

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СУХОГО МОЛОКА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.В. Попова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Современное развитие молочного производства сопровождается многими проблемами. Факторами, сдерживающими расширение ассортимента и объемов производства молочной продукции, является зачастую низкое качество сырого молока, поступающего на переработку, несоответствие его требованиям нормативных документов, крайне низкий уровень белка. Использование в производстве сухих молочных продуктов и вариации по свойствам и качеству поступающего на переработку сухого молока предполагает необходимость инноваций на этапе его восстановления. Основными процессами, определяющими качество восстановления, являются растворение лактозы и минеральных веществ, сопровождаемое переходом жира и белка в эмульсионно-коллоидное состояние. В результате образуется дисперсионная среда, при этом дисперсность белков и жира должна соответствовать дисперсности их в натуральном молоке. Для повышения эффективности восстановления сухого молока немаловажны также свойства используемой воды, в частности жестко регламентируют показатели концентрации водородных ионов и жесткости, также температуру воды. Внедрение ультразвуковой обработки показало положительное влияние на физико-химические свойства воды: под воздействием ультразвука снижается активная кислотность воды и общая жесткость, повышается температура воды в среднем на 10...15 °С. Усредненные результаты оценки индекса растворимости свидетельствуют, что ультразвуковая обработка способствует интенсификации процесса восстановления (индекс растворимости снижается в среднем на 37,5...75 %). Кроме того, образцы восстановленных молочных продуктов, полученных по инновационным технологиям, показывают увеличение массовой доли белка (на 3,3...4,8 %), массовой доли лактозы (на 0,9...6,5 % в зависимости от условий ультразвуковой обработки). Методы математического моделирования позволили установить необходимый оптимум ведения технологических режимов восстановления с применением ультразвукового воздействия – мощность 120 Вт, время воздействия – 1...3 минуты (в зависимости от вида вырабатываемого продукта). Указанные параметры позволяют обеспечить высокие потребительские достоинства восстановленных продуктов переработки молока.

Ключевые слова: сухое молоко, вода, жесткость воды, восстановление, ультразвуковая кавитация, восстановленные продукты переработки молока, математическая обработка.

Молочная промышленность является одной из социально значимых отраслей народного хозяйства, динамика развития которой зависит от степени минимизации проблем. По данным Федеральной службы государственной статистики, производство молочной продукции в стране осуществляют более 1500 организаций различной формы собственности, из них 500 крупных и средних.

Современная молочная промышленность характеризуется существенными изменениями в сторону сглаживания сезонности молочного производства и активизации процессов по созданию крупных молочных хозяйств, в которых реализованы современные технологические решения по заготовке кормов, кормлению, содержанию и доению.

Отрицательным фактором, сдерживающим расширение ассортимента и объемов

производства молочной продукции, является зачастую низкое качество сырого молока, поступающего на переработку, несоответствие его требованиям нормативных документов. Данный факт обуславливает необходимость применения дополнительных мер в ведении процессов переработки молока. Несоответствие по бактериальной загрязненности сырого молока предполагает необходимость дополнительных затрат на очистку сырья молочного производства. Для производства многих молочных продуктов большую роль играет показатель содержания белка в молоке, этот показатель остается на крайне низком уровне для молока, поступающего на переработку.

В связи с необходимостью ежедневного присутствия молочной продукции в рационе питания человека вопросы создания требуемых резервов молочного сырья и разработка

Технологические процессы и оборудование

ресурсосберегающих технологий его восстановления приобретают безусловную значимость. В России ежегодно потребляется примерно 150 тысяч тонн сухого обезжиренного молока (СОМ), при этом собственное производство составляет примерно 105...110 тысяч тонн, а около 40 тысяч тонн СОМ, то есть почти четвертая часть, ввозится из Белоруссии (по данным департамента регулирования агропродовольственного рынка Минсельхоза).

В технологии производства восстановленных продуктов переработки молока наиболее значимым фактором, обуславливающим степень перехода компонентов и определяющим полноценность вырабатываемого продукта, является процесс восстановления.

По мнению авторов Л.В. Голубевой, Н.Н. Липатова, А.Н. Петрова, А.Г. Галстяна, В.Д. Богданова, Г.Н. Крусь и других на процесс восстановления сухого молока оказывает влияние технология его получения, которая, по мнению А.С. Гинзбурга, Г.Б. Дворецкого, Л.В. Голубевой и других авторов влияет впоследствии на способность доведения органолептических характеристик восстановленного молока до свойств натурального [3, 5, 6].

Изначальные пороки молока-сырья при сушке усугубляются посредством концентрации сухого вещества при удалении воды, что влияет на восстановительные процессы сухого молока, показатели качества готовой продукции и затрудняет устранение пороков молочной продукции в дальнейшем. С учетом объемов переработки сухого молока актуальным является вопрос повышения эффективности процесса восстановления, который представляет собой

гетерогенную химическую реакцию, протекающую между твердым веществом и жидкостью и сопровождающуюся переходом вещества в раствор.

