ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ В ЦЕЛЯХ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОСМЕТОЛОГИИ

Ильина С.И., кандидат технических наук, доцент,
Комляшев Р.Б., кандидат технических наук, доцент,
Носырев М.А., кандидат технических наук,, доцент,
Сипягина Т.А.,
Хоменков А.С.,
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Аннотация: *статья посвящена анализу химико-технологических процессов получения и переработки молочной сыворотки для целей ее использования в косметологии. Автором обозначена актуальность и значимость темы исследования. Рассмотрен состав молочной сыворотки. Акцентируется внимание на том, что содержащиеся в ней компоненты являются сырьём для различных косметических средств, в частности – шампуней. Проводится сравнительный анализ традиционных и нетрадиционных способов переработки молочной сыворотки. Делается вывод в пользу последних и аргументируется тезис о том, что перспективной технологией переработки и дальнейшего концентрирования молочной сыворотки является именно мембранная технология, позволяющая вести процессы при щадящих температурных условиях, без фазового перехода и, соответственно, при наименьших энергетических затратах. Использование мембранных технологий ведет к снижению капитальных и эксплуатационных затрат предприятия, что, в свою очередь, сокращает срок окупаемости оборудования.*

Ключевые слова: *химико-технологические процессы, молочная сыворотка, косметология, молоко, мембранные технологии*

CHEMICAL-TECHNOLOGICAL PROCESSES OF SEPARATION OF MILK WHEY FOR ITS USE IN COSMETOLOGY

Ilyina S.I., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Komlyashev R.B., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Nosyrev M.A., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Sipyagina T.A.,
Khomenkov A.S.,
Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

Abstract*: the article is devoted to the analysis of chemical and technological processes of production and processing of whey for the purposes of its use in cosmetology. The author indicates the relevance and significance of the research topic. The composition of whey is considered. Attention is focused on the fact that the components*

contained in it are raw materials for various cosmetics, in particular, shampoos. A comparative analysis of traditional and non-traditional methods of processing whey is carried out. The conclusion is made in favor of the latter and the thesis is argued that the promising technology for processing and further concentration of whey is precisely the membrane technology, which allows the processes to be carried out under sparing temperature conditions, without a phase transition and, accordingly, at the lowest energy costs. The use of membrane technologies leads to a reduction in the capital and operating costs of the enterprise, which, in turn, reduces the payback period of the equipment.

***Keywords**: chemical and technological processes, milk whey, cosmetology, milk, membrane technologies*

Общепризнан тот факт, что использование вторичных сырьевых ресурсов не только экологически и социально, но и экономически обоснованная тенденция, в т.ч. выступающая инструментом развития различных отраслей экономики, признанная и активно применяемая международным сообществом. Так, в сфере мировой молочной промышленности большие перспективы имеет переработка *молочной сыворотки*, которая образуется при производстве творога и сыра и содержит большое количество белков, витаминов, которые используют в косметологии [6, 21].

Известно, что сыворотка представляет собой жидкость, полученную путем отделения творога от молока, или является побочным продуктом производства сыра или казеина. Сыворотку классифицируют на творожную, получаемую при выработке творога, подсырную – при выработке сыра и казеиновую – при выработке казеина. Всего в мире более 15000 видов молочной сыворотки. Однако, на практике задействуются только два типа молочной сыворотки – *сладкой и кислой*. В сыроделии побочный продукт – сладкая сыворотка, а в производстве творога и казеина – кислая. Калорийность молочной сыворотки составляет 18-27 ккал на 100 граммов.

Состав сыворотки зависит от различных факторов: жирности, способа производства и т.д. Основным компонентом в составе сухих веществ молочной сыворотки является лактоза, которой содержится более 65%. Остальные основные компоненты: белковые вещества – 14%, минеральные – 7,7%, жир – 5,7%, прочие – 1%. Стоит отметить, что в этих белках есть незаменимые аминокислоты, которые не вырабатываются организмом человека, и, соответственно, попадание их в наш организм возможно только с пищей. По сравнению с другими природными белками, белки молочной сыворотки являются очень ценными, например, они участвуют в процессе формировании новых белков в печени.

