

# От отхода к ценному продукту.

## Переработка сыворотки мембранной фильтрацией

**ДЖОРДЖ БОУ-ХАБИБ,  
ВОЛЬФГАНГ ТАЛЬХАММЕР**  
Компания MMS AG Membrane Systems,  
Швейцария

Обычно на 1 т сыра или творога приходится 9 т сыворотки. Производство сыра в России с 2000 г. удвоилось, превысив 400 тыс. т, соответственно в год образуется более 3 млн т сыворотки. В ней примерно 5,9 % сухих веществ, причем состав меняется в зависимости от исходного молока и конкретного процесса производства сыра (состав сыворотки в сравнении с молоком приведен в таблице). Различают сладкую сыворотку (рН 6,7) и кислую (рН 4,6), в которой часть лактозы преобразована лактобактериями в молочную кислоту.

Мощность установок зависит от того, какую поверхность фильтрации она должна иметь, т.е. может быть любой мощности. Как рентабельные рассматриваются установки размером производительностью от 5 до 50 м<sup>3</sup>/ч. Минимальная производительность установки для нанофильтрации и обратного осмоса – 3 м<sup>3</sup>/ч.

При переработке концентрируют сыворотку в цельном виде или ее отдельные компоненты. Чем выше степень отделения отдельных компонентов и уровень гигиены, тем ценнее получаемый продукт. Но увеличивающиеся инвестиции и расходы на поддержание оборудования делают рентабельным отдельные ступени разделения, только начиная с определенных объемов сыворотки.

При мембранной фильтрации жидкость (пермеат) продавливается за счет межмембранного давлением через пористый фильтр (мембрану). В зависимости от размера пор мембрана за-

*Сыворотка является большой экологической проблемой молочного производства из-за большой биологической потребности в кислороде для ее утилизации. В исходной форме из-за малой концентрации она почти не имеет ценности, но компоненты сыворотки применимы в качестве добавок в продукты питания, корма для животных и как промышленное сырье для других отраслей. Компоненты сыворотки могут быть сгущены и фракционированы с помощью мембранных технологий. За счет этого отходы производства превращаются в ценный продукт для рынка.*

держивает жир, белок, сахар или даже соли в так называемом ретентате. Они образуют на мембране слой, который смывается параллельным потоком, что предотвращает закупорку фильтра. Этот принцип называют мембранной фильтрацией в тангенциальном потоке (cross-flow). Мембранные модули могут иметь различные конфигурации и быть изготовлены из разных материалов. На установках переработки сыворотки применяются в основном полимерные мембраны полиэфирсульфоновые, полиамидные и поливинилиденфторидные.

Из соображений экономии места и инвестиций при переработке сыворотки применяются в основном модули спирального типа из полимерных мембран (рис. 1). Для концентрирования сывороточного белка обычно применяют ультрафильтрацию для задержания частиц массой 10 кДа. Нанофильтрация (граница разделения 200 Да) используется для удаления из сыворотки и лактозы солей и для нейтрализации. С помощью обратного осмоса можно сконцентрировать всю сыворотку, пермеат (лактоза и соли) или оставшиеся после нанофильтрации соли. В результате получается прозрачная обессоленная вода. Кроме того, предварительно сыворотку можно полностью



Рис. 1. Модуль со спиральным потоком: внизу – полимерная мембрана под микроскопом; в середине – вид модуля спирального типа; вверху – схематическое изображение модуля

обезжирить на установке микрофильтрации с керамическими модулями (рис. 2).

