

Особенности очистки воды разделительным вымораживанием для производства восстановленного молока

Е. В. Короткая¹, *, И. А. Короткий¹, А. В. Учайкин²

¹ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

² ГБУ «Спортивный комплекс «Мегаспорт» Москомспорта»,
125252, Россия, г. Москва, Ходынский бульвар, 3

Дата поступления в редакцию: 10.08.2018
Дата принятия в печать: 20.09.2018

*e-mail: korotkayael@mail.ru



© Е. В. Короткая, И. А. Короткий, А. В. Учайкин, 2018

Аннотация. Молоку и молочным продуктам, благодаря их высокой пищевой и биологической ценности, а также легкой усвояемости отводится значительное место в рационе питания населения. Использование сухого молока играет значительную роль в сглаживании сезонности производства молока и молочных продуктов. Выступая в качестве растворителя при производстве восстановленного молока, вода способна в значительной степени повлиять на качество готового продукта. В связи с этим проблема качества воды и ее подготовки для получения восстановленного молока представляется весьма актуальной. Применение метода разделительного вымораживания для водоподготовки позволяет не только сократить число этапов предварительной очистки воды, но и уменьшить энергетические затраты на водоподготовку. Цель данной статьи – установление влияния разделительного вымораживания на показатели качества воды, определение индекса растворимости сухого молока в воде, определение энергетических затрат на разделительное вымораживание. Исследования выполнялись на базе кафедры «Теплохладотехника» КемГУ. Разделительное вымораживание воды проводили в емкостном кристаллизаторе с контрольно-измерительным комплексом регистрации температур ОВЕН ТРМ1 при температурных режимах от –2 до –10 °С. Определены органолептические и физико-химические показатели воды до и после очистки разделительным вымораживанием, индекс растворимости сухого молока, а также показатели качества восстановленного молока, полученного на основе воды подготовленной разделительным вымораживанием. Проведенные исследования показали, что энергетически более выгодно проводить разделительное вымораживание воды при температуре –2 °С. Водоподготовка разделительным вымораживанием позволяет снизить содержание сухого остатка в водопроводной воде 8 раз, уменьшает общую жесткость воды в 2,5 раза, снижает содержание хлоридов и фторидов в 1,7 и 1,9 раза соответственно. Использование разделительного вымораживания позволило уменьшить индекса растворимости сухого молока с 0,35 до 0,1 см³. Это привело к улучшению качественных показателей восстановленного молока.

Ключевые слова. Вода, водоподготовка разделительное вымораживание, восстановленное молоко

Для цитирования: Короткая, Е. В. Особенности очистки воды разделительным вымораживанием для производства восстановленного молока / Е. В. Короткая, И. А. Короткий, А. В. Учайкин // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 3. С. 133–139. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-133-139>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/>

Water Purification by Separate Freezing in Reconstituted Milk Production

E.V. Korotkaya¹, *, I.A. Korotkiy¹, A.V. Uchaykin²

¹ Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

² Sports complex «Megasport» Moskomspport,
3, Khodynsky Blvd., Moscow, 125252, Russia,

Received: August 10, 2018
Accepted: September 20, 2018

*e-mail: korotkayael@mail.ru



© E.V. Korotkaya, I.A. Korotkiy, A.V. Uchaykin, 2018

Abstract. Milk and dairy products play an important role in human diet due to their high nutritional and biological value, as well as to their easy digestibility. Milk powder makes it possible to improve the seasonal character of dairy foods. As a solvent in the production of reconstituted milk, water can significantly affect the quality of the finished product. In this regard, the problem of water quality and its preparation for the production of reconstituted milk is highly relevant. The method of separate freezing allows one to reduce the number of pre-treatment stages and energy costs. The research objectives were 1) to establish the effect of separate freezing on water quality indicators, 2) to determine the solubility index of milk powder in water prepared by the method in question, 3) to define

the energy costs. The research was carried out on the basis of the Department of Heat, Ventilation, and Air Conditioning Equipment (Kemerovo State University). The study was conducted with the help of a tank crystallizer with a controlling and measuring complex for registration of temperatures at temperatures from minus 2 to minus 10 °C. In defining the quality of water and reconstituted milk, the authors used standard methods for determining its organoleptic and physico-chemical parameters. The study made it possible to define the organoleptic and physico-chemical parameters of water before and after separate freezing, the solubility index of dry milk, and the quality of reconstituted milk obtained by the method. The research revealed that it is energetically more advantageous to carry out the procedure at the temperature of minus 2 °C. The present paper describes the numerous advantages of the method in that it reduces: 1) the dry residue content in tap water by 8 times, 2) the overall hardness of water by 2.5 times, 3) the content of chlorides and fluorides by 1.7 and 1.9 times, respectively, 4) the solubility index of milk powder from 0.35 to 0.1 cm³. All these factors improve the quality of reconstituted milk.

