

*О. В. Дымар, к.т.н., И. В. Миклух  
РУП «Институт мясо-молочной промышленности»*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОЦЕССА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ**

*В статье отмечена проблема рационального использования молочных ресурсов (переработка вторичного молочного сырья). Указано, что основным решением данной проблемы является комплексное использование всего сухого остатка и извлечение из него отдельных компонентов. В связи с этим особый интерес представляет мембранная обработка, которая позволяет фракционировать и концентрировать составные части молочного сырья, максимально сохраняя их пищевую, биологическую ценность и технологические свойства, представляет возможным получать целевые продукты с регулируемым составом и свойствами. Рассмотрены различные виды баромембранных процессов, особенности применяемых при этом мембран. Наиболее подробно отражен процесс ультрафильтрации, рассмотрены задачи, которые можно решать при помощи данного баромембранного процесса: концентрирование белков при помощи ультрафильтрации; стандартизация сырья по белку при производстве различных молочных продуктов с применением ультрафильтрации; создание безотходных или малоотходных технологий переработки молочного сырья, снижение экологической загрязненности.*

Актуальной проблемой в молочной промышленности является рациональное использование белков молока, играющих важную роль в обеспечении здорового питания. Белки молока обладают высокой питательной ценностью и почти полностью (на 97–98%) усваиваются организмом [1], в связи с этим встает проблема полного и рационального использования молочных ресурсов. Производство молочных продуктов по традиционным технологиям не позволяет полностью использовать все составляющие части молока, при этом неизбежным является получение вторичного молочного сырья

Основной проблемой при переработке вторичного молочного сырья является молочная сыворотка, промышленная переработка которой в

республике в настоящее время не превышает 25%. Сыворотка в натуральном виде в количестве 45–50% направляется на корм сельскохозяйственным животным. Около 25%, в основном казеиновой и творожной, сбрасывается в канализацию. В целом по республике объем производства молочной сыворотки в 2006 г. составил 1458 тыс. т, в 2007 г. – 1544 тыс. т, в 2008 г. – 1863 тыс. т. С учетом роста объемов производства твердых сыров количество молочной сыворотки неизбежно возрастет, а к 2010 г. прогнозируемый объем ее производства составит около 2 млн т [2]. Возврат сыворотки в хозяйства экономически невыгоден, поскольку приходится транспортировать жидкий продукт с низким содержанием сухих веществ, кроме того требуется охлаждение сыворотки для транспортировки и хранения с последующим нагревом при ее выпойке сельскохозяйственным животным. Попадание молочной сыворотки в системы канализации, а в аварийных случаях и непосредственно в водоемы, наносит значительный ущерб окружающей среде – 1 т молочной сыворотки загрязняет водоемы так же, как 100 м<sup>3</sup> хозяйственно-бытовых стоков [2]. Одним из наиболее ценных компонентов молока являются сывороточные белки, содержание которых достигает в сыворотке 0,6–1,0%. Они обладают ценнейшими биологическими свойствами – содержат оптимальный набор жизненно необходимых аминокислот и с точки зрения физиологии питания приближаются к аминокислотной шкале «идеального» белка, т.е. белка, в котором соотношение аминокислот соответствует потребностям организма. Сывороточные белки являются перспективным сырьем при производстве продуктов лечебного и профилактического назначения [3].

Вторым из наиболее выраженных в количественном отношении видов вторичного молочного сырья является обезжиренное молоко, объемы которого составляют около 50% от массы всего перерабатываемого молока, при этом производство обезжиренного молока каждый год увеличивается. Так, в 2005 г. его получено 1651 тыс. т, в 2006 г. – 2025 тыс.

т, в 2007 г. – 2089 тыс. т. В обезжиренном молоке содержится значительное количество белков (33–36% от сухого остатка), поэтому это сырье целесообразно использовать как в цельном виде при производстве свежих и кисломолочных напитков, так и для получения белковых продуктов (творога, сыра, казеина, казеинатов), сгущенных и сухих нежирных консервов. В Республике Беларусь при переработке обезжиренного молока 36% его объема идет на производство сухого обезжиренного молока, 16% – на выработку казеина (технического). Для производства данных продуктов требуется модернизация оборудования в целях энерго- и ресурсосбережения, повышения качества готовой продукции и снижения ее себестоимости. Необходимым является наиболее перспективная технология переработки обезжиренного молока с максимальным использованием такого его ценного компонента, как белок. По аминокислотному составу белки молока равноценны белкам мяса. Однако в отличие от них не содержат пуриновых оснований, избыток которых отрицательно влияет на обмен веществ в организме, поэтому потреблять белки обезжиренного молока можно в любом возрасте. Важным является и то, что при расщеплении белков обезжиренного молока образуются пептиды и другие компоненты, непосредственно всасывающиеся в кровь [4]. При полном и рациональном использовании обезжиренного молока в пищевых целях можно значительно повысить уровень потребления молочного белка.

