

ЛЕКЦИЯ: Мембранные способы переработки молочного сырья, их характеристики

Мембранные процессы находят широкое применение для фракционирования и концентрирования жидких молочных продуктов. Использование этих процессов позволяет по новому решать вопросы переработки сырья и открывает возможности в разработке новых видов продуктов питания.

Мембранные методы обработки молочного сырья обычно классифицируют в соответствии с размером удерживаемых или пропускаемых фильтром частиц. Можно отметить 2 основных класса процессов: мембранный процесс фильтрации и обычная фильтрация частиц. Обычная фильтрация частиц употребляется при выделении взвешенных частиц более чем 10 мкм, в то время как мембранная фильтрация изолирует частички, величина которых меньше, чем 10 микрон. Между обычной фильтрацией и мембранной фильтрацией имеется некоторое количество немаловажных различий:

- Структура фильтрационного материала. Фильтрационный материал с раскрытой и образованной структурой употребляется при обычной фильтрации, а при мембранной фильтрации используется узкая мембрана с контролируемым размером пор.

- Воздействие давления. При мембранной фильтрации, влиянием-движущая сила процесса, а при обычной фильтрации влияние используется лишь, чтоб ускорить процесс.

- Конструктивное оформление процесса. При обычной фильтрации поток фильтруемой среды ориентирован перпендикулярно поверхности фильтра, в то время как фильтрация может проводиться в раскрытой системе. При мембранной фильтрации, поток фильтруемой среды направляется параллельно поверхности фильтра, а поток, проникающий через мембрану (пермеат) движется перпендикулярно поверхности фильтра. Это так называемая фильтрация в поперечном потоке или тангенциальная фильтрация. Мембранная фильтрация обязана проводится в замкнутой системе.

- Степень разделения. При обычной фильтрации выделяемые частички могут быть отсоединены полностью от жидкости, а мембранная фильтрация позволяет лишь концентрировать выделяемые частички в меньшем объеме относительного начального размера жидкости .

Схема переработки с помощью мембранных методов на рисунке 1



Рисунок 1. Схема переработки с помощью мембранных методов

Достоинства мембранных способов:

-невысокая энергоемкость

-разделение многокомпонентных систем без фазовых превращений отдельных компонентов

-возможность ведения технологического процесса при низких температурах, что исключает потерю свойств некоторых компонентов

-возможность получения продукта заданных размеров и свойств

Мембранная фильтрация позволяет отсоединять частицы диаметром меньше, чем диаметры пор мембраны от жидкого сырья с помощью давления в мембране. Подаваемое сырье разделено на 2 потока: пермеат- содержащий воду, и частички меньше мембранных пор. Ретентат- содержащий воду, и частички крупнее мембранных пор.

Мембранные методы обработки подразделяются на:

1) **Ультрафильтрация**- это процесс фильтрации под давлением 0,1-0,5 МПа с помощью полупроницаемых мембран, с размерами пор 50-100 нм. Концентрат включает все сывороточные белки.

2) **Обратный осмос**-разделение растворов через полупроницаемые мембраны с порами размером меньше 50 нм при давлении 1-10 МПа. Через мембрану проходит вода, а все остальные части задерживаются мембраной.

3) **Нанофильтрация** – это процесс обратного осмоса с использованием сравнительно открытой мембраны, пропускающей воду и маленькие одновалентные ионы (Na^+ , Cl^-).

4) **Микрофильтрация** – это процесс разделения компонентов в поточном режиме, давление не превышает 0,3Мпа, через полупроницаемую мембрану с диаметром пор до 1000 нм.

Основная характеристика мембранных процессов разделения молока представлена в таблице 1.

Основная характеристика мембранных процессов разделения молока

Показатель	Микрофильтрация	Ультрафильтрация	Обратный осмос
Средний диаметр частиц, мкм	10-0,1	0,1-0,003	0,003-0,0001
Рабочее давление, МПа	0,02-0,2	0,2-1,0	3,5-8,0
Частицы концентрата	Микрочастицы	Макромолекулы, коллоидные частицы	Гидратированные ионы
Задерживаемые частицы	Кишечная палочка, стафилококки, молочнокислые бактерии	Сывороточные белки, мицеллы казеина, бактериофаги	Ионы натрия, калия, кальция
Загрязнения полупроницаемых мембран	Осадок микрочастиц	Гель	Слой слаборастворимых солей

Эффективность мембранных способов в значительной мере зависит от рН среды, ионной силы, прилагаемого давления и величины потока жидкости.