Keywords. Water, water treatment, separate freezing, reconstituted milk

For citation: Korotkaya E.V., Korotkiy I.A., and Uchaykin A.V. Water Purification by Separate Freezing in Reconstituted Milk Production. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 3, pp. 133–139. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-133-139>.

Введение

Молоко и молочные продукты занимают значительное место в ежедневном рационе питания современного человека. Они содержат в легко усвояемой и перевариваемой организмом форме все необходимые питательные вещества. Во многих регионах нашей страны, в силу особенностей природных условий, весьма существенны сезонные колебания поступления молока на промышленные предприятия по его переработке. Использование сухого молока позволяет сгладить сезонные колебания производства сырого молока и спрос на готовую молочную продукцию. Необходимо отметить, что сухое молоко используется не только для производства восстановленных молочных продуктов, но и для их обогащения – увеличения количества сухих веществ, повышения их пищевой ценности, придания определенных органолептических показателей, а также для улучшения структурно механических показателей. Сухое молоко применяют при производстве сухих смесей для детского питания, кондитерских и хлебобулочных изделий [1–4].

В ряде работ отечественных [5–12] и зарубежных [3, 14] ученых отмечается, что качественные показатели восстановленных молочных продуктов, продуктов, полученных на основе восстановленного молока, и молочных продуктов, при производстве которых используется сухое молоко или сыворотка, в немалой степени зависят от качества используемой воды.

Среди существующих методов водоподготовки выделяют химические, физические и физико-химические. Выбор того или иного метода зависит от таких факторов как состояние исходной воды, требования к конечному продукту, возможности производителя. Правильный выбор метода водоподготовки позволяет значительно повысить качественные показатели восстановленных молочных продуктов и продуктов, произведенных на их основе [6, 7, 15, 16].

Одним из перспективных и энергетически эффективных методов водоподготовки является вымораживание [17–21]. Применение разделительного вымораживания для водоподготовки представляется весьма интересным. Такой метод

позволяет исключить из процесса водоподготовки такие этапы, как очистка от механических примесей, осветление, удаление активного хлора и растворенных газов. Разделительное вымораживание позволяет получить воду с низким содержанием солей жесткости, что, несомненно, повлияет на процесс растворения сухого молока.

В связи с этим целью данной работы является установление влияния температуры вымораживания на качественные показатели воды и определение индекса растворимости сухого молока в воде подготовленной методом разделительного вымораживания, а также определение энергетических затрат на разделительное вымораживание воды.

Объекты и методы исследования

В качестве исходной воды (контроля) использовали воду из водопроводной сети города Кемерово.

Показатели качества воды определяли в сертифицированном испытательном лабораторном центре Кемеровский ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по железнодорожному транспорту».

Органолептические показатели (запах, привкус), а также мутность по ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности».

Цветность по ГОСТ Р 52769-07 «Вода. Методы определения цветности».

Сухой остаток по ГОСТ 18164-72 «Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка».

Жесткость общая комплексонометрически по ГОСТ Р 52407-05 «Вода питьевая. Методы определения жесткости».

Окисляемость воды по ПНДФ 14.1:2:4.154-99 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом».

Содержание хлоридов по ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов».

Содержание фторидов по ГОСТ 4386-89 «Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фторидов».

Содержание анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) по ГОСТ Р 51211-98 «Вода питьевая».

Методы определения содержания поверхностно-активных веществ».

В качестве объекта исследований использовали сухое обезжиренное молоко распылительной сушки ГОСТ РБ, СТБ 1858-2009, импортер ООО «Бетор», г. Новосибирск.

Титруемую кислотность восстановленного молока определяли потенциометрически по ГОСТ Р 54669-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности».

Содержание жира – кислотным методом по ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира».

