УДК 637.134

Применение вихревого эмульсора для поликомпонентных систем*

Евгения Александровна Фиалкова, д-р техн. наук, профессор кафедры
Владимир Игоревич Баронов, канд. техн. наук, доцент кафедры
Александр Александрович Слободин, аспирант
Владимир Борисович Шевчук, канд. техн. наук, доцент кафедры
Ольга Николаевна Голденшлач, старший преподаватель
Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В.Верещагина
E-mail: baronovv@yandex.ru

Обоснована перспективность применения вихревого эмульсора для поликомпонентных систем с целью интенсификации процесса кристаллизации лактозы в молокосодержащих консервах с сахаром. В предварительных экспериментах на чистом водно-лактозном растворе было показано интенсивное воздействие вихревой обработки на диспергирование кластеров лактозы. Использовался модельный раствор, приготовленный из обезжиренного молока, свекловичного сахара и воды. Продукт обрабатывали в устройстве с конической вихревой камерой, изготовленном при помощи 3D-печати. Определены концентрация сухих веществ при хранении продуктов и средний размер кристаллов лактозы по окончании хранения. После обработки в эмульсоре скорость падения концентрации продукта в первые 5–6 суток была значительно выше, чем при использовании традиционной технологии. После 3 месяцев хранения размер кристаллов лактозы в обработанном продукте почти в 2 раза меньше, чем в контрольном. За счет этого ощущается незначительная мучнистость, в отличие от ярко выраженной песчанистости продуктов, изготовленных по традиционным технологиям. Обработка поликомпонентной системы в вихревом устройстве существенно повышает качество молокосодержащих консервов с сахаром.

Ключевые слова: *эмульсия, эмульсор, вихревое устройство, кавитация, кристаллизация лактозы, консервы молокосодержащие с сахаром.*

Slobodin A.A., Baronov V.I., Shevchuk V.B., Fialkova E.A., Goldenshlach O.N. Application of vortex emulsifier for multicomponent systems
Vologda State Dairy Academy named after N.V.Vereshchagin

The prospects of using a vortex emulsifier for multicomponent systems in order to intensify the process of crystallization of lactose in milk-containing canned food with sugar are substantiated. In preliminary experiments on pure water-lactose solution, the intensive effect of vortex treatment on the dispersion of lactose clusters was shown. A model solution made from skimmed milk, beet sugar and water was used. The product was processed in a device with a conical vortex chamber made using 3D printing. The concentration of dry substances during the storage of products and the average size of lactose crystals at the end of storage were determined. After processing in an emulsifier, the rate of decrease in the concentration of the product in the first 5–6 days was significantly higher than when using traditional technology. After 3 months of storage, the size of lactose crystals in the processed product is almost 2 times smaller than in the control one. Due to this, there is a slight mealyness, in contrast to the pronounced sandiness of products made using traditional technologies. Processing in a vortex device significantly improves the quality of milk-containing canned food with sugar.

Key words: *emulsion, emulsifier, vortex device, cavitation, crystallization of lactose, milk-containing canned food with sugar.*

Одной из причин распространения производства молокосодержащих консервов с сахаром как в России, так и за рубежом является возможность их изготовления на неспециализированных предприятиях. Кроме того, можно получать продукты с заданными физико-химическими, органолептическими и биохимическими показателями [1–5]. Энергозатраты на производство этих продуктов незначительны, так как требуются только на растворение и перемешивание сухих ингредиентов, в отличие от выработки традиционных сгущенных молочных консервов с сахаром [6].

В состав молокосодержащих консервов могут входить сухие продукты, такие как молоко, сливки, пахта или сыворотка, концентрат молочных или сывороточных белков, различные белковые концентраты, лактоза и др. В качестве жирового компонента используются молочные жиры, часто в замороженном виде, масло, сливки, а также растительные жиры и жировые композиции. Консервантом, как и в традиционных консервах, является сахароза. Для улучшения органолептических характеристик добавляют ароматизаторы, красители, стабилизаторы, эмульгаторы. Однако качество таких продуктов уступает традиционным сгущенным молочным консервам, поскольку если размер кристаллов сахара превышает 10 мкм, то появляется порок мучнистости и песчанистости [7].