В исследовании С.Н. Липатникова и соавт. [11] приведено сравнение содержания аминокислот в нефракционированном белке молока и сывороточных белках молока (табл. 1):

Таблица 1

Сравнительные данные содержания аминокислот в нефракционированном белке молока и сывороточных белках молока

Название аминокислоты	Нефракционированный белок молока	Сывороточные белки молока
Изолейцин	152,5	155,0
Лейцин	142,86	175,71
Лизин	150,91	165,45
Метионин + цистин	102,86	162,86
Фенилаланин + тирозин	178,33	136,67
Треонин	122,5	130,0
Триптофан	170,0	220,0
Валин	138,0	114,0

Из данной таблицы можно определить, что сывороточный белок в наибольшей степени обогащает продукт лейцином, цистином, триптофаном и метионином. В свою очередь, данные аминокислоты выполняют очень важные функции в организме. Лейцин – понижает уровень сахара в крови, предотвращает появление усталости и, следовательно, укрепляет иммунитет; также способствует развитию мышечной ткани. Метионин влияет на защиту суставов, наполняет организм антиоксидантами, препятствует отложению жиров, необходим для синтеза нуклеиновых кислот (отвечают за хранение, передачу, реализация генетической информации и другие функций), коллагена (обеспечивает прочность и эластичность тканей) и других белков. Триптофан играет важнейшую роль в работе центральной нервной системы, влияет главнейшим образом на сон и отдых. Цистин – серосодержащая аминокислота, за счет этого улучшает усвоение питательных веществ в клетках; замедляет процесс старения, участвует в образовании соединительной ткани, способствует выведению токсинов из организма, как лейцин, и обладает антиоксидантными и антиканцерогенным действием.

Кроме того, в молочной сыворотке есть минеральные вещества: магний, кальций, фосфор, калий, витамины различных групп, никотиновая кислота. Безусловно, деминерализованная сыворотка теряет часть микрокомпонентов, но при этом повышается содержание ценных белков и аминокислот.

Молочная сыворотка обладает множественными полезными свойствами: выводит соли тяжелых металлов, токсины и т.д., её можно использовать в качестве компонента диет, она влияет на уменьшение воспалительных процессов на коже и на слизистой, частично заменяет свежие фрукты и овощи, если в организм поступает недостаточное количество питательных веществ и т.д.

Одним из направлений использования сыворотки является ее применение в косметологии [18]. По данным исследований использование молочной сыворотки в косметологии обусловлено ее быстрым косметическим эффектом в силу высокой концентрации и проникающей способности активных компонентов.

Содержащиеся в ней: витамин B5 служит для разглаживания кожи, витамины Е и С активизируют выработку коллагена, витамин B3 (ниацин) улучшает оттенок кожи и оздоравливает ее, витамин B9 – для защиты от отрицательного влияния внешней среды, калий способствует интенсивному увлажнению кожи, кальций активизирует обменный процесс.

Также молочную сыворотку перспективно применять в виде косметических средств: шампуней, масок для волос.

Волосы состоят примерно из 87% кератина, который в свою очередь состоит из шестнадцати различных аминокислот [11, 15]. Основными из них являются цистеин, лизин, метионин и аргинин. В составе коллагена фундаментальными аминокислотами являются пролин, глицин, лизин, метионин. Именно лизин и метионин являются незаменимыми. Лизин способствует ускорению роста волос и формированию здоровой фолликулы. Метионин увеличивает приток крови к фолликулам и коже головы. Их воздействие способствует ускорению роста волос, уменьшению их выпадения и повышению качества и структуры волоса. Из таблицы 1 становится понятным, что переработка сыворотки способствует получению тех самых аминокислот, которые входят в состав кератина. Пополнять запасы аминокислот можно не только наружно, в виде масок, шампуней, кондиционеров с применением деминерализованной сыворотки, но также в качестве нутриентов сыворотки, таким образом, воздействие на структуру волос, кожи и здоровья в целом будет производиться изнутри.

В целях получения концентратов, которые впоследствии можно использовать в косметологии, сыворотку необходимо перерабатывать.

Как уже отмечалось, в сыворотке всегда присутствуют сывороточные белки и азотистые вещества, которые отрицательно влияют на выделение жира, поэтому их следует удалить в первую очередь. Для этого можно использовать метод тепловой, кислотной или кислотно-щелочной коагуляции.

Тепловая коагуляция основана на том, что при нагреве сыворотки до 85°С альбумин и глобулин в виде хлопьев выпадает в осадок в виде всплывающей рыхлой массы (альбуминный творог) и осадка на дне (альбуминное молоко). Этим способом выделяется только 85% сывороточных белков, поэтому он дополняется внесением кислоты, хлорида кальция или щелочи. Осажденные белки и жир выделяют фильтрацией или сепарированием (рис. 1).