Содержание белка – рефрактометрическим методом по ГОСТ 25179-90 «Молоко. Методы определения белка».

Содержание минеральных веществ по ГОСТ Р 54668-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества».

Содержание лактозы по ГОСТ Р 51259-99 «Молоко и молочные продукты. Метод определения лактозы и галактозы».

Индекс растворимости по ГОСТ Р ИСО 8156-2010 «Молоко сухое и сухие молочные продукты. Определение индекса растворимости».

Для получения восстановленного молока водоподготовку проводили методом разделительного вымораживания. При проведении исследований

использовали емкостной кристаллизатор с контрольно-измерительным комплексом регистрации температур ОВЕН ТРМ1 [22, 23]. Схема двухцилиндровой разделительной вымораживающей установки представлена на рисунке 1.

В одном из цилиндров на внутренней поверхности испарителя конденсатора происходит процесс намораживания льда, в другом цилиндре осуществляется плавление намерзшего льда. В первом случае змеевиковый теплообменник играет роль испарителя холодильной машины, а во втором – конденсатора. Переключение цилиндрических емкостей из режима намораживания в режим плавления осуществляется с помощью четырехходового клапана. Использование кристаллизаторов косвенного охлаждения позволяет значительно упростить технологию разделительного вымораживания за счет того, что незамерзшая жидкость по завершении процесса кристаллизации сливается из центральной емкости аппарата, затем замороженный лед плавится и очищенная вода удаляется из аппарата. Плавление льда в данной установке осуществляется за счет теплоты отводимой от воды, вымораживаемой в другом цилиндре, что повышает энергетическую эффективность установки.

Вымораживание воды проводили при различных температурах хладоносителя $-2 \pm 0,05$, $-5 \pm 0,05$, $-7 \pm 0,05$ и $-10 \pm 0,05$ °С в течении 15, 30, 60, 90, 120 и 180 мин. По истечении заданного промежутка времени незамерзшая вода сливалась и с помощью мерного цилиндра определялось количество выморозенной воды.

Результаты и их обсуждение

Энергетические затраты на разделительное вымораживание воды определяли экспериментально по количеству потребленной разделительной вымораживающей установкой электроэнергии. На рисунке 2 представлены зависимости величин энергетических затрат на разделительное вымораживание при различных температурах хладоносителя.

Анализируя данные полученные при определении энергетических затрат на разделительное вымораживание, необходимо отметить, что при температуре -10 °С зависимость энергопотребления от времени имеет практически линейный характер. При повышении температуры хладоносителя до -7 °С энергетические затраты на разделительное вымораживание снижаются не значительно. Энергозатраты на кристаллизацию в течении 180 мин при температуре хладоносителя -2 °С были на 40 % ниже, чем при температуре -10 °С. Необходимо отметить, что при этом не учитывалось количество выморозенной воды.

Вода, используемая в производстве восстановленных и рекомбинированных молочных продуктов для растворения и нормализации, должна полностью соответствовать требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические

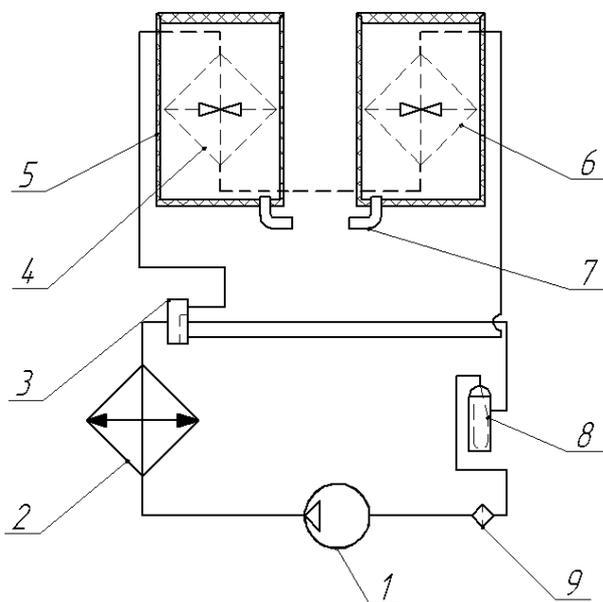


Рисунок 1 – Схема двухцилиндровой разделительной вымораживающей установки: 1 – компрессор; 2 – предконденсатор; 3 – четырехходовой клапан; 4,6 – испаритель-концентратор; 5 – цилиндрическая теплоизоляционная емкость; 7 – сливной трубопровод; 8 – отделитель жидкости; 9 – фильтр осушитель