Качество и хранимоспособность сгущенных молочных консервов повышают введением поверхностно-активных веществ, которые снижают поверхностную энергию, способствуют и интенсифицируют образование зародышей кристаллов. При этом образуются новые центры кристаллизации и замедляется рост уже существующих кристаллов. Той же цели добиваются путем увеличения вязкости, изменения режимов гомогенизации и тепловой обработки продукта. Предлагается проводить направленную кристаллизацию лактозы, ее гидролиз или добавлять стабилизаторы [8]. Иногда считается целесообразным применение пересыщенного раствора лактозы, включающего зародыши кристаллов, а также смеси водорастворимых высокомолекулярных органических веществ, находящихся в кристаллическом состоянии, и кристаллической лактозы [9]. Все перечисленные операции усложняют процесс производства молокосодержащих консервов с сахаром и не всегда дают положительный результат. Исследования, направленные на поиск путей повышения качества и управления процессом кристаллизации лактозы, являются актуальными.

Цель работы — обоснование перспективности применения вихревого эмульсора для обработки поликомпонентных систем, чтобы интенсифицировать процесс кристаллизации лактозы в молокосодержащих консервах с сахаром.

**Работа выполнена на средства гранта Департамента экономического развития Вологодской области (договор № 21).*

Вихревой поток обладает свойством ускоряться по направлению к своей оси. По мере ускорения кинетическая энергия потока возрастает, а потенциальная (по закону сохранения энергии) падает. Статическое давление потока также падает, поскольку оно определяется потенциальной энергией, и теоретически снижается до абсолютного нуля. Такое падение давления приводит к образованию зон кавитации. Появление отрицательных давлений при больших скоростях потока в возникающих в нем зонах кавитации установлено экспериментально [10]. При этом наблюдается такое, казалось бы, неожиданное явление, как «отколы». Поверхность кавитационной каверны приобретает пористую структуру и затвердевает, а затем «откалывается» от жидкостного потока. Следует заметить, что тройная точка воды достигается уже при давлении 611 Па. При таком и более низком давлении среда приобретает температуру 0 °С, затвердевает и начинается процесс сублимации.

Поскольку скорость вихревого потока неограниченно увеличивается по направлению к оси, в приосевой зоне появляются области кавитации с «отколами» на поверхности среды. Именно за счет этого кавитация обладает большой диспергирующей силой. Разрушающиеся «отколы», которые движутся с высокой скоростью и обладают большой кинетической энергией, интенсивно «перемалывают» все структурные образования продукта, попадающего в зону кавитации. Если в эту зону подать молокосодержащий продукт, то произойдет, во-первых, раздробление жировой фракции, которая превращается в тонкодисперсную эмульсию, во-вторых, диспергирование всех остальных компонентов, что исключает расслоение продукта. В частности, разрушение кластеров лактозы приводит к образованию многочисленных центров кристаллизации и замедляет рост кристаллов.

Влияние вихревой обработки продукта изучали на экспериментальной установке (рис. 1). Обрабатываемая смесь подается в вихревое устройство из резервуара насосом. Давление в рабочей камере вихревого устройства настраивается с помощью игольчатого вентиля и фиксируется манометром.

Вихревое устройство изготовлено при помощи 3D-печати (рис. 2). Основной его частью является коническая вихревая камера *2*. Продукт подается через штуцер *1*, расположенный тангенциально по отношению к вихревой камере, а после обработки выходит через штуцер *3*, который также расположен тангенциально. За счет тангенциальной подачи продукт приобретает вращательное

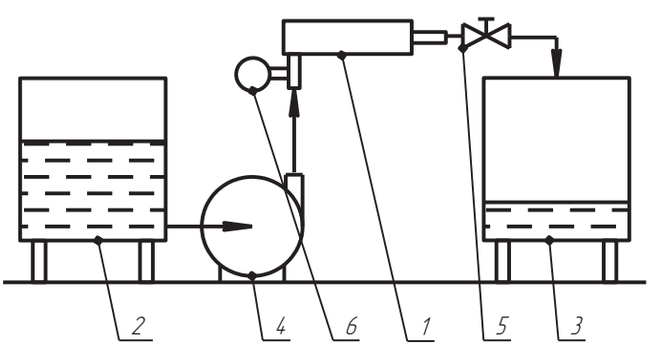

Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – вихревое устройство; 2 – емкость для исходного продукта; 3 – емкость для обработанного продукта; 4 – центробежный насос; 5 – вентиль для регулирования давления; 6 –манометр