Сущность процесса растворения заключается во взаимодействии сухих молочных продуктов с водой и включает несколько этапов:

- растворение лактозы и минеральных веществ,
- распределение белка и жира в растворе,
- гидратация дисперсной фазы,
- выделение из продукта избыточного воздуха.

Основными процессами, определяющими качество восстановления, являются растворение лактозы и минеральных веществ, сопровождаемое переходом жира и белка в эмульсионно-коллоидное состояние. В результате образуется дисперсионная среда, при этом дисперсность белков и жира должна соответствовать дисперсности их в натуральном молоке. В течение всего процесса восстановления из частиц продукта выделяется избыточный воздух, и скорость выделения газов влияет на интенсивность протекания других стадий восстановления [2, 12, 19].

На первом этапе при контакте с водой с поверхности частицы сухого молока выщелачивается лактоза, минеральные вещества и сывороточные белки, затем вода проникает в трещины и капилляры частицы, вытесняет воздух и выщелачивает лактозу и минеральные вещества из внутренней части сухих веществ. Все это ведет к распаду частицы и нерастворимые компоненты – жир и белок – диспергируются в растворе.

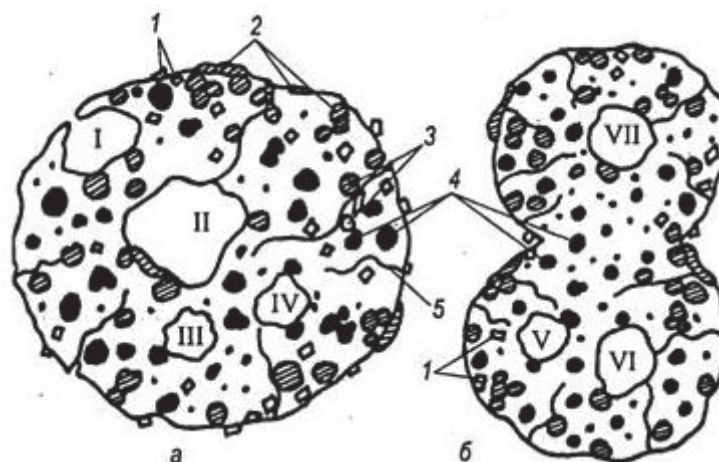


Рис. 1. Физические модели одиночной (а) и агломерированной (б) частицы молока сухого цельного: 1 – кристаллы лактозы; 2 – поверхностный свободный жир; 3 – свободный жир; 4 – защищенный жир; 5 – капилляры

Однако частицы в сухом молоке могут находиться не только по отдельности, но и в виде агломератов, которые длительное время не растворяются (рис. 1).

Установлено, что при контакте агломератов с водой на их поверхности образуется жидкостный слой, имеющий высокую концентрацию и вязкость. Этот слой образует оболочку, препятствующую проникновению воды внутрь агломерата [9–11, 16].

Лактоза и белок определяют также смачиваемость частиц сухого молока: при производстве лактоза в меньшей степени претерпевает физико-химические изменения, поэтому при восстановлении хорошо смачивается водой и не препятствует пропитке водой слоя молочного порошка. Смачиваемость же белка зависит от степени его денатурации: чем меньше денатурирован белок, тем хуже он смачивается, но имеет высокую скорость растворения.

Таким образом, свойства сухого молока, его технические характеристики определяют полноту растворения в воде, степень восстановления, а также показатели качества восстановленного молочного продукта.

Для повышения эффективности восстановления сухого молока немаловажны также свойства используемой воды, в частности жестко регламентируют показатели концентрации водородных ионов и жесткости, также температуру воды. Величина рН определяет скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность и т. д. Помимо влияния рН на запах, привкус и внешний вид воды, этот параметр влияет и на эффективность мероприятий по водоподготовке.

По значению жесткости вода подразделяется: на очень мягкую – жесткость до 1,5; мягкую – 1,5...3; умеренно жесткую – 3...6; жесткую – 6...9 и очень жесткую – более 9. Повышение жесткости воды способствует снижению скорости растворения сухих молочных продуктов, а в восстановленном продукте переработки молока – понижению устойчивости белковой фазы с повышением риска преждевременной коагуляции, а также термостойкости восстановленных продуктов.

В качестве фактора умягчения воды и ее активации нами предложено использование ультразвуковой кавитации, представляющей собой пульсацию пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью. Движение пузырьков в различных направлениях, их схло-

пывание, слияние друг с другом и т. д. порождают в жидкости импульсы сжатия (микроударные волны) и микропотоки, что способствует локальному нагреванию среды, возникновению ионизации. В результате указанных эффектов происходит разрушение находящихся в жидкости твердых тел (кавитационная эрозия), жидкость перемешивается, инициируются или ускоряются различные физические и химические процессы. Степень и глубина кавитационных процессов определяются условиями ультразвукового воздействия [13, 14, 18, 20].