Figure 1 – Diagram of a two-cylinder separate freezing unit: 1 – compressor; 2 – precondenser; 3 – four-way valve; 4,6 – evaporator concentrator; 5 – cylindrical heat-insulating capacity; 7 – drain pipe; 8 – liquid separator; 9 – filter dryer

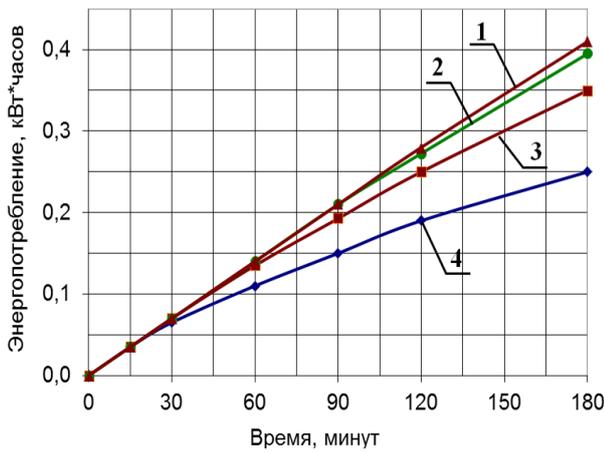


Рисунок 2 – Величина энергопотребления в процессе кристаллизации при температуре хладоносителя: 1) –10 °С; 2) –7 °С; 3) –5 °С; 4) –2 °С

Figure 2 – Energy consumption in the process of crystallization at the temperature of the coolant: 1) –10 °C; 2) –7 °C; 3) –5 °C; 4) –2 °C

требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» питьевая вода должна иметь соответствующие органолептические свойства, быть безвредной по химическому составу и безопасной в эпидемическом и радиационном отношении. Нормативы некоторых физико-химических показателей качества питьевой воды приведены в таблице 1.

В производстве восстановленных молочных продуктов вода, выступая в качестве растворителя, взаимодействует с растворимыми (минеральные вещества, лактоза) и нерастворимыми (молочный жир, белки) компонентами сухого молока и предопределяет основные факторы, обуславливающие физико-химические и органолептические свойства готового продукта. Согласно Н. Н. Липатову процесс растворения сухого молока включает в себя следующие стадии: растворение лактозы и минеральных веществ; распределение белка и жира в растворе; гидратация дисперсной фазы; выделение из продукта избыточного воздуха. В результате происходит образование дисперсной системы, где дисперсионной средой является раствор лактозы и минеральных веществ в воде, а

Таблица 1 – Основные обобщенные физико-химические показатели качества воды

Table 1 – The generalized main physico-chemical indicators of water quality

Показатель	Нормативы по СанПиН
Водородный показатель, pH	6–9
Общая минерализация (сухой остаток), мг/дм ³	1000
Жесткость общая, мг-экв./дм ³	7
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	5,0
Поверхностно-активные вещества (ПАВ) анионоактивные, мг/дм ³	0,5
Фенольный индекс, мг/дм ³	0,25

жировая и белковая фракции представляют собой дисперсную фазу. Дисперсность белка и жира в восстановленном молоке должна соответствовать их дисперсности в натуральном молоке. Эффективность процесса растворения зависит не только от свойств используемого сухого молока, но и от качества используемой воды.

Жесткость воды – это один из важнейших показателей, который способен повлиять на качество восстановленного молока и молочных продуктов [5, 6, 9]. Процесс растворения сухого молока в жесткой воде протекает медленнее. Повышенное содержание ионов кальция и магния в жесткой воде уменьшает растворимость сухого молока. Это приводит к снижению пищевой ценности, понижается устойчивость белков в восстановленном молоке. При дальнейшей термообработке такого молока возможна преждевременная коагуляция белков.

Органолептические свойства воды также способны в значительной степени повлиять на качество восстановленных молочных продуктов из-за придания им нежелательных запахов и привкусов. В этой связи необходимо контролировать содержание в воде нитратов, сульфатов и хлоридов.