Успешно применяется УФ для концентрации сывороточных белков творожной сыворотки. Сывороточно-белковые концентраты и фильтраты, главным образом, используются при выработке традиционных и новых видов продуктов питания,

отличающихся повышенной биологической ценностью, а в частности при производстве продуктов диетического, лечебного и детского питания.

1. Микрофилтрация

Микрофилтрация – это процесс разделения компонентов в поточном режиме, давление не превышает 0,3Мпа, через полупроницаемую мембрану с диаметром пор до 1000 нм. Основные направления применения микрофилтрации: снижение количества микроорганизмов и фракционирование молочных белков.

Снижение количества микроорганизмов в сырье оказывает положительное влияние в следующих случаях:

Производство питьевого молока с длительным сроком хранения. По сравнению с традиционной тепловой обработкой, при которой микроорганизмы инактивируются, а химический состав молока меняется, микрофилтрация физически удаляет бактерии, споры, мертвые клетки и разнообразные примеси, обеспечивая микробиологическую безопасность, не вызывая нежелательных изменений в химическом составе молока.

Подготовка молока для производства сыров. Природное содержание в молоке анаэробных спор, таких как клостридии, выдерживающих общепринятые режимы пастеризации и вызывающих вспучивание сыров на заключительной стадии созревания, снижается при микрофилтрации. Более того, микрофилтрация позволяет избежать или значительно снизить использование ингибиторов (например, нитратов), обеспечивая получение сыворотки без консервантов.

Производство сухого молока и сухой сыворотки. Микрофилтрация значительно улучшает качество сухого молока и сыворотки посредством снижения количества бактерий и спор в жидком сырье, при этом тепловая обработка сводится к минимуму, что способствует сохранению функциональных свойств сывороточных белков в сухом продукте.

Санация сырного рассола. Рассол для посолки сыров может содержать нежелательные микроорганизмы, и его на предприятиях традиционно подвергают различным видам обработки: тепловой, обработке ультрафиолетом, добавлению консервантов и т.п. Микрофилтрация является альтернативой этим видам обработки, так как предотвращает нежелательные последствия микробиологического загрязнения.

Фракционирование молочных белков. Целесообразно осуществлять для решения ряда технологических задач.

Стандартизация количества белка в молоке при производстве сыра. Нормализация состава сырья в сыроделии является одним из важнейших условий стабильности процесса производства и постоянства качества готовой продукции. Микрофилтрация позволяет фракционировать казеин и сывороточные белки, таким образом, поддерживать нужный уровень казеина в молоке для достижения постоянного соотношения казеин/молочный жир. Это также позволяет сгладить сезонные изменения белкового состава молока, снизить потери белка и количество получаемой сыворотки, повысить эффективность работы оборудования и персонала.

Производство казеина и изолятов сывороточных белков (ИСБ). Микрофилтрация позволяет разделять казеин и сывороточные белки. Фракционированный казеин используется для производства высококачественного казеина и казеинатов, а также в производстве специальных молочных продуктов, обогащенных казеином. Побочный продукт фракционирования (пермеат) содержит нативные сывороточные белки, не подвергавшиеся тепловой обработке и ферментативному (сычужный фермент) или бактериальному (закваски) воздействию.

Также используется для получения жидкого стабилизатора, концентрата сывороточных белков (КСБ), микропартикулированных сывороточных белков (МСБ).

Схема переработки молока с использованием микрофильтрации представлена на рисунке 2.