По данным С.В. Зенина [7, 8], свободное, несвязанное состояние воды, обуславливает более активное ее участие в физико-химических реакциях, что влияет и на ход технологических процессов (рис. 2). По исследованиям Ю.А. Рахманина и С.В. Зенина, вода с измельченными кластерами обладает более высокими реакционными и, как следствие, растворяющими свойствами, за счет улучшения проникновения через биологические мембраны.

Таким образом, целью данного исследования является оценка возможности интенсификации процесса восстановления сухого молочного продукта, и как следствие, технологии производства восстановленного молочного продукта с целью получения молочного продукта высокого качества.

Объекты и методы исследования

На первом этапе исследований объектами являлись: вода без обработки (а) и подвергнутая ультразвуковому воздействию (б): мощностью 120 Вт, 180 Вт и 240 Вт в течение 1, 3 и 5 минут.

Объектами второго этапа исследования явились восстановленное молоко-сырье, полученное посредством обработки ультразвуком смеси воды и сухого молока сразу после его внесения; восстановленное молоко-сырье, полученное посредством восстановления сухого молока на воде, предварительно обработанной ультразвуковым воздействием; а также восстановленное молоко-сырье, полученное посредством двухэтапной УЗ-обработки.

Для обработки исследуемых объектов ультразвуковым воздействием применялся ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна-М» (модель УЗТА-04/22-ОМ).

При организации и проведении исследований использовались стандартные методы в определении показателей, а также математи-



Рис. 2. Разрушение надмолекулярной структуры воды кавитацией [13]

ческие методы статистической обработки результатов исследования.

Результаты и их обсуждение

Посредством варьирования двух параметров – мощности и продолжительности ультразвуковой обработки – нами было установлено их влияние на рН воды, описываемое уравнением:

$$y = 6,827 - 0,03x_1 - 0,143x_2 + 0,04x_2^2, \quad (1)$$

где x_1 – мощность обработки, Вт; x_2 – время обработки, мин.

Ультразвуковая обработка способствует колебаниям рН воды в небольших пределах, в процентном отношении отклонения укладываются в диапазон от 0,43 до 4,39 % (рис. 3). Причем повышение мощности в отличие от длительности в меньшей мере отражается на колебаниях значений рН. Положительным моментом является довольно плавное изменение, без резких скачков, что предполагает наличие возможности варьирования рН в водорастворителе в соответствии с первоначальными значениями питьевой воды до требуемых на конкретном производстве.

Изменение условий ультразвуковой обработки также вызывает варьирование температурного фактора в сторону увеличения, что

обуславливает положительное воздействие на последующую растворимость сухого молока, так как в традиционной технологии восстановления молока нагревание воды перед внесением в нее сухого молока является отдельным обязательным этапом.

При прохождении ультразвука через жидкость в ней возникают акустические эффекты, основанные на разрыве жидкости с образованием пустоты, в которую выделяются пузырьки растворенных в жидкости газов.

Согласно некоторым исследованиям [1, 15, 17], зародышами кавитации могут быть так называемые бабстонные кластеры, то есть частицы, состоящие из газового пузырька и его ионной оболочки, самостоятельно существующей в воде. Звуковое облучение такого кластера стимулирует его рост до 50 нм либо приводит к образованию в воде полости.

Вследствие этого, наблюдаются временные изменения структуры воды, что способствует выделению энергии, о чем свидетельствует повышение температуры после кавитационной обработки.

Необходимо отметить, что при мощности воздействия до 180 Вт и длительностью до трех минут увеличение температуры протека-

ет плавно, резкий скачок отмечен при 5 минутах воздействия. Большая мощность обработки – 240 Вт – способствует резкому увеличению температуры: при 3 минутах обработки – на 17,7 %, при 5 – 27,2 %, зависимость температуры от времени и мощности обработки имеет вид:

$$y = 33,356 + 6,7x_1 + 7,917x_2 + 2,867x_1^2 + 2,117x_2^2 + 1,25x_1x_2, \quad (2)$$

где x_1 – мощность обработки, Вт; x_2 – время обработки, мин.

Так как оптимальной температурой, рекомендованной технологической инструкцией по восстановлению сухого молочного продукта (СМП), является диапазон от 40 до 60 °С [5, 9], резкие увеличения температурного фактора при использовании ультразвуковой обработки в промышленных масштабах нежелательны в связи с трудностью быстрого варьирования. Также важно отметить, что пятиминутная обработка при мощности 240 Вт способствует повышению температуры воды до $(54,2 \pm 2)$ °С, что, укладываясь в оптимальный температурный диапазон, все же свидетельствует о нежелательности более длительной и с большей мощностью ультразвуковой обработки.