Исходя из данных, полученных при определении энергетических затрат на разделительное вымораживание воды, водоподготовку осуществляли при двух температурных режимах: –2 °С и –5 °С. Проводили сравнительный анализ показателей качества воды из водопроводной сети (контроля) и воды очищенной методом разделительного вымораживания. Качество полученной воды оценивали по основным физико-химическим показателям, представленным в таблице 1. На рисунке 3 показано влияние температуры вымораживания воды на общую жесткость и содержание сухого остатка.

Минимальное содержание солей жесткости было отмечено в воде, вымороженной при температуре –2 °С.

Результаты, проведенных ранее исследований [22, 23], показали, что для получения воды с высокими показателями качества разделительное вымораживание необходимо проводить при температуре –2 °С. В этом случае скорость кристаллизации минимальна, следовательно, в

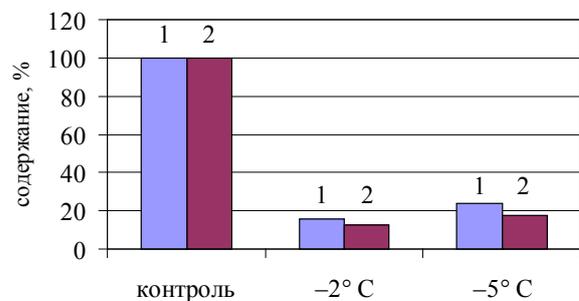


Рисунок 3 – Изменение общей жесткости воды (1) и содержания сухого остатка (2) в зависимости от температуры вымораживания

Figure 3 – Change in the total hardness of water (1) and the content of dry residue (2) according to the freezing temperature

Таблица 2 – Показатели качества исследованных образцов воды

Table 2 – Quality indicators of the water samples

Показатель	Контроль / Вымороженная
Запах, балл	2 / 0
Привкус, балл	0 / 0
Мутность, ЕМФ	1,1 ± 0,2 / менее 1,0
Цветность, градус	1,2 ± 0,4 / менее 1,0
Сухой остаток, мг/дм ³	154,4 ± 15,4 / 19,6 ± 0,2
Жесткость общая, мг-экв./дм ³	2,5 ± 0,4 / 1,0 ± 0,1
Окисляемость перманганатная, мг/л	1,61 ± 0,32 / 1,45 ± 0,29
Хлориды, мг/дм ³	8,2 ± 1,7 / 4,7 ± 1,0
Фториды, мг/дм ³	0,19 ± 0,04 / 0,1 ± 0,02
АПАВ	менее 0,015 / менее 0,015

образующийся массив льда захватывается меньшее количество растворенных в воде веществ. Очищенная вода будет содержать минимальное количество солей жесткости, что согласуется с данными, полученными авторами работ [17] и [20].

Поэтому для растворения сухого молока очистку воды разделительным вымораживанием проводили в течение 180 мин при температуре хладоносителя –2 °С. В таблице 2 приведены значения показателей качества воды из водопроводной сети г. Кемерово (контроль) и воды, очищенной разделительным вымораживанием при температуре хладоносителя –2 °С.

Анализ полученных экспериментальных данных (табл. 2) показал, что применение разделительного вымораживания позволило снизить общую жесткость в 2,5 раза, сухой остаток почти в 8 раз, содержание хлоридов и фторидов в 1,7 и 1,9 раз соответственно.

Для получения восстановленного молока выполняли следующие технологические этапы. Водопроводная вода заливалась в рабочую емкость кристаллизатора, на стенках которой поддерживалась температура –2 °С. Через 180 мин незамерзшая вода сливалась, образовавшийся лед плавился. Полученная таким образом вода использовалась для восстановления сухого молока. Растворение сухого молока в воде проводили при температуре 38–40 °С с использованием механической мешалки. Не растворившиеся комочки удаляли грубой фильтрацией. Далее, продукт охлаждали до 5–8 °С и выдерживали в течение 3–4 часов после чего гомогенизировали, подвергали пастеризации и охлаждали до температуры 4–6 °С.