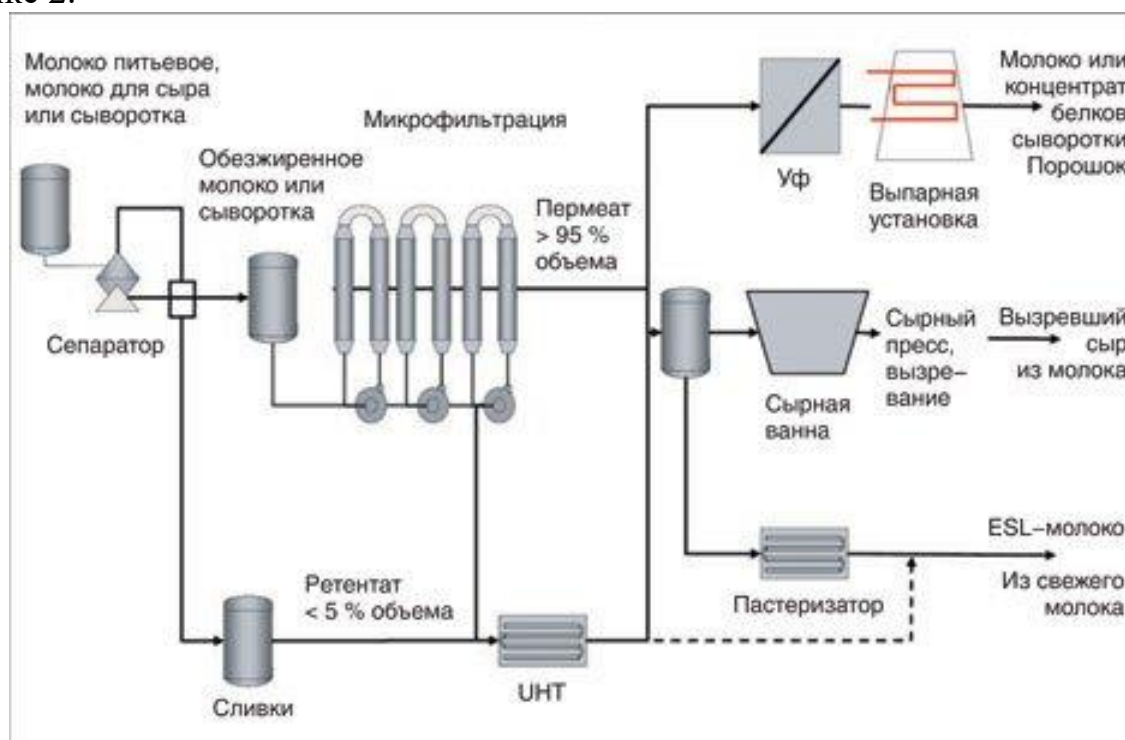


Рисунок 2. Схема переработки молока с использованием микрофильтрации

2. Ультрафильтрация

Ультрафильтрация (УФ)- это процесс фильтрации под давлением 0,1-0,5 Мпа, с помощью полупроницаемых мембран, с размерами пор 50-100 нм. Концентрат включает в себя все сывороточные белки. К большим молекулам относятся казеиновые мицеллы с размером частиц от 0,01 до 0,1 мкм и молекулярной массой 10 000—100 000. К макромолекулам относятся сывороточные белки с размером частиц от 0,001 до 0,01 мкм и молекулярной массой от 1000 до 10 000. Кроме того, к макромолекулам можно отнести витамины, имеющие почти такие же размеры и молекулярную массу, что и сывороточные белки, а также лактозу с частицами размером от 0,0001 до 0,001 мкм и молекулярной массой от 100 до 1000.



Рисунок 3. Пример схемы переработки молока с использованием метода ультрафильтрации

В молочной промышленности УФ используют для выделения белков из молока или молочной сыворотки. В процессе УФ, некоторая часть сыворотки (фильтрат) проходит через мембраны, оставляя при этом на фильтре сывороточные белки. Полученный фильтрат состоит, главным образом, из воды, лактозы и минеральных солей. Другая часть сыворотки (концентрат) проходит между мембранами, унося при этом и выделившиеся белки. Таким образом, концентрат включает все сывороточные белки и ту оставшуюся часть воды, лактозы и минеральных солей, которая не прошла через мембраны. Отношение размера концентрата и сыворотки, поступившей на УФ, составляет обычно 1 : 5.

УФ используют для стандартизации молока по белку при производстве сыра, творога и сухих продуктов, для производства свежего сыра, концентрирования белка и декальцинирования пермеата, снижения концентрации лактозы в молоке (рис. 3)

Направления использования продуктов УФ-обработки и достоинства этого метода приведены в таблице 2.1, 2.2