Основным решением проблемы переработки вторичного молочного сырья является комплексное использование всего сухого остатка и извлечение из него отдельных компонентов. Существующие методы переработки вторичного молочного сырья и устаревшее технологическое оборудование не позволяют полностью выделить его ценные компоненты, способствуют изменению нативных свойств белка, отрицательно влияют на органолептические и технологические свойства получаемых продуктов, требуют значительных энергетических затрат. В связи с этим

особый интерес представляет мембранная обработка, которая позволяет фракционировать и концентрировать составные части молочного сырья, максимально сохраняя их пищевую, биологическую ценность и технологические свойства, представляет возможным получать целевые продукты с регулируемым составом и свойствами.

Мембранный процесс – это процесс, основанный на использовании полупроницаемых мембран, обладающих способностью селективно (избирательно) пропускать или задерживать компоненты разделяемой жидкой смеси [3]. Перенос веществ через мембрану происходит под действием разности давлений по ее обе стороны (баромембранные методы разделения).

Наиболее специфическим и важным элементом мембранного оборудования являются мембраны. От их свойств в большой степени зависят качественные показатели получаемых продуктов, надежность и долговечность оборудования, а также экономические показатели работы. Мембраны, которые можно применять в молочной промышленности, должны отвечать определенным требованиям: высокой удельной производительности (проницаемости); высокой селективности по отношению к высокомолекулярным веществам разделяемой среды (белок, жир); низкой селективности по отношению к низкомолекулярным компонентам (лактозе); достаточной механической прочности, отвечающей условиям монтажа, транспортировки и хранения; устойчивости к действию среды разделяемой системы и ее компонентов; стабильности основных характеристик в процессе эксплуатации; возможности регенерации их свойств с помощью различных моющих средств; возможно низкой стоимости [3].

При проведении процесса баромембранной фильтрации разделяемая среда под давлением подается на мембрану, при этом на ее поверхности задерживаются частицы, размер которых больше размера пор мембраны, а остальная жидкая среда проходит через поры мембраны, благодаря давлению, создаваемому насосом. Принципиально существу-

ют два способа проведения процессов баромембранного разделения – тупиковый и проточный (рисунок 1) [5].

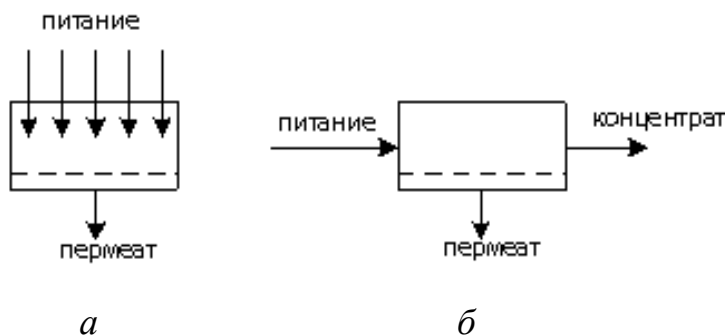


Рисунок 1 – Способы мембранного разделения  
*а* – тупиковый; *б* – проточный

Тупиковую фильтрацию используют редко, в основном на патронных мембранных элементах, хотя при введении регенерации мембран с помощью гидравлического удара обратным током пермеата со сбросом порции загрязнений из аппарата такой способ возможен и в других случаях.

Для предотвращения загрязнения поверхности мембраны и, как следствие, снижения производительности и выхода из строя установки приоритетным является применение проточной фильтрации, при которой входящий поток продукта направляется параллельно мембране с достаточно большой скоростью (4–7 м/с для керамических мембран и 1–1,5 м/с для полимерных мембран). Вследствие постоянного движения жидкости и частиц над поверхностью пористой мембраны происходит непрерывная очистка поверхности от накапливающегося осадка.

В зависимости от вида используемых мембран различают основные виды мембранных аппаратов [5]: пленки и пластины – плоскорамные; трубки – трубчатые; свернутые пленки – рулонные; полое волокно – волоконные.