Некоторые физико-химические показатели восстановленного молока, полученного с использованием воды, подготовленной методом разделительного вымораживания, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические показатели восстановленного молока

Table 3 – Physical and chemical indicators of reconstituted milk

Показатель	Содержание, г/100 г
Жир	0,05 ± 0,03
Белок	3,2 ± 0,1
Лактоза	4,8 ± 0,1
Минеральные вещества	0,9 ± 0,2
Кислотность, °Т	16,0 ± 0,5

Для оценки эффективности технологических процессов при производстве восстановленного молока важным показателем является индекс растворимости – объем нерастворимого остатка (в см³), полученного после восстановления сухого молока и центрифугирования восстановленного молока в условиях, установленных ГОСТ Р ИСО 8156-2010. Средние значения индекса растворимости сухого обезжиренного молока в водопроводной воде и воде, подготовленной разделительным вымораживанием, составили 0,35 ± 0,02 и 0,1 ± 0,02 см³. Уменьшение индекса растворимости сухого молока в воде подготовленной разделительным вымораживанием объясняется более низким содержанием солей жесткости, чем в водопроводной воде.

Выводы

Проведенные исследования показали, что энергетически выгодно проводить водоподготовку разделительным вымораживанием при температурах от –5 °С до –2 °С, а для более точного определения энергоэффективности процесса необходимо учитывать количество вымороженной воды.

Применение разделительного вымораживания улучшает качественные показатели воды, уменьшая содержание сухого остатка, снижая ее общую жесткость и содержание хлоридов и фторидов.

Использование вымороженной воды для восстановления сухого молока позволяет уменьшить индекс растворимости, а также положительно влияет на компонентный состав молока. Содержание минеральных веществ в восстановленном молоке незначительно отличается от содержания в натуральном (0,8 г на 100 г продукта). Таким образом, использование метода разделительного вымораживания для очистки воды позволило получить восстановленное молоко с хорошими показателями качества.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Краткий справочник специалиста молочно-консервного производства / А. Г. Галстян, И. А. Радаева, С. Н. Туровская [и др.]; под ред. А. Г. Галстяна. – М.: Изд-во ООО «Ритм», 2011. – 152 с.
2. Бабенко А. Плюсы и минусы восстановленного молока / А. Бабенко // Молочная сфера. – 2016. – Т. 57, № 2. – С. 14.
3. Changing the properties of dre milk products during recovery / O. P. Hrebelnyk, G. P. Kalinina, A. H. Pukhliak [et al.] // Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. – 2016. – Vol. 18, № 1–4. – P. 59–64.