Отражается на полноте восстановления

сухого молока и жесткость воды. По данным Голубевой Л.В. [4] повышенная жесткость воды оказывает отрицательное воздействие на процесс выработки восстановленной молочной продукции: большая жесткость воды снижает скорость процесса растворения сухих молочных продуктов, понижает устойчивость белковой фракции в восстановленном молоке, что повышает риск преждевременной коагуляции белков и снижает термостойкость восстановленных молочных продуктов.

Данные рисунка позволяют отметить положительную тенденцию воздействия ультразвуковых колебаний на снижение жесткости воды, в частности обработка при мощности 120 Вт в течение 1 минуты снижает жесткость в среднем на 3,9 %.

Общая жесткость формируется суммой молярных концентраций эквивалентов ионов кальция и магния. Исследование влияния ультразвуковой обработки на содержание кальция (рис. 4) и магния в воде также показало различную динамику.

Зависимость массовой доли кальция от времени и мощности ультразвуковой обработки представлена в виде следующего уравнения:

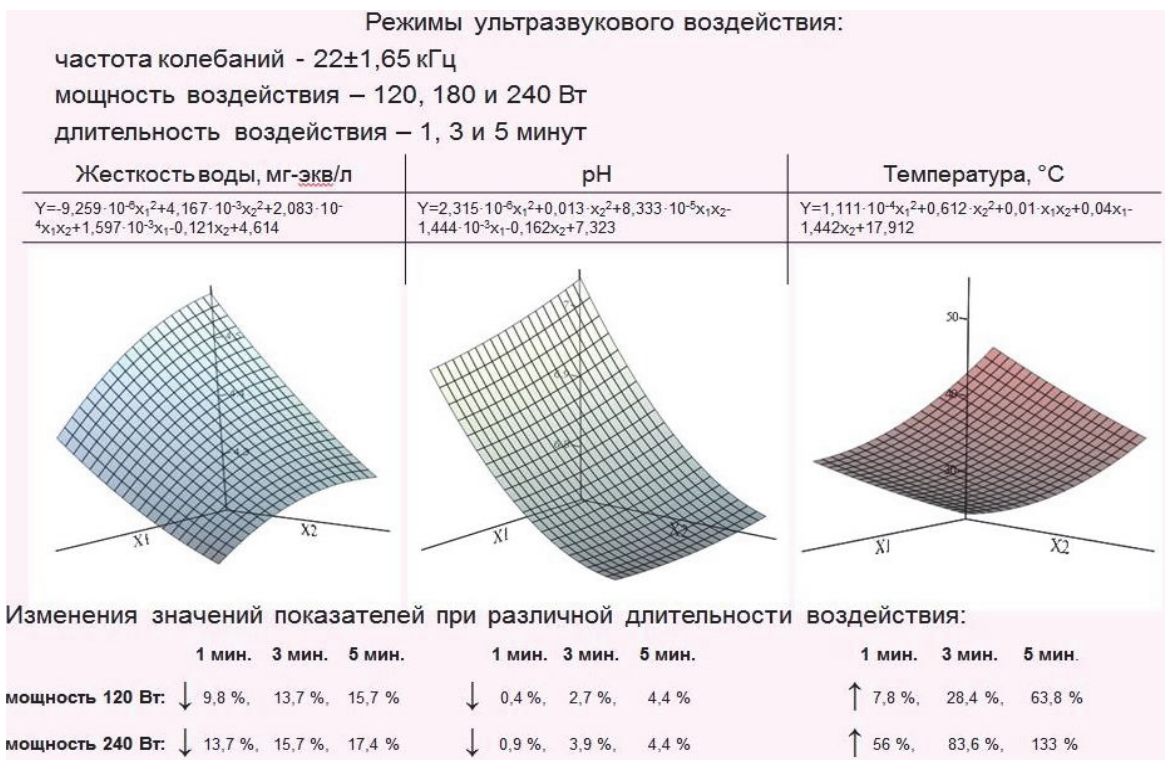


Рис. 3. Установленные в результате ультразвуковой обработки изменения показателей качества воды

