



Марина Сергеевна Золоторева, канд. техн. наук, главный технолог*
 Дмитрий Николаевич Володин, канд. техн. наук, директор*
 Виктор Константинович Топалов, руководитель службы продаж*
 Иван Алексеевич Евдокимов, главный научный сотрудник
 Центра биотехнологического инжиниринга**
 Борис Владимирович Чаблин, канд. техн. наук, доцент**
 *ООО «МЕГА Профилайн», Ставрополь
 **ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь
 УДК 637.3



Интенсификация переработки молочной сыворотки с применением мембранного оборудования

Молочные предприятия стремятся к модернизации и более эффективному и экологичному производству. Такие тенденции наблюдаются последние 10–15 лет и связаны с развитием и совершенствованием мембранной техники [1]. Появились новые, более совершенные мембраны и, как следствие, расширились области применения мембранного оборудования. Так, мембранные методы хорошо зарекомендовали себя не только в процессах обработки молока, но и в переработке вторичных молочных ресурсов, а также стоков молочных предприятий.

Как известно, при производстве таких популярных и полезных продуктов, как сыр и творог, образуется значительное количество молочной сыворотки. Большие ресурсы и ценный состав сыворотки приводят предприятия к необходимости ее промышленной переработки, что особенно актуально на фоне дефицита молока-сырья и проводимой государством природоохранной политики [2]. Наиболее эффективный способ переработки — это производство сухих сывороточных концентратов, которые характеризуются достаточно длительными сроками хранения, возможностью транспортировки на дальние расстояния и широким спектром применения не только в молочной промышленности, но и других отраслях (хлебобулочная, кондитерская, мясная). При этом не стоит забывать и о высоком качестве продукта, который смог бы конкурировать с импортными аналогами.

С одной стороны, технология сухой молочной сыворотки достаточно традиционна и заключается в очистке, пастеризации и резервировании, вакуумном сгущении, кристаллизации (в случае производства кристаллизованной сыворотки)

и сушке [3]. С другой стороны, производство сухих продуктов является одним из наиболее энергоемких процессов в молочной промышленности, что связано с низким содержанием сухих веществ в сырье, особенно в сыворотке. Поэтому большая часть энергии направляется на удаление влаги тепловым способом — сгущение и сушка. Расходы предприятия на эти процессы составляют значительную долю в себестоимости готовой продукции, особенно если предприятие все еще работает на вакуум-выпарных аппаратах циркуляционного типа, а также сушках, которые были установлены более 20 лет назад. Неотъемлемой составляющей технологии сухой сыворотки в современных реалиях является использование вакуум-выпарных аппаратов пленочного типа и современных сушильных установок, осуществляющих многостадийную сушку продукта с использованием эффективных систем подготовки и очистки сушильного агента.

Применение современных пленочных вакуум-выпарных аппаратов позволяет повысить качество сыворотки благодаря кратковременному термическому воздействию (температура процесса не более 55 °С) и значительно снизить потребление энергоресурсов (применение термической или механической компрессии) [4]. Что касается процесса сушки, то предпочтительнее стоит отдавать многостадийной сушке, оснащенной эффективными циклонами или специальными рукавными фильтрами для предотвращения уноса продукта. Многостадийная сушка обеспечивает снижение затрат энергии на единицу готовой продукции и позволяет получить более качественный готовый продукт. Необходимо также рассмотреть применение процесса кристаллизации

лактозы в технологии сухой молочной сыворотки, так как он позволяет направлять в сушильную установку сырье с повышенным содержанием сухих веществ и, как правило, экономить энергию сушки, получить сыворотку с меньшей гигроскопичностью и лучшей хранимостью. Такая технология позволяет эффективно перерабатывать сыворотку в качественный продукт, снизив энергозатраты, однако в рассмотренном случае отсутствует возможность переработки кислых видов сыворотки.

Около половины всей молочной сыворотки в нашей стране составляет творожная сыворотка, которая имеет более высокую кислотность и отличается по составу, в том числе минеральному (так как содержит повышенное количество кальция и лактатов). Под действием молочной кислоты, образующейся при сбраживании лактозы в процессе производства творога, происходит частичное декальцинирование молочного сгустка и переход кальция в сыворотку. Особенности состава и свойств кислой сыворотки сдерживают ее переработку, так как возникают трудности:

- при тепловой обработке (низкая стабильность белков, образование пригара на поверхности теплообменных аппаратов);
- в процессе вакуумного сгущения (негативное влияние солей кальция на стабильность работы установок);
- при кристаллизации (повышенное содержание минеральных веществ и кислоты препятствует интенсивному процессу кристаллизации лактозы);
- сушке (налипание продукта на стенки сушильной башни из-за высокой кислотности и минерализации).

В итоге возможно получение гигроскопичного продукта кисло-соленого

вкуса, который может быть востребован лишь как ингредиент для кормления животных с рядом ограничений. Промышленной переработке подвергается в основном сладкая подсырная сыворотка с получением сухого продукта. Значительные ресурсы кислой сыворотки практически не используются, попадают в промышленные стоки и окружающую среду, нанося ей вред. Творожная сыворотка требует дополнительных технологических операций по регулированию кислотности и удалению минеральных веществ с целью снижения содержания молочной кислоты и солей, осложняющих процессы технологической обработки. Такая дополнительная обработка применима и к подсырной сыворотке, особенно ее соленым разновидностям, так как позволяет повысить технологические и органолептические характеристики, стандартизировать физико-химические показатели вне зависимости от вида исходного сырья и тем самым повысить качество продукта до международных требований.