4. Prosekov, A. Yu. Providing food security in the existing tendencies of population growth and political and economic instability in the world / A. Yu. Prosekov, S. A. Ivanova // *Foods and Raw Materials*. – 2016. – Vol. 4, № 2. – P. 201–211. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-201-211>.
5. Фролов, Г. А. Теоретические основы растворения сухих молочных продуктов в воде / Г. А. Фролов, А. Г. Галстян, А. Н. Петров // *Молочная промышленность*. – 2008. – № 1. – С. 84–85.
6. Попова, Н. В. Водоподготовка в технологии восстановленных продуктов переработки молока как фактор их качества / Н. В. Попова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. – 2014. – Т. 2, № 4. – С. 27–35.
7. Фролов, Г. А. Системы водоподготовки в производстве восстановленных молочных продуктов / Г. А. Фролов, А. Г. Галстян, А. Н. Петров // *Пищевая промышленность*. – 2008. – № 3. – С. 42–43.
8. Галстян, А. Г. К вопросу восстановления сухих молочных продуктов / А. Г. Галстян, А. Н. Петров, Г. А. Фролов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2008. – № 5. – С. 37–39.
9. Голубева, Л. В. Влияние степени очистки питьевой воды на показатели восстановленного обезжиренного молока / Л. В. Голубева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecodoma.ru/info/inf6/>. – Дата обращения: 05.06.2018.
10. Капленко, А. Н. Выработка рассольного сыра из восстановленного молока / А. Н. Капленко, И. А. Евдокимов, Н. Н. Капленко // *Сыростроение и маслоделие*. – 2015. – № 5. – С. 18–20.
11. Справочник по переработке молочной сыворотки / Г. Б. Гаврилов, А. Ю. Просеков, Э. Ф. Кравченко [и др.]. – СПб: Издательство Профессия, 2015. – 176 с.
12. On ways demineralization of whey / A. Yu. Prosekov, E. V. Ul'rih, V. G. Budrik [et al.] // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. – 2013. – № 1. – P. 3.
13. Bratsikhin, A. Reconstitution of Dry Whey by Cavitation Disintegration Based on the Water Catholyte / A. Bratsikhin, K. Kostenko, D. Salmanova // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. – 2017. – Vol. 21. – P. 103–107.
14. The effect of pH on the wetting and dissolution of milk protein isolate powder / S. Wu, J. Fitzpatrick, K. Cronin [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 240. – P. 114–119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.022>.
15. Попова, Н. В. Обеспечение интенсификации технологии восстановления сухого молока на основе методов математического моделирования / Н. В. Попова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 29–38. DOI: <https://doi.org/10.14529/food160104>.
16. Ультразвуковая обработка молочных систем для улучшения их свойств / С. Д. Шестаков, О. Н. Красуля, Р. Ринк [и др.] // *Техническая акустика*. – 2013. – Т. 13. – С. 7.
17. Изучение эффективности очистки воды от сульфатов металлов методом неполного замораживания / Н. Л. Лаврик, В. В. Борискин, К. Л. Данилов [и др.] // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2009. – Т. 17, № 1. – С. 43–50.
18. Investigation of the depletion of ions through freeze desalination / L. Erlbeck, M. Rädle, R. Nessel [et al.] // *Desalination*. – 2017. – Vol. 407. – P. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.12.009>.
19. Freeze desalination of seawater using LNG cold energy / J. Chang, J. Zuo, K.-J. Lu [et al.] // *Water Research*. – 2016. – Vol. 102. – P. 282–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.046>.
20. Karamoddin, M. Water purification by freezing and gas hydrate processes, and removal of dissolved minerals (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) / M. Karamoddin, F. Varaminian // *Journal of Molecular Liquids*. – 2016. – Vol. 223. – P. 1021–1031. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.08.099>.
21. Hasan, M. Water purification of aqueous nickel sulfate solutions by air cooled natural freezing / M. Hasan, M. Louhi-Kultanen // *Chemical Engineering Journal*. – 2016. – Vol. 294. – P. 176–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.02.114>.
22. Короткая, Е. В. Очистка воды вымораживанием в емкостном кристаллизаторе / Е. В. Короткая, И. А. Короткий, А. В. Учайкин // *Вестник КрасГАУ*. – 2015. – Т. 105, № 6. – С. 140–145.
23. Короткий, И. А. Исследование процессов очистки воды разделительным вымораживанием / И. А. Короткий, Е. В. Короткая, А. В. Учайкин // *Техника и технология пищевых производств*. – 2015. – Т. 38, № 3. – С. 89–94.

References

1. Galstyan A.G., Radaeva I.A., Turovskaya S.N., et al. *Kratkiy spravochnik spetsialista molochno-konservnogo proizvodstva* [A brief reference book of a specialist in dairy canning production]. Moscow: Rhythm Publ., 2011. 152 p. (In Russ.).
2. Babenko A. Plyusy i minusy vosstanovlennogo moloka [Pros and cons of reconstituted milk]. *SFERA: Milk industry*, 2016, vol. 57, no. 2, pp. 14. (In Russ.).
3. Hrebelyuk O.P., Kalinina G.P., Pukhliak A.H., and Starovoytova A.A. Changing the properties of dre milk products during recovery. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology*, 2016, vol. 18, no. 1–4, pp. 59–64.
4. Prosekov A.Yu. and Ivanova S.A. Providing food security in the existing tendencies of population growth and political and economic instability in the world. *Foods and Raw Materials*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 201–211. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-201-211>.
5. Frolov G.A., Galstyan A.G., and Petrov A.N. Theoretical bases of milk powders solving in water. *Dairy industry*, 2008, no. 1, pp. 84–85. (In Russ.).
6. Popova N.V. Treated water processing in the recovery technology of milk processing products as a quality factor. *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 2014, vol. 2, no. 4, pp. 26–35. (In Russ.).