Баромембранные процессы разделяют в зависимости от размера пор используемых мембран (рисунок 2).

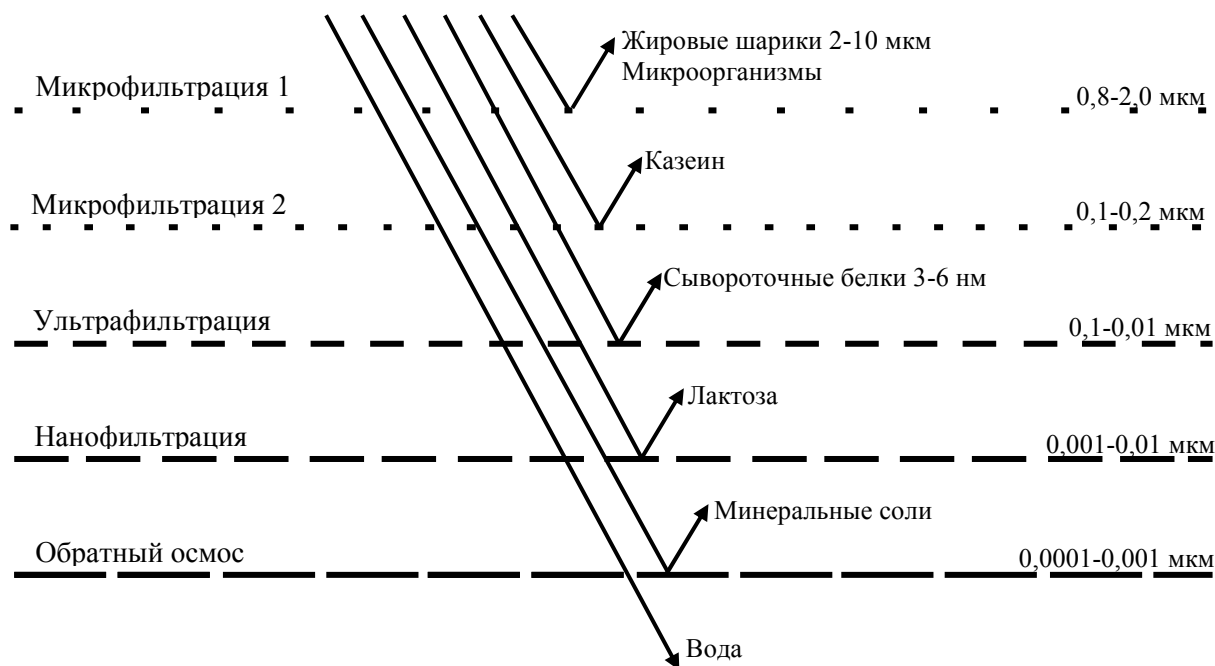


Рисунок 2 – Классификация баромембранных методов разделения молочного сырья

Ультрафльтрация – наиболее часто применяемый процесс баромембранного отделения при переработке молочного сырья. Для проведения этого процесса используют полупроницаемые мембраны с диаметром пор от 0,01 до 0,1 мкм, способные задерживать компоненты с молекулярной массой от 10000 и выше [3], что позволяет решить следующие задачи:

- концентрирование молочных белков для производства молочно-белковых концентратов и лактозного раствора;
- изменение соотношения между белком и другими компонентами (нормализация по белку) при производстве различных молочных продуктов (молоко питьевое, сыр, творог, йогурт, сухое молоко, детские продукты);
- создание безотходных или малоотходных технологий переработки молочного сырья, способствующих снижению экологической загрязненности.

*Концентрирование белков при помощи ультрафильтрации.* В современных условиях жизни и деятельности человека особое значение приобретает создание функциональных продуктов питания, призванных сыграть определяющую роль в улучшении здоровья и предупреждении ряда заболеваний. Производство пищевых продуктов, обогащенных концентратами молочных белков, постоянно увеличивается, причем направления использования концентратов в значительной степени определяются способами получения и их свойствами.

Основными группами молочного белка являются казеин и сывороточные белки. До настоящего времени в нашей стране в качестве молочно-белковых концентратов выделяли отдельно казеин и отдельно сывороточные белки. В основе промышленных способов получения казеина в виде белковых концентратов, сыра, творога лежит разрушение его коллоидного состояния, причем коагуляция казеина связана с его денатурацией и удалением части органического кальция и фосфора. Традиционные способы получения сывороточно-белковых концентратов из сыворотки также основаны на коагуляции белков.