Вид обработки	Область применения	Достоинства метода
УФ-обработка цельного и обезжиренного молока, пахты и подсырной сыворотки	Производство напитков и сиропа Изготовление молочного сахара Производство кондитерских и хлебобулочных изделий	Использование компонентов молока для выпуска продуктов питания при экономном расходовании энергоресурсов. Совпадение максимума в объемах получения сыворотки с периодом наибольшего потребления напитков Хорошая степень отделения сыворотки от белков и других нес сахаров и в результате высокое качество готового продукта Рациональное использование углеводов молока
УФ-обработка творожной сыворотки	Изготовление глюкозо-галактозных сиропов с использованием иммобилизованной бета-галактозидазы Производство напитков и сиропов	Замена в мороженом, сгущенном молоке и других пищевых продуктах сахарозы, снижение вероятности появления кариеса зубов у потребителей. Удешевление готовой продукции Использование компонентов молока для выпуска продуктов питания при экономном расходовании энергоресурсов
УФ-обработка цельного молока при факторе концентрации менее 2	Производство сычужных сыров по традиционной технологии Производство кисломолочных продуктов	Увеличение выхода готового продукта на 1-3 %. Экономия молока свертывающего фермента 20-80%. Стабилизация технологических процессов изготовления сыра и качества зрелых сыров. Улучшение консистенции и предотвращение выделения сыворотки. Повышение пищевой ценности
УФ-обработка цельного и обезжиренного молока при факторе концентрации более 2	Производство творога, мягких и рассольных сыров	Увеличение выхода на 8-20%. Снижение расхода молока свертывающего фермента. Получение менее кислой сыворотки
УФ-обработка сыворотки	Добавление к цельному питьевому молоку Введение в состав кисломолочных	Повышение биологической и пищевой ценности питьевого молока. Приближение по составу к женскому молоку. Стабилизация белковой системы, связывание водной фазы. Повышение биологической и

	продуктов Производство сметаны Выпуск плавленных сыров. Приготовление напитков, жидких основ и сухих концентратов для напитков. Производство заменителей цельного молока Производство майонеза. Использование при производстве кондитерских и хлебобулочных изделий	пищевой ценности. Достижение плотной консистенции при пониженной жирности. Повышение потребительской ценности Улучшение консистенции и вкуса. Использование компонентов сыворотки в пищевых целях. Обогащение вкуса напитков Высвобождение ресурсов обезжиренного молока для производства продуктов питания Улучшение качества. Рациональное использование компонентов молока. Повышение усвояемости белковой части хлебобулочных изделий
УФ-обработка пахты	Производство сметаны. Изготовление низкокалорийных разновидностей сливочного масла	Улучшение консистенции и вкуса. Сохранение вкусового букета сливочного масла традиционного состава

3. Нанофильтрация

Нанофильтрация (НФ) — процесс, промежуточный между УФ и обратным осмосом. Данный процесс позволяет, как сконцентрировать молочное сырье, так и частично выделить из него минеральные вещества, т. е. произвести частичную деминерализацию до 30 %.

Концентрация молекул и макромолекул молочного сырья — происходит при пропускании его под давлением через полупроницаемые мембраны. Размеры пор данных мембран составляют от 0,01 до 0,001 мкм, поэтому на них концентрируются молочный жир, казеиновые мицеллы и сывороточные белки, а также лактоза и частично минеральные соли; размер частиц до 0,001 мкм и молекулярная масса до 1000. Чаще только используют НФ, после УФ молочного сырья для частичного обессоливания (деминерализации) подсырной сыворотки, а также частичной деминерализации фильтрата, полученного после ультрафильтрации. НФ проводят под давлением 2—4 МПа и температуре 50 °С.

