID: 0000-0001-9321-550X, nastya_bogdanova_88@mail.ru

Дата поступления в редакцию: 12.04.2023

После рецензирования: 18.05.2023

Дата принятия к публикации: 10.06.2023