Содержание жира в подсырных сливках обычно составляет 25-30%. Их можно использовать для производства специальных продуктов с высоким содержанием жира [2].

Концентрирование сухих веществ.

Вторым большим этапом, разделенным на несколько стадий, проводится концентрирование сухих веществ. Из сыворотки удаляют влагу, для чего ее направляют в вакуум-выпарные установки, в которых идет её сгущение. Процесс проводят при температуре 50-60°С, чтобы предупредить побурение, образование меланоидов и карамелизацию.

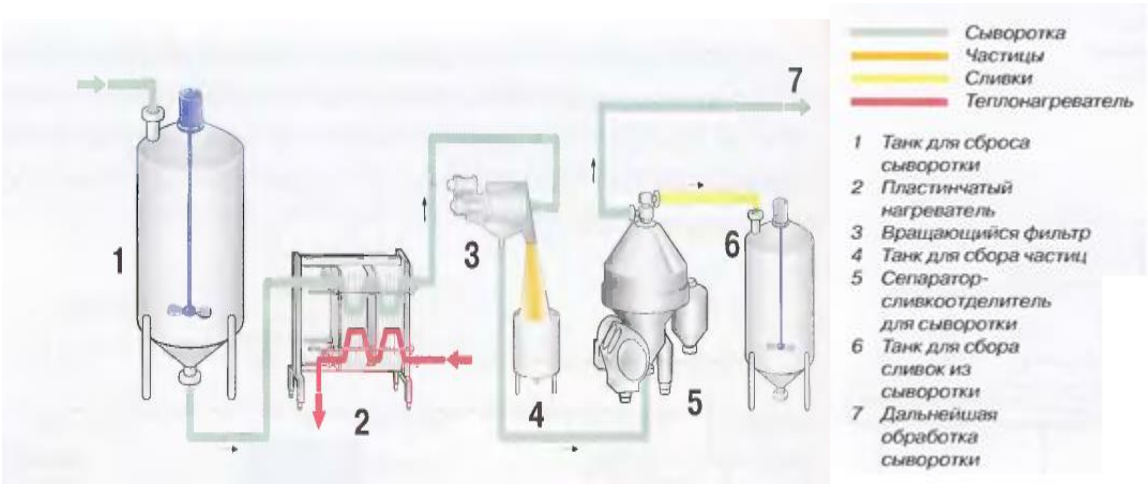

Рис. 1. Выделение казеиновых частиц и жира из сыворотки [21]

Концентрацию сухих веществ сыворотки доводят до 60-65%. Это значит, что сыворотку надо сконцентрировать примерно в 10 раз. В конце сгущения температуру повышают до 70-75°С, чтобы не было преждевременной кристаллизации [13, 14].

Названные способы считаются традиционными. К нетрадиционным относят современные мембранные технологии.

Ультрафильтрация. Ультрафильтрация – это баромембранный процесс «фильтрации» растворов, содержащих коллоидные частицы, через полупроницаемые мембраны под давлением от 2 до10 бар. В этом случае обычно применяют полимерные мембраны с размером пор 0,001-0,1 мкм. Стоит отметить, что в этот предел входят частицы казеина, сывороточных белков и молочный жир. Подобная обработка аккуратно концентрирует все без исключения фракции белков молока (сыворотки), целиком сохраняя их природные качества [7]. При использовании ультрафильтрации можно сконцентрировать сывороточные белки или их отдельные фракции: необходимые элементы задерживаются мембраной, создавая поток ретентата, а более мелкие, растворенные элементы – лактоза, небелковые азотистые соединения, минеральные вещества – проходят через поры мембран, создавая поток пермеата.

В диссертации В.А Лазарева [10] приведены результаты исследований концентрирования сыворотки ультрафильтрацией (табл. 2) в лабораторных условиях (Уральская государственная сельскохозяйственная академия) и в условиях промышленного производства (ООО «Юговской комбинат молочных продуктов, ООО «РостАгроКомплекс»).

На лабораторной установке были выявлены основные характеристики оптимального режима процесса ультрафильтрации молочной сыворотки (рис. 2, 3). В эксперименте использовались керамические ультрафильтрационные мембраны отечественного производства (ООО «НПО «Керамикфильтр», г. Москва).