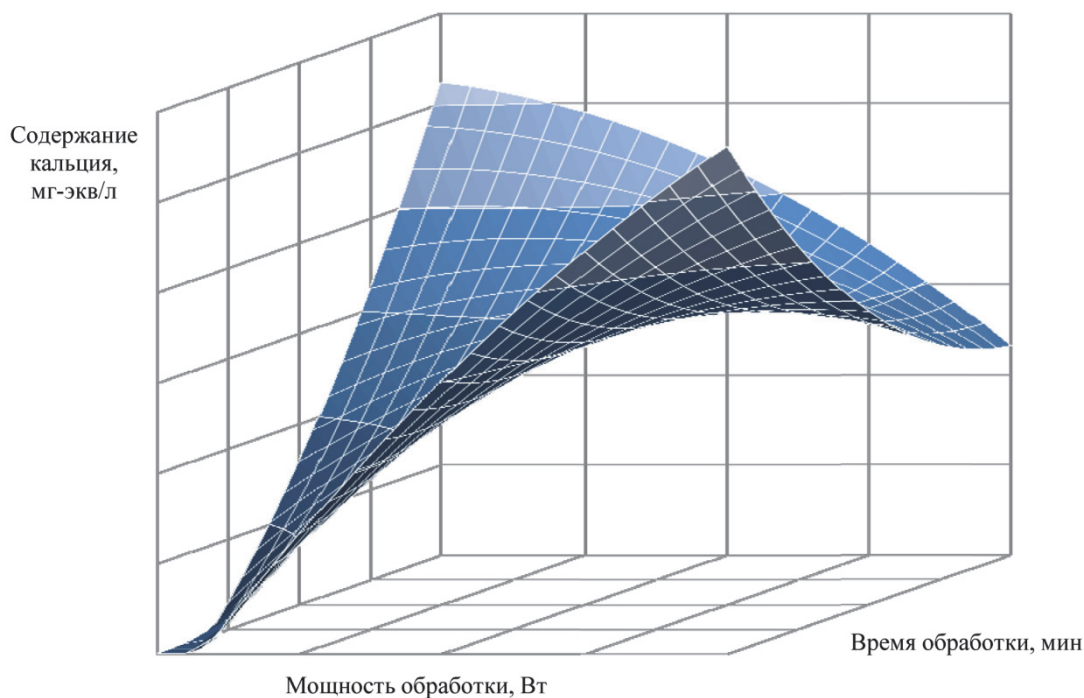


Рис. 4. Зависимость содержания кальция в воде от мощности и длительности ультразвуковой обработки

$$y = 2,387 + 0,167x_1 + 0,128x_2 - 0,107x_1^2 + 0,145x_2^2 - 0,458x_1x_2, \quad (3)$$

магния:

$$y = 1,956 - 0,217x_1 - 0,267x_2 + 0,117x_1^2 - 0,133x_2^2 + 0,475x_1x_2, \quad (4)$$

где x_1 – мощность обработки, Вт; x_2 – время обработки, мин.

Тенденция такова, что ультразвук разной мощности разрушает различные соли воды, ультразвук меньшей мощности разрушает кальциевые соли, с выделением в воду ионов кальция, что увеличивает его долю при общем снижении жесткости воды. Обработка ультразвуком большей мощности воздействует на магниевые соли с увеличением долей ионов магния также при снижении общей жесткости воды.

Таким образом, можно свидетельствовать о положительном влиянии ультразвуковой обработки на физико-химические свойства воды, подвергнутой воздействию: под воздействием ультразвука снижается активная кислотность воды (на 0,43...4,39 % по отношению к контролю) и общая жесткость (на 3,9...8,09 %), повышается температуры воды в среднем на 10...15 °С. Все это может благоприятно отразиться на процессе восстановления сухого молока.

На основе математической обработки данных в качестве оптимального был определен режим УЗ воздействия – обработка мощностью 120 Вт и длительностью воздействия не более 5 минут, которая применялась как базовая на последующих этапах работы.

В ходе исследований второго этапа была отмечена зависимость между условиями выработки восстановленного молока-сырья и индексом растворимости сухого молока (рис. 5).

Усредненные результаты оценки индекса растворимости (отклонения по пробам $\pm 0,03 \text{ см}^3$) свидетельствуют, что ультразвуковая обработка способствует интенсификации процесса восстановления и углублению его, это отражается на снижении индекса растворимости в среднем на 37,5...75 % (с учетом времени обработки). Причем положительное воздействие отмечается при внедрении ультразвука как на этапе обработки воды-растворителя, так и на этапе механической смеси сухого молока и воды, двухэтапная обработка также дает положительные результаты по восстановлению сухого молока.

Интенсификация восстановительных процессов при ультразвуковой обработке подтверждается также результатами оценки отно-