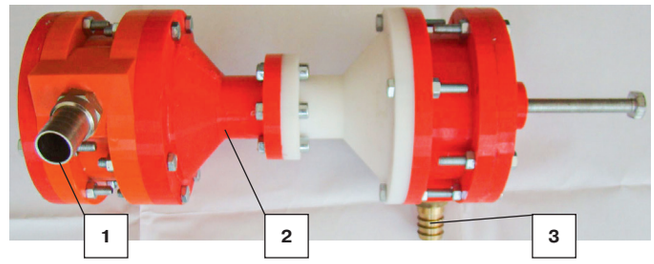

Рис. 2. Экспериментальное вихревое устройство с конической вихревой камерой: 1 – входной штуцер; 2 – корпус; 3 – выходной штуцер

движение, образуется вихревой поток, который перемещается в сторону выходного штуцера. В центральной части вихревого потока образуется зона кавитации с низким давлением, где происходит интенсивное диспергирование всех компонентов молокосодержащего продукта, а также эмульгирование жировой составляющей (при ее наличии). Для нагнетания смеси использован центробежный насос марки ОНЦ 6,3/50К5–5,5/2 с электродвигателем мощностью 5,5 кВт, объемной подачей 6,3 м^3/ч и максимальным напором 50 м.

Предварительные эксперименты проводили на чистом водно-лактозном растворе с концентрацией 40 %. Раствор, подвергшийся вихревой обработке при давлении 0,5 МПа, становился мутным, что означало образование в нем молекулярных ассоциатов лактозы.

Для последующих экспериментов использовали модельный раствор, который включал основные компоненты молокосодержащих консервов с сахаром: сухое обезжиренное молоко (24 %), свекловичный сахар (47 %), воду (29 %). Для приготовления модельного раствора в сухое молоко, смешанное с сахаром, вливали воду температурой 40±2 °С и перемешивали. Раствор выдерживали 30–40 мин (при этом белки набухали) и пастеризовали при 85±2 °С с выдержкой 10–15 мин. Далее смесь охлаждали до 60±1 °С и при этой температуре проводили обработку в вихревом устройстве. Обработанный продукт хранили 30 сут при 10 °С.

Концентрацию сухих веществ определяли с помощью рефрактометра по ГОСТ 8764–73. Для предотвращения растворения лактозы измерения проводили при 10 °С. Коэффициент преломления пересчитывали на температуру 20 °С в соответствии с таблицей поправок. Размер кристаллов определяли путем микроскопирования по ГОСТ 29245–91.

Динамика изменения концентрации сухих веществ в процессе хранения образцов приведена на рисунке 3. Скорость падения концентрации в продукте после обработки в вихревом устройстве в первые 5–6 суток значительно выше, чем в контрольном. Концентрации сухих веществ в обработанном образце также снижается интенсивнее. Значит, в продукте при прохождении через зону кавитации произошло разрушение кластеров лактозы и образовалось большое количество центров кристаллизации. В контрольном образце кластеры крупнее, центров кристаллизации меньше, поэтому скорость кристаллизации в нем ниже, чем в обработанном продукте. В процессе хранения на протяжении 3 месяцев размер кристаллов лактозы в контрольном образце составил $24 \cdot 10^{-6}$ м, в экспериментальном — $12 \cdot 10^{-6}$ м.

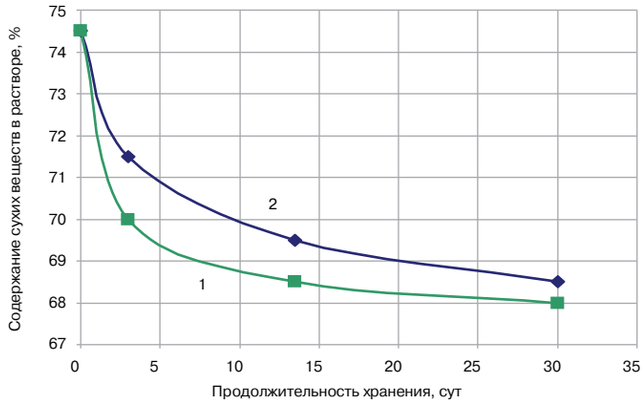

Рис. 3. Изменение концентрации сухих веществ в процессе хранения продукта: 1 – обработанного в вихревом устройстве; 2 – полученного по традиционной технологии (контроль)

Размер кристаллов лактозы в экспериментальном образце почти в 2 раза меньше, чем в контрольном образце. При этом ощущается некоторая мучнистость, а в контрольном образце — ярко выраженная песчанистость. Таким образом, обработка в вихревом устройстве существенно повышает качество молокосодержащих консервов с сахаром по сравнению с традиционной тепловой, однако идеального качества продукт не достигает. Размер кристаллов превышает 10 мкм, тем не менее приближается к оптимальному. Следовательно, небольшая доработка конструктивных и эксплуатационных параметров позволит достигнуть требуемых результатов.