Таблица 2

Показатели молочной сыворотки после УФ [10]

Параметры	Сыворотка творожная		Сыворотка подсырная	
	концентрат	пермеат	концентрат	пермеат
Белок общий, %	8,45	0,01	6,82	0,01
Лактоза, %	4,27	4,25	4,92	4,95
Жир, %	3,30	0,00	1,04	0,00
Минеральные вещества, %	0,70	0,65	0,67	0,61

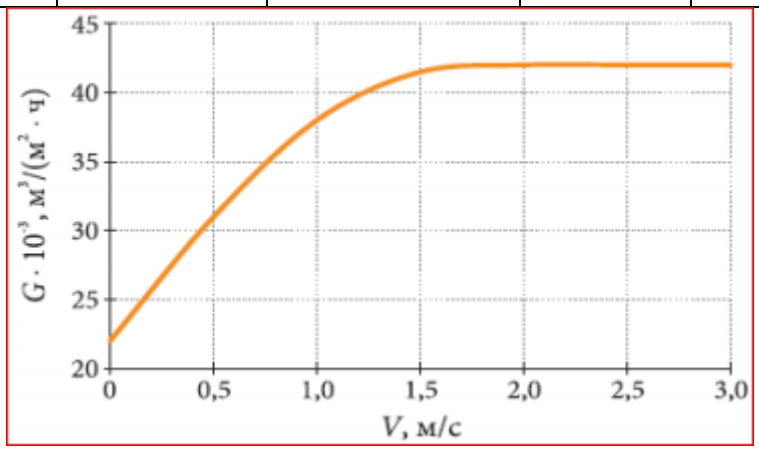

Рис. 2. Зависимость проницаемости от скорости течения сыворотки над мембраной [10]

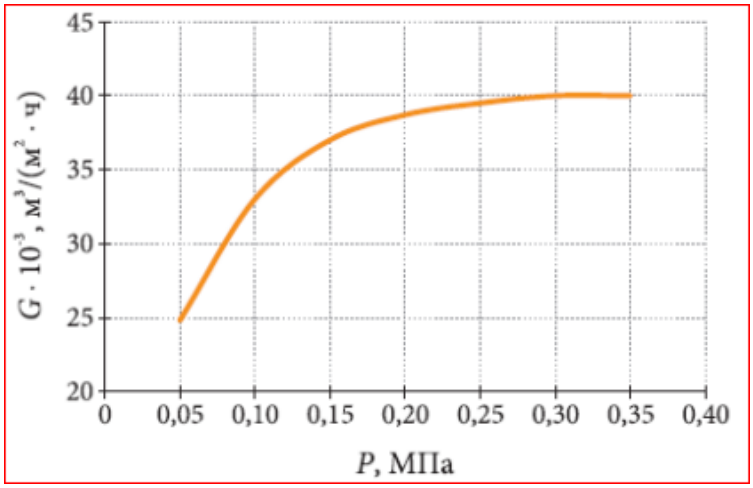

Рис. 3. Зависимость проницаемости мембран от давления внутри контура [10]

Из первого графика можно сделать вывод, что при скорости потока сыворотки над мембраной равна 1,5-2,0 м/с достигается проницаемость мембран, равная $40*10^{-3}$ $м^3$ /($м^2$*ч), и которая с увеличением расхода остается постоянной. С учетом того, что при увеличении расхода возрастают гидравлические потери, можно сделать вывод, что такая скорость является оптимальной. Аналогичный вывод можно сделать об оптимальных значениях давления внутри мембранного контура при сохранении приемлемой проницаемости мембран равной 0,3 МПа (рис. 4). Стоит отметить, что для разделения сыворотки с помощью ультрафильтрации можно использовать как полимерные, так и

керамические мембраны. Однако известно, что для разделения на керамических мембранах сыворотке не требуется тщательная предварительная подготовка, а также керамические мембраны значительно проще регенерируются, кроме того, срок эксплуатации керамических мембран в 3-5 раз больше по сравнению с полимерными мембранами [10].

Обратноосмотическое концентрирование. Концентрирование на обратноосмотических элементах используют с целью дегидратации ультрафильтрата сыворотки. Благодаря ему можно довести концентрацию по сухим веществам до 25%, сэкономив при этом на энергетических затратах по сравнению с использованием для этой цели выпаривания [12]. В своей работе В.А. Лазарев описывает эксперименты по обратноосмотическому разделению сыворотки с использованием мембраны МГА– 80П (сыворотка при этом обессоливается примерно на 20%).