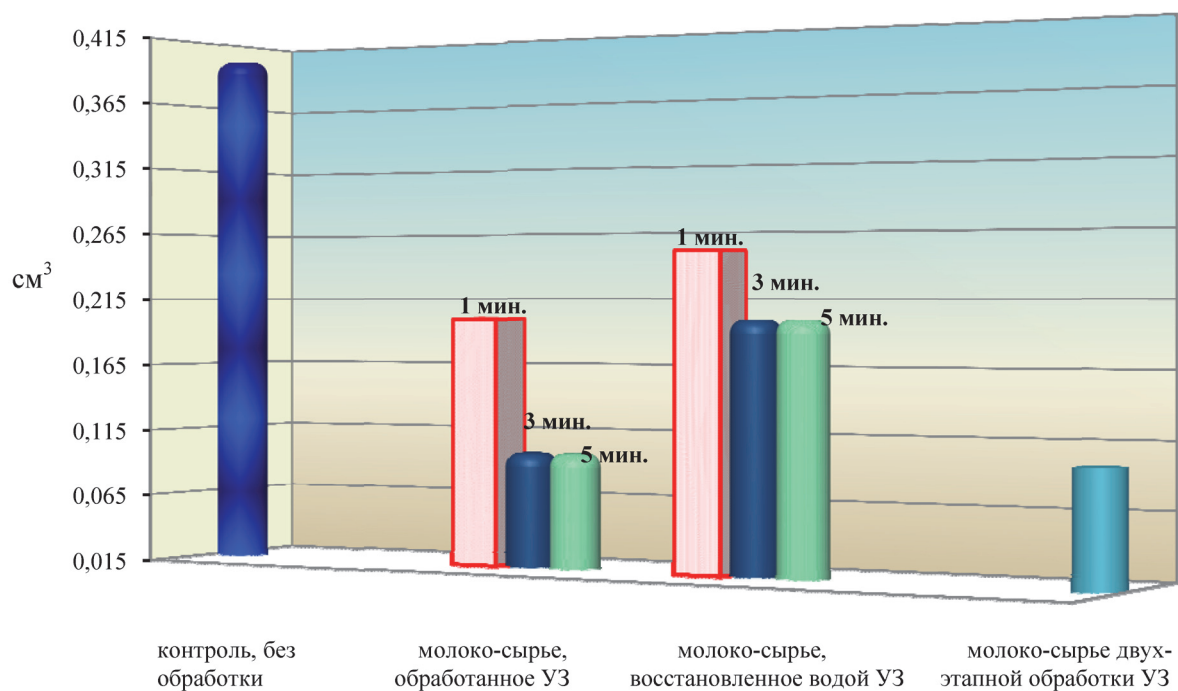


Рис. 5. Усредненные индексы растворимости сухого молока в исследуемых образцах, см³

сительной скорости растворения, увеличение которой составило от 17,6 до 39,8 %.

Образование акустических потоков в среде продукта, которое является следствием кавитационных процессов, влечет за собой деструктивные изменения оболочек частиц компонентов смеси, тогда как по мере протекания данного процесса увеличивается площадь поверхности их соприкосновения с растворителем. Кроме того, предположительно под воздействием ультразвукового капиллярного эффекта происходит более интенсивное проникновение воды-растворителя в вещества белковой природы, составляющие значительную долю сухого продукта, что приводит к их более полному и краткосрочному набуханию, способствующему снижению индекса растворимости. В совокупности данные процессы объясняют увеличение растворимости сухого молока.

Кроме того, ультразвуковая волна может способствовать разрушению агломератов сухого порошка до более мелких частиц, воздействие воды на которые облегчается за счет увеличения поверхности смачивания, что согласуется с исследованиями В.Ф. Швырева, Н.Н. Липатова, К.И. Тарасова.

Активизация воды до внесения в нее сухо-

го обезжиренного молока также оказывает положительное влияние на снижение индекса растворимости, но тут действие может основываться только на возбужденном состоянии молекул воды, дополнительной энергии от разрыва водородных связей, разрушения кластеров воды, кавитационных процессах в ее структуре. Все перечисленное обуславливает повышение растворимости частиц сухого молока.

Результаты оценки индекса растворимости согласуются с данными по определению содержания массовых долей белка и лактозы в исследуемых образцах восстановленного по инновационным технологиям молочного напитка: увеличение массовой доли белка составляет от 3,3 до 4,8 %, массовой доли лактозы – 0,9...6,5 % в зависимости от условий ультразвуковой обработки.

Таким образом, методы математического моделирования выявили необходимый оптимум ведения технологических режимов восстановления с применением ультразвукового воздействия – мощность 120 Вт, время воздействия – 1...3 минуты (в зависимости от вида вырабатываемого продукта). Указанные параметры позволяют обеспечить высокие потребительские достоинства восстановленных продуктов переработки молока.