При переработке молочного сырья на белковые концентраты происходят потери белка при его осаждении, растворении, промывке и переосаждении. При этом могут происходить изменения структуры в белковой молекуле, приводящие к частичной потере биологических и функциональных свойств продукта. Получаемые при этом значительные объемы молочной сыворотки требуют дополнительных затрат на ее переработку [1], при которой .

Важной является проблема изготовления продуктов с максимально возможным сохранением природной биологической ценности и функциональных свойств. Определенный интерес для получения белковых концентратов представляет использование ультрафильтрации, при которой не происходит фазовых превращений при разделении, что исключает сильные денатурирующие воздействия. Данный баромембранный метод

обработки позволяет сконцентрировать белки из молочного сырья наряду с отделением минералов и лактозы.

При ультрафильтрации обезжиренного молока в концентрат переходят как казеин, так и сывороточные белки. Питательная ценность белковых продуктов с совместным выделением белков молока несколько выше, чем концентратов казеина и сывороточных белков в отдельности, за счет их взаимного обогащения и более сбалансированного аминокислотного состава [3]. С применением ультрафильтрации из обезжиренного молока получены белковые концентраты с массовой долей сухих веществ до 25%, в том числе белка до 14–15%. При дальнейшей обработке полученные концентраты подвергаются высушиванию [1].

Более эффективным способом переработки молочной сыворотки по сравнению с традиционными, направленным на возможно более полное извлечение и использование ее белков, является проведение процесса ультрафильтрации, при котором получают концентраты сывороточных белков с массовой долей сухих веществ до 25% при содержании белка до 19%. После сушки жидкого концентрата получают сухой белковый концентрат с содержанием белка до 85% [6].

Высокой чистоты белковых концентратов можно достичь промыванием их в процессе ультрафильтрации водой. Такой процесс называется диафильтрацией. При этом низкомолекулярные компоненты (лактоза, соли и частично аминокислоты) будут уходить в фильтрат.

Концентраты используют как белковую добавку в производстве самых разнообразных продуктов. Их используют в качестве основы для производства пищевых продуктов быстрого приготовления, при производстве мороженого, питьевого молока и кисломолочных продуктов, в производстве мясных изделий; в кондитерской промышленности; в детском, диетическом и спортивном питании.

В настоящее время характерна тенденция увеличения выпуска сыров из восстановленных молочно-белковых концентратов. Причинами



этого являются сезонность и низкое качество молока-сырья. Часто поступающее на заводы молоко является несиропригодным, имеет низкое содержание белка, что усложняет производство сыров и ухудшает их качество. Одним из путей решения этой проблемы является использование белковых концентратов, способных восполнить недостаток белка в молоке, улучшить его синергетические свойства. Применение молочно-белковых концентратов позволяет частично решить проблему сезонности производства сыров, повысить качество и увеличить выход готовой продукции на 25% [7].

Фильтрат, полученный в результате ультраfiltrации молочного сырья, содержит лактозу (концентрация на уровне 4%) и минеральные соли. При разумном использовании из него с помощью мембранных методов обессоливания можно выделить чистый молочный сахар, тоже имеющий спрос на рынке [6]. Также фильтрат может быть использован при производстве продуктов детского и спортивного питания, при производстве напитков, мороженого; в качестве сырья для биохимического синтеза новых продуктов; для нормализации сухих и жидких продуктов по белку и лактозе.

***Стандартизация сырья по белку при производстве различных молочных продуктов с применением ультраfiltrации.*** Обычно содержание белка в молоке варьируется от 2,8 до 3,6%, но оно легко стандартизируется посредством установки ультраfiltrации. Данная технология стандартизации белка несет существенные экономические выгоды и широко используется при производстве различных молочных продуктов [8].

Применение ультраfiltrации в производстве питьевого молока и кисломолочных продуктов позволяет вырабатывать продукты высокого качества с улучшенными консистенцией и вкусовыми свойствами. Получение молока, содержащего 1,5% жира и 4,5–5,0% белка, обеспечивает органолептические качества продукта, схожие с натуральным моло-

ком [9], такой продукт более приемлем для потребителя, чем молоко с добавкой СОМ, казеинатов или копреципитатов. Питьевое молоко указанного состава можно получить путем нормализации исходного молока обезжиренным молоком до жиробелкового соотношения 0,7 с последующей ультрафильтрацией в 1,3–1,8 раза или непосредственно путем нормализации исходного цельного молока обезжиренным концентратом молока, полученным методом ультрафильтрации. Масса вносимого концентрата варьируется в зависимости от фактора концентрирования ультрафильтрата при его получении.