Рис. 4. Керамическая мембрана [9]

На основании проведенных опытов им были сделаны выводы о влиянии основных технологических параметров на характеристики процесса обратноосмотического концентрирования молочной сыворотки [10]:

– рабочее давление для проведения процесса ОО должно быть в пределах 2,0-2,4 МПа для растворов с исходной концентрацией 5-15% по сухим веществам и 3,8-5,0 МПа для растворов с концентрацией 15-22%;

– процесс ОО желательно проводить при t = 20±5℃;

Нанофильтрация. Ещё один процесс мембранного разделения, характеризующийся высокой задерживающей способностью по многозарядным ионам. Размер пор нанофильтрационных мембран составляет 10^{-2} -10^{-3} мкм) [2, 17]. Эффект разделения происходит за счет того, что на мембране создается постоянный электрический заряд, отталкивающий от поверхности частицы и ионы, которые несут заряд того же знака [16]. Нанофильтрацию используют с целью дегидратации (удаляется до 70% воды), увеличение содержания лактозы, а также для регулиования минерального состава, кислотности, органолептических и технологических характеристик [4, 20].

Так в производственных условиях авторами [3] были получены показатели молочной сыворотки после нанофильтрации ультрафильтрационного пермеата (табл. 3).

Таблица 3

Показатели молочной сыворотки после нанофильтрации ультрафильтрационного пермеата [3]

Параметр	Концентрат	Пермеат
Белок общий	0,05	-
Лактоза	20,20	0,1
Жир	0,00	-
Минеральные вещества	0,90	0,4
Сухие вещества	21,15	0,5

Нанофильтрационный модуль был оснащен мембранами DOW NF245 (производство США). Раствор поступал в нанофильтрационный модуль без какой-либо подготовки после процесса ультрафильтрации. В процессе нанофильтрационного разделения получался концентрат водного раствора лактозы – прозрачный раствор с интенсивным по окраске желто-зеленым цветом, содержащий сухие растворенные вещества более 20%, и пермеат, представляющий собой практически чистую воду, с небольшим количеством солей, пригодный для CIP-мойки оборудования.

В настоящее время для нанофильтрации чаще всего используют спиральные витые мембраны (рис. 5), обладающие большой компактностью [19].

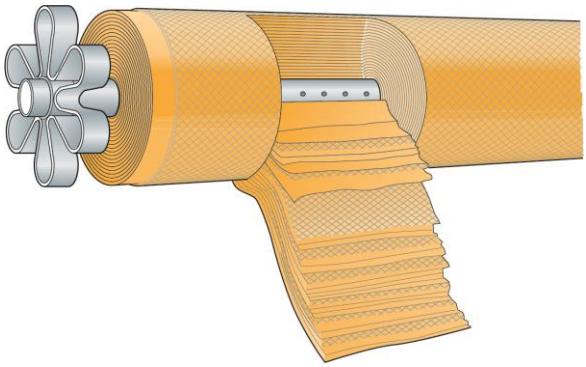

Рис. 5. Спиральная мембрана с противосдвиговым устройством

Электродиализ. Электродиализ – это электромембранный метод, позволяющий избирательно удалять ионы солей из раствора путем их миграции под действием электрического поля через мембраны, которые избирательно проницаемы для катионов и анионов. На рис. 5 изображена схема устройства электродиализного модуля для деминерализации молочной сыворотки.

В нее входит набор ячеек, образованных чередующимися катионо- и анионообменными мембранами, размещающимися на расстоянии 1 мм друг от друга. Между парой электродов может находиться до 200 таких ячеек.

Пара электродов, каждый из которых находится в конце этой группы ячеек, содержит отдельные промывочные каналы, как показано на рис. 6, сквозь которые циркулирует поток рассола: защищающий электроды от химического воздействия. Сыворотка в процессе переработки и рассол подаются в установку в чередующиеся ячейки. Блок ячеек может быть подключен к пластинчатому теплообменнику или пластинчатому модулю ультрафильтрации [7, 8].