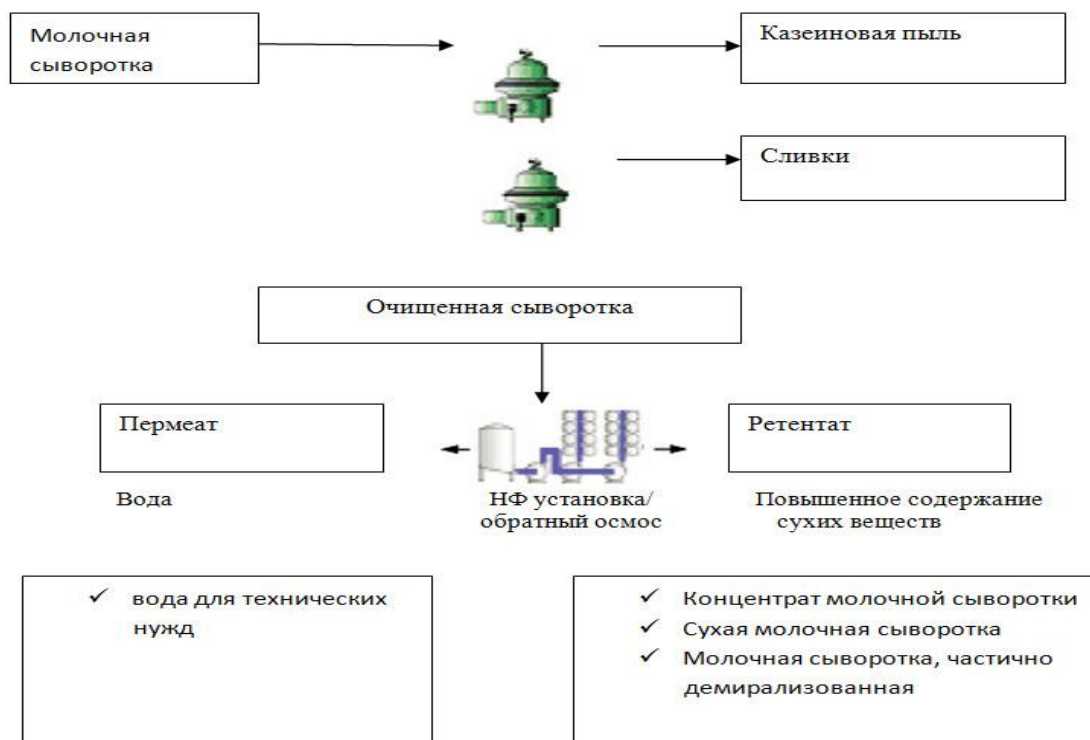


Рисунок 4. Схема переработки молочной сыворотки с использованием технологий НФ или обратного осмоса

В молочной промышленности НФ используют для получения частично деминерализованной (уровень деминерализации до 30 %) концентрированной молочной сыворотки. Ретентат включает часть минеральных веществ, белковые и углеводные компоненты, а пермеат представляет собой водный раствор солей низкой концентрации. Объединение частичной деминерализации и концентрирования в одной технологии имеет широкий спектр преимуществ: уменьшение объемов сыворотки или пермеата и за счет этого сокращение транспортных расходов; повышение органолептических показателей сухой сыворотки за счет улучшения кристаллизации и сушки; улучшение процессов кристаллизации и отделения кристаллов лактозы; повышение качества готового продукта. Ретентат используют при производстве концентратов, сгущенных и сухих продуктов, а пермеат может быть использован на технологические нужды предприятия (рис. 4).

Как и при обратном осмосе, механизмом переноса при НФ является диффузия. НФ мембраны очень схожи по химии поверхностных свойств с обратноосмотическими, но допускают диффузию не только воды, но и некоторых ионов, в основном, одновалентных (например, натрия и хлора). Более крупные ионы, включая двух- и многовалентные, и более сложные молекулы задерживаются.

Поскольку одновалентные ионы диффундируют через НФ мембрану вместе с водой, перепад осмотического давления на мембране меньше, чем при обратном осмосе, поэтому НФ обычно проводится под меньшим давлением.

Типичные применения НФ в пищевой промышленности:

1. Опреснение пищевых и молочных продуктов, напитков, побочных продуктов.
2. Частичное опреснение сыворотки, УФ пермеата или ретентата.
3. Снижение цветности и обработка пищевых продуктов.
4. Концентрирование пищевых и молочных продуктов, напитков, побочных продуктов.
5. Концентрирование побочных продуктов брожения.

Компактные, удобные в управлении и надежные в работе НФ-установки позволяют осуществлять одновременно концентрирование и деминерализацию сыворотки. На выходе, в зависимости от способа реализации НФ-процесса, получают сывороточные концентраты с массовой долей сухих веществ в диапазоне 16-35% и уровнем деминерализации 20-70%. Хорошие органолептические показатели сывороточных НФ-концентратов позволяют хорошо использовать их как в составе традиционных продуктов питания, в частности молочных, так и при разработке других пищевых композиций. За границей, в странах с развитой молочной промышленностью, сывороточные концентраты, полученные с применением мембранных технологий, широко используются в производстве мороженого, кисломолочных напитков, сливочных сыров, майонезов, кондитерских изделий и т.д., а также применяются в составе детских, диетических и специальных продуктов с повышенной биологической и физиологической ценностью.