Во ВНИМИ разработан и запатентован способ получения кефира [9], который отличается тем, что нормализацию молока по содержанию сухих веществ осуществляют путем ультрафильтрации исходного молока, повышая содержание общих сухих веществ в нормализованном молоке на 0,5–4,0% по отношению к содержанию сухих веществ в исходном молоке. Далее проводят УВТ-обработку и сквашивание нормализованного молока. Готовый продукт обладает высокими органолептическими свойствами, не расслаивается при хранении, имеет повышенную пищевую и биологическую ценность.

При производстве йогурта использование ультрафильтрованного нормализованного молока до фактора концентрирования 4,0 способствует значительному улучшению сенсорных свойств, накоплению ароматических веществ в процессе ферментации. Продукт обладает высокой влагоудерживающей способностью, предотвращающей отделение сыворотки в процессе хранения [9].

При производстве сыров используется технология, при которой проводится предварительное концентрирование молока путем ультрафильтрации, в результате которого содержание белка в смеси повышается (частично удаляется вода из молока), после чего, в соответствии с технологическими параметрами соотношения белок/жир, на сепараторе доводится необходимое содержание жира и смесь подается в сыроизго-

товители. В итоге получается смесь, обогащенная белком, и 20–25%-ная экономия по использованию электроэнергии, пара, заквасок, применяемых на меньшее количество смеси с тем же выходом готового продукта [8]. Так при производстве сыра Фета расход молока сокращается с 8,5 до 6,5 кг/кг сыра. Кроме того, концентрирование при помощи ультрафильтрации позволяет сократить расход молокосвертывающего фермента (до 60%) и бактериальной закваски, уменьшить время созревания сыра и продолжительность технологического процесса, а также автоматизировать процесс производства и контроля [10].

При производстве ультрафильтрованного творога применяют два способа: первый – это ультрафильтрация молока с целью его концентрации с последующим сквашиванием, второй – это ультрафильтрация сквашенного сгустка [11].

По первому способу цельное молоко концентрируют до фактора концентрирования 3 или 5 раз по объему, после этого концентрированное молоко пастеризуют, охлаждают и сквашивают до pH 4,8. Из концентратов с фактором концентрирования 5 выход творога составлял 100%, т.е. отстоя сыворотки не наблюдается. Такой творог имеет очень плотную консистенцию, приятный вкус и внешний вид. Получаемый сгусток практически не отдает влагу, содержание сухих веществ в нем изначально составляет 18–20%.

По второму способу цельное молоко перед сквашиванием пастеризуют при температуре 90–95 °С в течение 3–5 мин. Высокотемпературная пастеризация обеспечивает необходимые микробиологические показатели, улучшает свойства творога, а также снижает загрязнение мембран сывороточными белками. После пастеризации молоко охлаждают, вносят закваску и сквашивают до pH 4,5–4,6, после чего сгусток перемешивают и направляют на термизацию. После сквашивания происходит увеличение среднего диаметра мицелл казеина до величины, достаточной для эффективной ультрафильтрационной обработки. Далее проводят

процесс ультрафильтрации до фактора концентрирования 2,5–2,9 раз по объему [10].

Производство творога с использованием ультрафильтрации позволяет снизить расход сырья и соответственно себестоимость готовой продукции. Такой творог отличается от традиционного структурой, более нежной консистенцией, улучшенными вкусовыми качествами, высокой биологической ценностью за счет обогащения сывороточными белками, доля которых составляет 16–18%, (в традиционном твороге 6–8%) [12]. Ультрафильтрованный творог можно использовать в качестве исходного сырья для производства масс, творожных сырков, творожного мороженого, плавленых сыров, как основу для творожных десертов, в качестве начинок для различного рода кондитерских изделий, выработки аэрированных изделий – творожного зефира, суфле, воздушных творожков и др., при этом их себестоимость будет значительно ниже.

Ультрафильтрация является одним из приоритетных направлений создания молочных продуктов детского питания, особенно пастообразных. Продукт обогащается сывороточными белками при использовании белков молока на 95%, выход увеличивается на 15%, повышаются санитарно-гигиенические показатели, биологическая ценность увеличивается на 8–10% чем у традиционного творога.