7. Frolov G.A., Galstyan A.G., and Petrov A.N. Systems of water-preparation in manufacture of the restored dairy products. *Food processing industry*, 2008, no. 3, pp. 42–43. (In Russ.).
8. Galstyan A.G., Petrov A.M., and Frolov G.A. About restoration of dry dairy products. *Storage and processing of farm products*, 2008, no. 5, pp. 37–39. (In Russ.).
9. Golubeva L.V. *Vliyanie stepeni ochistki pit'evoy vody na pokazateli vosstanovlennogo obezhirennoogo moloka* [The influence of the degree of drinking water purification on the quality indicators of reconstituted skim milk]. Available at: <http://www.ecodoma.ru/info/inf6/>. (accessed 5 June 2018).
10. Kaplenko A.N., Evdokimov I.A., and Kaplenko N.N. Production of brine cheese from reconstituted milk. *Magazine Cheesemaking and Buttermaking*, 2015, no. 5, pp. 18–20. (In Russ.).
11. Gavrilov G.B., Prosekov A.Yu., Kravchenko Eh.F., and Gavrilov B.G. *Spravochnik po pererabotke molochnoy syvorotki* [A Guide to Whey Processing]. St. Petersburg: Professiya Publ., 2015. 176 p. (In Russ.).
12. Prosekov A.Yu., Ul'rih E.V., Budrik V.G., Botina S.G., and Agarkova E.Yu. On ways demineralization of whey. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2013, no. 1, pp. 3.
13. Bratsikhin A., Kostenko K., and Salmanova D. Reconstitution of Dry Whey by Cavitation Disintegration Based on the Water Catholyte. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 2017, vol. 21, pp. 103–107.
14. Wu S., Fitzpatrick J., Cronin K., and Miao S. The effect of pH on the wetting and dissolution of milk protein isolate powder. *Journal of Food Engineering*, 2019, vol. 240, pp. 114–119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.022>.
15. Popova N.V. Provision of intensification of technologies of milk recombination on the basis of methods of mathematical modelling. *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 29–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14529/food160104>.
16. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Rink R., and Ashokkumar M. Sonication of dairy systems improves their properties. *Technical Acoustics*, 2013, vol. 13, pp. 7. (In Russ.).
17. Lavrik N.L., Boriskin V.V., Danilov K.L., and Brednev V.A. Investigation of the efficiency of water purification from sulphates by means of incomplete freezing. *Chemistry for Sustainable Development*, 2009, vol. 17, no. 1, pp. 43–50. (In Russ.).
18. Erlbeck L., Rädle M., Nessel R., et al. Investigation of the depletion of ions through freeze desalination. *Desalination*, 2017, vol. 407, pp. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.12.009>.
19. Chang J., Zuo J., Lu K.-J., and Chung T.-S. Freeze desalination of seawater using LNG cold energy. *Water Research*, 2016, vol. 102, pp. 282–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.046>.
20. Karamoddin M. and Varaminian F. Water purification by freezing and gas hydrate processes, and removal of dissolved minerals (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺). *Journal of Molecular Liquids*, 2016, vol. 223, pp. 1021–1031. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.08.099>.
21. Hasan M. and Louhi-Kultanen M. Water purification of aqueous nickel sulfate solutions by air cooled natural freezing. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 294, pp. 176–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.02.114>.
22. Korotkaya E.V., Korotkiy I.A., and Uchaykin A.V. Water purification by freezing in capacitive crystallizer. *The Bulletin of KrasGAU*, 2015, vol. 105, no. 6, pp. 140–145. (In Russ.).
23. Korotkiy I.A., Korotkaya E.V., and Uchaykin A.V. Investigation of the process of water purification using separation freezing. *Food Processing: Techniques and technology*, 2015, vol. 38, no. 3, pp. 88–93. (In Russ.).

Короткая Елена Валерьевна

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры общей и неорганической химии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (983) 216-58-53, e-mail: korotkayael@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6210-3756>

Короткий Игорь Алексеевич

д-р техн. наук, профессор, директор «ИнЭОК», ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (983) 216-58-54, e-mail: krot69l@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7623-0940>

Учайкин Алексей Владимирович

Начальник отдела водоподготовки ГБУ «Спортивный комплекс «Мегаспорт» Москомспорта», 125252, Россия, г. Москва, Ходынский бульвар, тел.: +7 (495) 643-18-18, e-mail: uchaikin_aleksei@mail.ru

Elena V. Korotkaya

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of General and inorganic chemistry, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (983) 216-58-53, e-mail: korotkayael@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6210-3756>

Igor A. Korotkiy

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Director of «InEEC», Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (983) 216-58-54, e-mail: krot69l@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7623-0940>

Aleksey V. Uchaykin

Head of Department Water preparation, Sports complex «Megasport» Moskomspport, 3, Khodynsky Blvd., Moscow, 125252, Russia, phone: +7 (495) 643-18-18, e-mail: uchaikin_aleksei@mail.ru