На выходе процесса в первую очередь концентрат сыворотки, белковый концентрат различной чистоты и концентрат лактозы. Для более дорогих продуктов из кислой сыворотки требуется удалить кислоту, соли и нейтрализовать ее, например, сладкой сывороткой. На рис. 3 показана схема рентабельных вариантов для отдельных объемов производства. Так, для небольших объемов

Компоненты сыворотки	Содержание, %		Размер (масса) частицы	Тип фильтрации
	В молоке	В сыворотке		
Жиры	3–3,5	0,2	0,1–15 мкм	Микрофильтрация (МФ)
Казеин	2,7	0,005	Более 0,2 мкм	Ультрафильтрация (УФ)
Молочные белки	0,45	0,45	15–900 кДа	Ультрафильтрация (УФ)
Лактоза	4,6	4,6	342,3 Да	Нанофильтрация (НФ)
Витамины	0,01	0,01	100–500 Да	Нанофильтрация (НФ)
Зола (минеральные элементы)	0,7	0,55	20–100 Да	Обратный осмос (ОО)

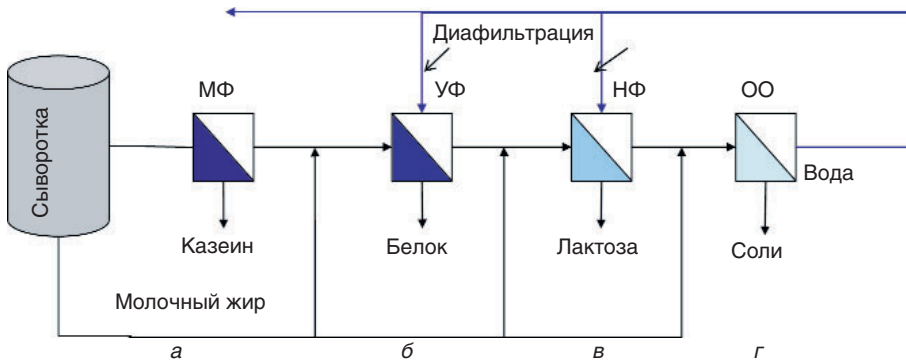


Рис. 2. Варианты схем мембранной переработки сыворотки: а – полное фракционирование сыворотки на компоненты; б – отделение лактозы и солей; в – концентрирование с деминерализацией; г – простое концентрирование сыворотки для производства кормов с получением воды

сыворотки используется только обратный осмос: вода удаляется, а все другие компоненты сыворотки концентрируются. На более крупных сыроварнях и специализированных заводах по сушке могут быть использованы различные установки:

- деминерализованная и нейтрализованная сыворотка производится методом нанофильтрации. Степень чистоты при этом достигается за счет диафильтрации (промывка водой);
- концентрат сывороточных белков производится методом ультрафильтрации;
- если необходима очень высокая степень чистоты, сыворотку можно перед этим подвергнуть микрофильтрации и таким образом обезжирить;

– для дополнительного обезвоживания концентраты сывороточных белков могут быть дополнительно подвергнуты обратному осмосу.

Для маленьких объемов сыворотки (10–50 т/сут) рентабельно только производство концентрата для корма животных. Для этого сыворотку обезвоживают обратным осмосом. Применять концентрат можно прямо на месте производства: с содержанием сухих веществ 12 % для выпойки свиней и 15 % – для выпойки телят. Концентрат с 18 % сухих веществ можно также транспортировать для дальнейшей переработки. Это позволяет объединиться нескольким малым производителям и продавать сыворотку крупным заводам, где есть разделительные филь-

ры, или производителям сухой сыворотки. Транспортировку других жидких компонентов тоже можно сделать дешевле, если их предварительно концентрировать.

Для молочных заводов, на которых объем сыворотки более 50 т, могут быстро амортизироваться системы из нескольких ступеней с ультра-, нанофильтрацией и обратным осмосом. С их помощью удастся производить концентраты белка сыворотки, деминерализованную сыворотку и концентрат лактозы. Белковые концентраты с 35 % сухого вещества находят применение для откорма животных за счет повышенной питательности. Чтобы достичь концентрации белка более 40 %, требуется диафильтрация. При этом концентрат промывают водой, чтобы уда-



Система нанофильтрации в гигиеническом исполнении для концентрирования творожной сыворотки