Полученные сывороточные НФ-концентраты обладают хорошими органолептическими показателями, что обеспечивает возможность их включения в разнообразные технологические схемы получения как традиционных, так и оригинальных пищевых продуктов. В целом, внедрение нанотехнологий в молочную отрасль России позволит:

- исключить слив сыворотки в окружающую среду, что понизит общий уровень экологической опасности в стране;
- максимально полно использовать все составные части молока – уникального продукта, созданного природой;
- дать возможность небольшим молочным заводам России получать дополнительную прибыль, необходимую для развития, а зачастую и для выживания.

4. Обратный осмос

Обратный осмос-разделение растворов через полупроницаемые мембраны с порами размером менее 50 нм при давлении 1-10 Мпа. Через мембрану проходит вода, а все остальные части задерживаются мембраной. При обратном осмосе через мембраны проходит только вода, а все остальные части молочного сырья задерживаются мембраной. Происходит концентрирование молочного сырья. Размеры пор мембран составляют от 0,001 до 0,0001 мкм. Поэтому процесс фильтрации при обратном осмосе идентичен процессу удаления воды из молочного сырья выпариванием. Сквозь мембраны могут проходить лишь вода и одновалентные ионы Na^+ , K^+ . Процесс обратного осмоса осуществляется под давлением 3—6 МПа и температуре 20 °С. Применение высокого давления при обратном осмосе объясняется тем, что в этом случае приходится преодолевать осмотическое давление раствора, которое резко возрастает для низкомолекулярных соединений.

Разделить ВМС и НМС трудно, деление это часто условно, поэтому нельзя четко разграничить процесс ультрафильтрации и обратного осмоса. В обоих случаях требуется преодолевать осмотическое давление раствора, т. к. растворитель переносится в направлении, противоположном возрастанию концентрации растворимого вещества. Практически обратный осмос сводится к сгущению раствора. Преимущество его - возможность проведения процесса при любых температурах, меньшие энергетические затраты и расход тепловой энергии. Это особенно важно при выработке пищевых продуктов, где выпаривание при повышенных температурах приводит к нежелательным последствиям.

Обратноосмотическая обработка молока и молочных продуктов в основном используется для концентрирования, однако, возможны и другие области применения. Предварительное удаление половины водной фазы молока и сыворотки на обратноосмотической установке позволяет в 14 раз снизить энергозатраты и в 2,5-3,0 раза увеличить производительность вакуум-выпарных установок по выпуску сгущенных молочных продуктов.

Применение агрегатов с мембранами 3-го поколения для изготовления жидких концентратов обычной и гидролизованной сыворотки целесообразно на заводах малой мощности и предприятиях с недостаточным обеспечением паром. В дальнейшем эти концентраты транспортируют на специализированные заводы.

Одно из основных преимуществ обратного осмоса при использовании в пищевой промышленности - это уменьшение затрат из-за уменьшения расхода энергии или полное устранение энергоемкого процесса выпаривания.

Существуют и другие преимущества обратного осмоса:

- способность производить сепарацию без теплового воздействия, сохраняя качество продукта;
- уменьшение объема потребляемой воды - благодаря повторному использованию отработанной воды;
- потенциал системы больше - благодаря возможности получения новых продуктов;
- уменьшение объема отходов;
- сравнительно небольшое занимаемое пространство и невысокие капиталовложения из-за устранения необходимости установки парогенератора.

Недостатки заключаются в:

- необходимости затрачивать время и средства для подтверждения безопасности продукции и получения разрешения от управления по пище и лекарствам на использование новых мембранных материалов в пищевой промышленности;
- отсутствие определенных сведений об износостойкости мембран, продолжительности срока эффективной эксплуатации и стоимости их замены;
- чувствительность к уровню pH и химическая инертность;
- ограничение величины рабочего давления в определенных конструкциях;
- проблемы загрязнения мембран при переработке определенных жидкостей.
- Постоянные улучшения обратноосмотических мембран и развитие передового технического оборудования привели к широкому применению технологии обратного осмоса в молочной промышленности.

Особые случаи применения обратного осмоса в молочной промышленности представляют собой концентрацию сыворотки при приготовлении сыра, концентрацию молока, обессоливание сыворотки.

Задание 1. Оформить опорный конспект

Задание 2. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Каково назначение мембранной обработки молочного сырья?
2. Какие факторы влияют на эффективность мембранной фильтрации?
3. Какие другие виды мембранной обработки существуют?