Для деминерализации всех видов молочной сыворотки рекомендуется электродиализ как наиболее экономически оправданный и эффективный процесс извлечения минеральных веществ и регулирования кислотности. Электродиализ характеризуется применением ионообменных мембран, способных пропускать только низкомолекулярные вещества в ионной форме. Движущей силой процесса является электрическое поле. Например, электродиализное оборудование АО «МЕГА» (Чехия) специально разработано для промышленной переработки молочного сырья, в том числе и кислой сыворотки. Уникальностью установок являются: наличие функции реверса; организация так называемого холодного процесса фильтрации; применение современных гетерогенных ионообменных мембран Ralex® собственного производства, обеспечивающих более интенсивный транспорт двухвалентных ионов (Ca^{+2} , Mg^{+2}) и лактат-ионов диссоциированной молочной кислоты по сравнению с другими видами ионообменных мембран [5, 6]. Регулировать кислотность в процессе электродиализа возможно до pH 6,0–6,8 в зависимости от вида сырья и производственной необходимости. Стоит подчеркнуть эффективное удаление кальция из сырья при электродиализе с использованием мембран Ralex®. Повышенное

содержание кальция в стандартных условиях существенно влияет на стабильность работы вакуум-выпарных аппаратов, а также на физико-химические свойства готового продукта. Степень удаления кальция зависит от общего уровня деминерализации и может достигать более 80 % [5, 6]. В результате электромембранной обработки улучшаются технологические и органолептические свойства сыворотки, стандартизируется состав, интенсифицируются процессы ее дальнейшей переработки (сгущение, кристаллизация, распылительная сушка) [5, 6]. Применение процесса деминерализации молочной сыворотки на стадии сушки полностью снимает такую проблему, как налипание продукта на стенки сушильной башни.

Оптимизировать процесс электродиализа и последующие процессы удаления влаги возможно с применением баромембранного оборудования, в частности нанофильтрации или обратного осмоса, которые различаются размером пор мембранных элементов и рабочим давлением. Так, при обратном осмосе используются мембраны с минимальным размером пор, способные пропускать молекулы воды, что приводит к концентрированию практически всех компонентов сырья до массовой доли сухих веществ порядка 18–20 % [1, 4]. Мембраны для нанофильтрации проницаемы для ряда ионов, в основном одновалентных (натрий, калий, хлорид-ионы), при этом остальные компоненты сырья концентрируются. Переход некоторой части ионов вместе с водой в пермеат приводит к частичной деминерализации сыворотки до уровня приблизительно 25 % [1, 4]. Такая обработка является более предпочтительной в случае переработки молочной сыворотки, особенно соленой, так как способствует интенсификации и снижению энергопотребления дальнейших технологических операций (электродиализ, вакуумное выпаривание, кристаллизация, сушка). Применение нанофильтрации на первом этапе концентрирования, перед вакуум-выпариванием, позволяет удалить из сырья до 70 % воды. При этом энергозатраты, необходимые для осуществления процесса и удаления 1 т влаги, в 4–5 раз ниже затрат на вакуумное выпаривание [7].

Следует отметить, что по сравнению с традиционными методами обработки молочного сырья мембранные процессы протекают без энергоемких фазовых превращений и характеризуются низкими

температурными режимами обработки (10–15 °C) [5]. Это позволяет исключить влияние высоких температур на термолабильные сывороточные белки, что в конечном счете повышает биологическую ценность и свойства готового продукта, при этом обеспечивается и его микробиологическая безопасность.

Внедрение мембранных технологий позволяет интенсифицировать производство и получить дополнительную прибыль за счет экономии ресурсов как сырьевых, так и энергетических, снижая себестоимость готового продукта. Таким образом, мембранные процессы становятся неотъемлемой частью технологической линии переработки молочной сыворотки, особенно в производстве сухих сывороточных концентратов. Описанная технология является экономически эффективной и позволяет получить продукт, который по качеству и цене способен конкурировать с импортными аналогами.

Список литературы

1. Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Головкина М.В., Золоторева М.С., Топалов В.К., Аписимов С.В., Везирян А.А., Клепкер В.М., Аписимов Г.С. Обработка молочного сырья мембранными методами // Молочная промышленность. 2012. № 2. С. 34–37.
2. Золоторева М.С., Володин Д.Н., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Чаблин Б.В. О переработке молочной сыворотки и внедрении наилучших доступных технологий // Переработка молока. 2016. № 7. С. 17–19.
3. Храмов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки: учебное пособие. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с.
4. Володин Д.Н., Золоторева М.С., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Храмов А.Г., Мертин П. Переработка молочной сыворотки: понятная стратегия, реальные технологии, адекватные инвестиции, востребованные продукты // Молочная промышленность. 2015. № 5. С. 111–116.
5. Evdokimov I., Volodin D., Kulikova I., Zolotoreva M. Industrial processing of acid whey by the Electrodialysis // Electromembrane Processes and Materials. – Cesky Krumlov, Czech Republic. – P. 64–65.
6. Евдокимов И.А. Сочетание нанофильтрации и электродиализа при переработке молочной сыворотки [Текст] / И.А.Евдокимов, В.А.Барсуков, И.К.Куликова, Д.Н.Володин, А.С.Бессонов // материалы Рос. конф. с международным участием «Ионный перенос в органических и неорганических мембранах». – Краснодар: КубГУ, 2008. С. 102–103.
7. Золоторева М.С., Володин Д.Н., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Чаблин Б.В. Тенденции переработки молочной сыворотки // Переработка молока. 2015. № 8. С. 23–24.