Литература

1. Витенько, Т.Н. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т.Н. Витенько, Я.М. Гумницкий // *Химия и технология воды*. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 422–432.
2. Галстян, А.Г. Передовые технологии водоподготовки в производстве восстановленных молочных продуктов / А.Г. Галстян, А.Н. Петров. – <http://www.water.ru/bz/param/moloko.shtml>
3. Гинзбург, А.С. Технология сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 248 с.
4. Голубева, Л.В. Влияние степени очистки питьевой воды на показатели восстановленного обезжиренного молока / Л.В. Голубева. – <http://www.ecodoma.ru/info/inf6/> (дата обращения 14.02.2013 г.).
5. Голубева, Л.В. Справочник технолога молочного производства / Л.В. Голубева. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 272 с.
6. Гришин, М.А. Производство молочных консервов / М.А.Гришин, Ф.С. Соколов. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 216 с.
7. Зенин, С.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды / С.В. Зенин, Б.В. Тяглов // *Журнал физической химии*. – 1994. – Т.68, №4. – С. 636–641.
8. Зенин, С.В. Экспериментальное доказательство наличия фракций воды / С.В. Зенин, Б.М. Полануер, Б.В. Тяглов // *Гомеопатическая медицина и акупунктура*. – 1997. – № 2. – С. 42–46.
9. Кузнецов, В.В. Использование сухих молочных компонентов в пищевой промышленности: справочник / В.В. Кузнецов, Г.Г. Шиллер. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 480 с.
10. Кунижев, С.М. Новые технологии в производстве молочных продуктов / С.М. Кунижев, В.А. Шуваев. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 203 с.
11. Липатов, Н.Н. (ст.). Восстановленное молоко (теория и практика производства восстановленных молочных продуктов) / Н.Н. Липатов (ст.). – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
12. Трубецков, Д.М. Способ восстановления сухого молока. Патент РФ № 2452186 / Д.М. Трубецков. – заяв. 04.03.2011; опубл. 10.06.2012.
13. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.
14. Эльпинер, И.Е. Биофизика ультразвука / И.Е. Эльпинер. – М.: Наука, 1973. – 384 с.
15. Canselier, J.P. Ultrasound emulsification – an overview. *J. Dispersion / J.P. Canselier, H. Delmas, A.M. Wilhelm, B. Abismail // Science and Technology*. – 2002. – V. 23. – P. 333–349.
16. Hielscher, T. Ultrasonic production of nano-size dispersions and emulsions, paper presented at 1st Workshop on Nano Technology Transfer / T. Hielscher. – ENS Paris. – 14–16 December. – Paris France, 2005.
17. Laborde, J.L. Acoustic bubble cavitation at low frequencies / J.L. Laborde, C. Bouyer, J.P. Caltagirone, A. Gerard // *Ultrasonics*. – 1998 – V. 36. – P. 589–594.
18. Leighton, T.G. *The Acoustic bubble* / T.G. Leighton. – London, U.K.: Academic Press, 1994. – 240 p.
19. Muthukumaran, S. Application of Ultrasound in Membrane Separation processes: A Review / S. Muthukumaran, S.E. Kentish, G.W. Stevens, M. Ashokkumar // *Rev. Chem. Eng.* – 2006. – V. 22. – P. 155–194.
20. Sweetsur, A.W. Effect of homogenization on the heat stability of milk / A.W. Sweetsur, D.D. Murr // *J. Dairy Res.* – 1983. – V. 50, № 3. – P. 291–308.

Попова Наталия Викторовна. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), tef_porova@mail.ru.

Поступила в редакцию 3 февраля 2016 г.

PROVISION OF INTENSIFICATION OF TECHNOLOGIES OF MILK RECOMBINATION ON THE BASIS OF METHODS OF MATHEMATICAL MODELLING

N.V. Popova

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Modern development of milk production is accompanied by many problems. Factors which limit the expansion of the range and volume of production of dairy products often include low quality of raw milk supplied for processing, its non-conformance with regulatory requirements, and extremely low level of protein. The use of dry milk in the production of dry milk products and variations in properties and quality suggests the need for innovation at the stage of its recombination. The main processes that determine the quality of its recombination are dissolution of lactose and minerals followed by transfer of fat and protein in the emulsion-colloidal state. As the result the dispersion medium is developed wherein the dispersion of protein and fat should conform to their dispersion in natural milk. To improve recombination efficiency of milk powder properties of the water used are also important, in particular values of hydrogen ion concentration and water hardness, as well as the water temperature are strictly regulated. The introduction of ultrasonic treatment showed positive effect on physical and chemical properties of water: under the influence of ultrasound the activity of the water acidity and total hardness is reduced, the water temperature by an average of 10...15 °C is increased. Averaged results of the evaluation of solubility index indicate that sonication promotes intensification process of recombination (solubility index is reduced by an average of 37.5...75 %). Moreover, recovered samples of dairy products obtained by innovative technologies show an increase in protein mass fraction (3.3...4.8 %) and mass fraction of lactose (0.9...6.5 % depending on conditions of sonication). Mathematical modeling methods have allowed to establish the desired optimum of using technological regimes of recombination with ultrasound exposure – power of 120 W and exposure time – 1...3 minutes (depending on the type of product produced). These settings allow ensuring high consumer advantages of reconstituted products of milk processing.

Keywords: dry milk, water, water hardness, recombination, ultrasonic cavitation, reconstituted products of milk processing, mathematical processing.