Если сравнить с результатами аналогичной обработки продукта в цилиндрической вихревой камере, то представленный там показатель (размер кристалла лактозы 10 мкм) достигнут с применением энергоемкого плунжерного насоса высокого давления [11, 12], тогда как в данном исследовании использовался центробежный насос. Таким образом, применение эмульсора для обработки поликомпонентных систем с целью интенсификации процесса кристаллизации лактозы при хранении молокосодержащих консервов с сахаром является перспективным направлением использования такого типа устройств. МП

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ***Музыкантова, А.В.*** *Концентрированный молочный продукт с сахаром повышенной биологической ценности/ А.В.Музыкантова, А.И.Гнездилова, Ю.В.Виноградова, В.Б.Шевчук// Молочная промышленность. 2021. № 7. С. 46–47.*

2. ***Беляев, Н.В.*** *Разработка концентрированных молочных продуктов повышенной пищевой ценности/ Н.В.Беляев, Р.А.Кокошин, А.И.Гнездилова// Сб. 6-й Международной молодежной научно-практической конференции «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам», Вологда-Молочное, 2021. С. 163–169.*

3. ***Гнездилова, А.И.*** *Концентрированный молочный продукт с сахаром на основе изолята соевого белка/ А.И.Гнездилова, М.Л.Егоров, А.В.Музыкантова// Молочная промышленность. 2020. № 1. С. 56–57.*

4. ***Гнездилова, А.И.*** *Разработка концентрированного молочного продукта с комбинированным углеводным составом/ А.И.Гнездилова, А.С.Глушкова// Молочнохозяйственный вестник. 2019. № 1(33) 1 кв. С. 70–78.*

5. ***Гнездилова, А.И.*** *Консервированный молочный продукт с сахаром на основе концентрата сывороточных белков УФ/ А.И.Гнездилова, Ю.В.Виноградова, А.В. Музыкантова// Молочная промышленность. 2018. № 2.С. 69–70.*

6. ***Иванцова, М.Н.*** *Энергосбережение на предприятиях молочной промышленности/ М.Н.Иванцова, И.С.Селезнева, М.А.Безматерных, В.Ю.Балдин// International Conference on Recent Advances in Engineering, Technology and Applied Sciences. Conference Proceedings. 2017. С. 180–189.*

7. ***Гнездилова, А.И.*** *Разработка концентрированного сладкого молочного продукта с комбинированным белковым и углеводным составом/ А.И.Гнездилова, Н.В.Беляев, Р.А.Кокошин// Молочнохозяйственный вестник. 2021. № 1(41) 1 кв. С.132–140.*

8. ***Виноградова, Ю.В.*** *Теоретические и практические аспекты процесса кристаллизации лактозы в производстве сгущенных молочных консервов с сахаром/ Ю.В.Виноградова, А.И.Гнездилова// Молочнохозяйственный вестник. № 3(31) 3 кв. 2018. С. 79–89.*

9. ***Топал, О.И.*** *Растворимость и кристаллизация лактозы в многокомпонентных системах молочного производства: автореф. …. канд. техн. наук. Вологда. 1999. 20 с.*

10. ***Давыдов, М.Н.*** *О механизме формирования кавитирующих отколов/ М.Н.Давыдов, В.К.Кедринский// Прикладная механика и техническая физика. 2008. Т. 49. № 2. С. 65–73.*

11. ***Куленко, В.Г.*** *Интенсификация кристаллизации лактозы в сгущенных и сухих молочных продуктах/ В.Г.Куленко, Е.А.Фиалкова, Е.М.Костюков, И.А.Евдокимов [и др.]// Молочная промышленность. 2008. № 12. С. 61.*

12. ***Костюков, Е.М.*** *Разработка вихревого устройства для интенсификации процесса зародышеобразования кристаллов лактозы в молокосодержащих консервах с сахаром: дисс. …канд. техн. наук. Вологда-Молочное, 2009. С. 87–97.*