лить остатки лактозы и солей. Если установка имеет соответствующий гигиенический стандарт и пригодна для производства продуктов питания, то можно использовать функциональные качества сыворотки как пищевой добавки. Ее можно применять кроме прочего для производства сыра «Рикотта», добавки в творог и сыр, а также для повышения вязкости йогурта и добавления в колбасы. В установке нанофильтрации лактоза концентрируется до 22–25 % и при этом удаляется 40–60 % солей. Также в ней можно подготовить пригодную для использования кислую сыворотку, удалив кислоту. Чистую лактозу применяют в хлебопечении, для производства продуктов детского питания, напитков, как компонент лекарств в таблетках. Гидролиз позволит удвоить сладость лактозы. При низком уровне гигиены переработки и без деминерализации сыворотку можно использовать на корм животным или, подвергнув ферментации, получить кормовые дрожжи, биоэтанол, биогаз, молочную кислоту, пенициллин, стартовые культуры и пр. При последующем

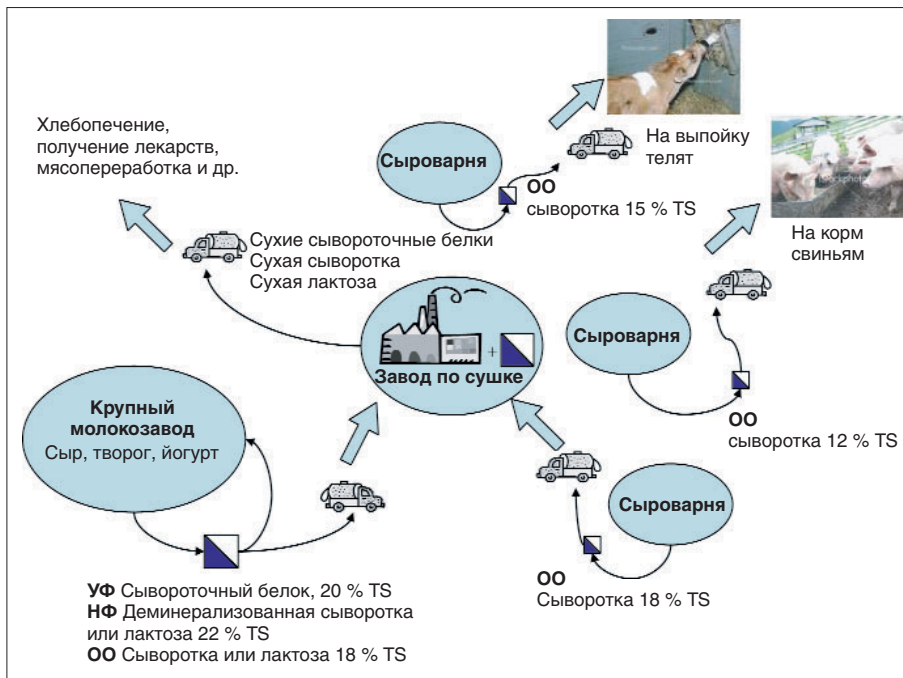


Рис. 3. Варианты переработки сыворотки для заводов различных объемов



обратном осмосе получается чистая обессоленная вода, ее можно применять для очистки установок, диафильтрации и других целей на заводе.

Отдельные концентраты могут быть высушены и храниться в сухом виде. Максимально возможное обезвоживание посредством обратного осмоса дает такие энергетические и финансовые преимущества, что установка амортизируется в течение нескольких месяцев. Кроме того, сушильные заводы подходят как центры сбора сыворотки

с молочных заводов малой мощности, которая поступает предварительно концентрированной обратным осмосом. По представленным выше технологиям концентрат сыворотки перед сушкой разделяют на компоненты. Так как установки для сушки молока в периоды высокого потребления сыра часто полностью загружены, сыворотка может помочь использовать их полностью.

MMS AG Membrane Systems в Цюрихе предоставляет индивидуальные решения для переработки сыворотки с

использованием мембранных технологий. Линия мембранных систем MMS Swissflow позволяет селективно фракционировать и концентрировать отдельные компоненты сыворотки, давая возможность перерабатывать их далее в ценные продукты. Это одновременно означает снижение экологического давления при существенной экономии и коротких сроках амортизации. В каждом конкретном случае можно подобрать решение с максимальной выгодой.