References

1. Viten'ko T.N., Gumnitskiy Ya.M. [Mechanism of Activating Action of Hydrodynamic Cavitation in the Water]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Chemistry and Water Technology], 2007, vol. 29, no. 5, pp. 422–432. (in Russ.)
2. Galstyan A.G., Petrov A.N. *Peredovye tekhnologii vodopodgotovki v proizvodstve vosstanovlennykh molochnykh produktov* [Advanced Water Treatment Technology in Production of Recombined Milk Products]. Available at: <http://www.water.ru/bz/param/moloko.shtml>
3. Ginzburg A.S. *Tekhnologiya sushki pishchevykh produktov* [Technology of Food Dehydration]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1976. 248 p.
4. Golubeva L.V. *Vliyaniye stepeni ochistki pit'evoy vody na pokazateli vosstanovlennogo obezzhirennogo moloka* [Influence of the Degree of Purification of Drinking Water on the Performance of Recombined Fat-Free Milk]. Available at: <http://www.ecodoma.ru/info/inf6/> (accessed 14.02.2013).
5. Golubeva L.V. *Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva* [Reference Book of the Process Engineer of Milk Production]. St. Petersburg, GIORD Publ., 2005. 272 p.
6. Grishin M.A., Sokolov F.S. *Proizvodstvo molochnykh konservov* [Production of Canned Milk]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1982. 216 p.
7. Zenin S.V., Tyaglov B.V. [Hydrophobic Model of the Structure of Water Molecules Associates]. *Zhurnal fizicheskoy khimii* [Journal of Physical Chemistry], 1994, vol. 68, no. 4, pp. 636–641. (in Russ.)
8. Zenin S.V., Polanuer B.M., Tyaglov B.V. [Experimental Evidence for Presence of Water Fractions]. *Gomeopaticheskaya meditsina i akupunktura* [Homeopathic Medicine and Acupuncture], 1997, no. 2, pp. 42–46. (in Russ.)

9. Kuznetsov V.V., Shiler G.G. *Ispol'zovanie sukhikh molochnykh komponentov v pishchevoy promyshlennosti* [Use of Dry Dairy Ingredients in Food Industry]. St. Petersburg, GIOR Publ., 2006. 480 p.
10. Kunizhev S.M., Shuvaev V.A. *Novye tekhnologii v proizvodstve molochnykh produktov* [New Technology in Production of Dairy Products]. Moscow, DeLi print Publ., 2004. 203 p.
11. Lipatov N.N. (st.). *Vosstanovlennoe moloko (teoriya i praktika proizvodstva vosstanovlennykh molochnykh produktov)* [Reconstituted Milk (Theory and Practice of Production of Reconstituted Dairy Products)]. Moscow, Agropromizdat, 1985. 256 p.
12. Trubetskov D.M. *Sposob vosstanovleniya sukhogo moloka*. [Dry Milk Recombination Method]. Patent RF no. 2452186, zayav. 04.03.2011; opubl. 10.06.2012.
13. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Yu. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii* [Technology and equipment for food processing environments using cavitation disintegration]. Moscow, GIOR Publ., 2013. 152 p.
14. El'piner I.E. *Biofizika ul'trazvuka* [Ultrasound Biophysics]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 384 p.
15. Canselier J.P., Delmas H., Wilhelm A.M., Abismail B. Ultrasound Emulsification – an Overview. *J. Dispersion of Science and Technology*, 2002, vol. 23, iss. 1–3, pp. 333–349. DOI: 10.1080/01932690208984209
16. Hielscher T. Ultrasonic Production of Nano-Size Dispersions and Emulsions, Paper Presented at 1st Workshop on Nano Technology Transfer. *ENS Paris*. 14–16 December. Paris France, 2005.
17. Laborde J.L., Bouyer C., Caltagirone J.P., Gerard A. Acoustic Bubble Cavitation at Low Frequencies. *Ultrasonics*, 1998, vol. 36, iss. 1–5, pp. 589–594. DOI: 10.1016/s0041-624x(97)00105-4
18. Leighton T.G. *The Acoustic Bubble*. London, U.K., Academic Press, 1994. 240 p. DOI: 10.1016/b978-0-12-441920-9.50004-3
19. Muthukumar S., Kentish S.E., Stevens G.W., Ashokkumar M. Application of Ultrasound in Membrane Separation processes: A Review. *Rev. Chem. Eng.*, 2006, vol. 22, iss. 3, pp. 155–194. DOI: 10.1515/revce.2006.22.3.155
20. Sweetsur A.W., Murr D.D. Effect of Homogenization on the Heat Stability of Milk. *J. Dairy Res.*, 1983, vol. 50, no. 3, pp. 291–308. DOI: 10.1017/S0022029900023128

Popova Natalia Viktorovna. Ph.D., associate professor of “Expertise and quality control of food production”, South Ural State University (Chelyabinsk), tef_popova@mail.ru.

Received 3 February 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Попова, Н.В. Обеспечение интенсификации технологии восстановления сухого молока на основе методов математического моделирования / Н.В. Попова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 29–38. DOI: 10.14529/food160104

FOR CITATION

Popova N.V. Provision of Intensification of Technologies of Milk Recombination on the Basis of Methods of Mathematical Modelling. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 29–38. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160104