Особенно большое значение стандартизация белка имеет для производителей сухих молочных продуктов, при производстве которых благодаря понижению уровня белка до требуемых норм можно добиться значительной экономии сырья и направить отделенные белки на производство сопутствующих товаров.

***Создание безотходных или малоотходных технологий переработки молочного сырья, снижение экологической загрязненности.*** Технологию ультрафильтрации можно отнести к энерго-, ресурсо- и материалосберегающим по сравнению с традиционными методами переработки молока и вторичного молочного сырья. Переработка сыворотки

с использованием ультрафильтрации не только снижает нагрузку на очистные сооружения, обеспечивает дополнительным сырьем основное производство, что экономически обосновано, но и улучшает экологию всего молочного производства (полученный при этом безбелковый фильтрат является удобным сырьем для многих смежных технологий, например для производства молочного сахара и др.). Концентрирование сыворотки методом ультрафильтрации используется также для уменьшения затрат на транспортирование сыворотки при централизованной ее переработке на другом специализированном предприятии.

Постоянно возрастающий объем вторичного молочного сырья, его пищевая и биологическая ценность обуславливают необходимость совершенствования существующих технологических процессов и поиска новых, более прогрессивных, экономически целесообразных и малоэнергоемких способов промышленной переработки. Ультрафильтрация нашла широкое распространение в молочной промышленности. Применяя данный баромембранный метод, можно производить широкую гамму белковой продукции в соответствии с запросами потребителей и современными представлениями науки о здоровом питании. Использование ультрафильтрации позволяет улучшить качество, повысить биологическую ценность и выход готовой продукции из единицы сырья при производстве различных молочных продуктов, максимально снизив при этом технологические потери. Комплексная промышленная переработка и рациональное использование вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности позволят одновременно увеличить ресурсы биологически полноценных пищевых продуктов; повысить экономическую эффективность производства за счет исключения из себестоимости основных продуктов стоимости вторичного молочного сырья и получения дополнительной прибыли от реализации и использования низкожирных продуктов; не допустить загрязнение окружающей среды компонентами сухого остатка молока.

## Литература

1. Молочников, В. В. Современные подходы к получению растворимых белковых концентратов / В. В. Молочников, Т.А. Орлова // Переработка молока. – 2008. – № 4. – С. 52–53.
2. Свирщевский, С. Сыворотка – продукт будущего / С. Свирщевский // Молочный продукт. – 2008. – № 4 (23). – С. 11–12.
3. Храмцов, А. Г. Технология продуктов из молочной сыворотки: Учебное пособие / А. Г. Храмцов, П. Г. Нестеренко. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с.
4. Храмцов, А. Г. Продукты из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки / А. Г. Храмцов, Э. Ф. Кравченко и др.; под ред. А. Г. Храмцова и П. Г. Нестеренко.–М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.–296 с.
5. Основы проектирования производств, использующих мембранное разделение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.membrane.msk.ru>. – Дата доступа: 26.01.2008.
6. Грошев, И. Мембранные технологии в молочной промышленности / И. Грошев, С. Зверев // Переработка молока. – 2004. – № 12. – С. 20–21.
7. Суюнчев, О. А. Использование молочно-белковых концентратов в качестве сырья для мягких сыров / О. А. Суюнчев, А. С. Рудаков, Е. А. Слоневская // Переработка молока. – 2006. - № 7. – С. 19.
8. Берговин, А. М. Мембранная фильтрация в молочной промышленности / А. М. Берговин // Переработка молока. – 2008. – № 3. – С.10-11.
9. Щедушнов, Д. Е. Применение мембранной фильтрации в молочной промышленности: обзорная информация / Д.Е. Щедушнов. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1992. – 28 с.

10. Ультрафильтрационные установки [Электронный ресурс] – 2006. – Режим доступа: <http://www.raston.ru> – Дата доступа: 08.01.2008.

11. Клепкер, В. М. Использование белков молока при производстве творога и творожных изделий / В. М. Клепкер // Молочная промышленность. – 2008. – № 8. – С. 12–13.

12. Исследование процессов ультра- и микрофльтрации кисломолочного сгустка и молочной сыворотки на пилотной установке ГНУ ВНИМИ с металлокерамическими мембранами «Trumem» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.molochnic.ru> - Дата доступа: 08.01.2008.