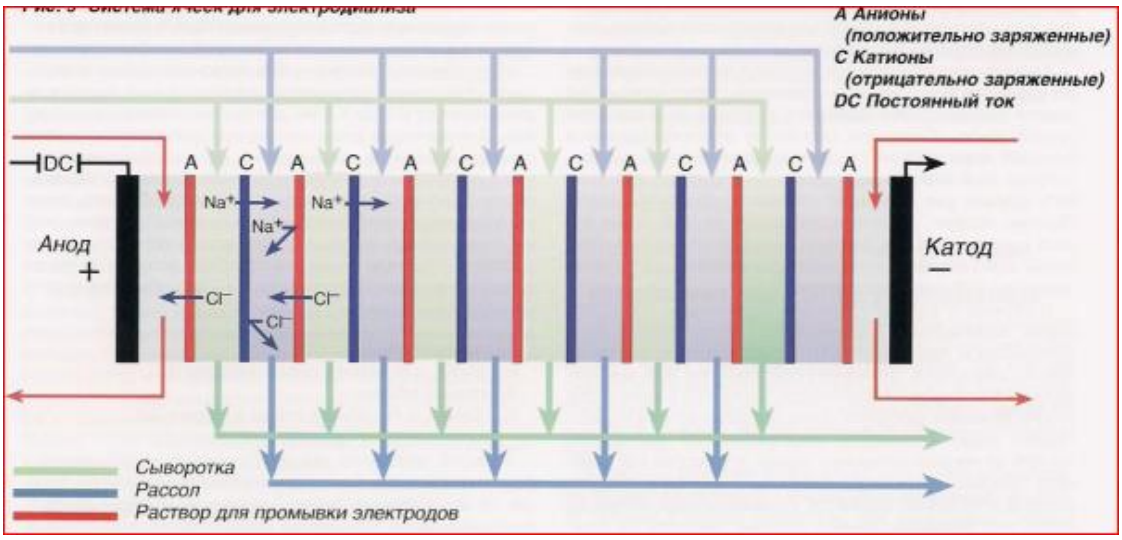

Рис. 6. Схема устройства электродиализной установки [5, 9]

Преимущество переработки молочной сыворотки с использованием электродиализа [2]: оптимизация минерального состава сыворотки вплоть до глубокой деминерализации (90%) [9]; снижение кислотности в сыворотке; повышение степени растворимости сухой сыворотки (подсырной и творожной); возможность перерабатывать любую сыворотку, в том числе кислую творожную, а также смесь творожной и подсырной.

Для достижения максимального эффекта и требуемых характеристик продукта лучше комбинировать процессы в соответствии с производственными задачами. Так, благодаря сочетанию нанофильтрации и электродиализа можно повысить эффективность и производительность последнего за счет обработки частично деминерализованной сыворотки с повышенным содержанием сухих веществ (до 18-22%) [2, 5, 9].

Важно отметить, что все мембраны рано или поздно приходят к такой проблеме, как их регенерация. То есть, речь идет о восстановлении производительности и проницаемости, которые уменьшаются из-за засорения пор мембран. Анализ научных источников показал, что регенерацию мембран можно осуществить четырьмя способами: гидравлическим, механическим, химическим и физическим. Рассмотрим их более подробно.

В *гидравлические способы* очистки входят: промывка напорного канала повышенным расходом воды, газожидкостной эмульсией, пульсирующим потоком, обратная промывка пермеатом [8]. Чаще всего используют способ промывки напорного канала модуля струей воды. Воду подают через мембранный аппарат с большой скоростью. Можно было бы рассматривать промывку с подачей газожидкостной эмульсией, так как она эффективней, но сложнее в организации и по стоимости. При подаче в напорный канал пульсирующего потока возникают гидравлические удары, которые помогают отслаивать осадки от мембран [1].

Суть *механического метода* в том, что механическое воздействие на поверхность мембраны специальных материалов, содержащих химические растворители. Способ этот практичен, но применим обычно только в аппаратах с трубчатыми мембранами и в некоторых конструкциях аппаратов с плоскопараллельной укладкой мембран [1].

Химический метод регенерации проводят путём регулярной химической промывки мембран (кислотная отмывка, щелочная отмывка, биологическая отмывка). Этот способ применяют не всегда, а только в ряде случаях, например: при снижении производительности мембранной установки на 10-15% при постоянном давлении, при увеличение рабочего давления мембранной установки на 10-15% при постоянной производительности, при снижении селективности мембранной установки на 10-15%. Кислотная промывка позволяет удалить с поверхности мембран неорганические осадки (например, карбонаты различных металлов, гидроокиси алюминия и железа). Щелочная промывка удаляет органические загрязнения обратноосмотических мембран [1].

Физический способ является гипотетическим. Планируется использовать его для воздействия на мембрану электрическим, магнитным, ультразвуковым полями. Действие ультразвука разрушает слой насыщенного растворителя и обеспечивает доставку свежего раствора к поверхности загрязнения. Преимуществами этого метода являются эффективность и производительность, но, к сожалению, сам ультразвук своим воздействием очистить мембрану не может – для этого необходимы дополнительные меры с участием химикатов и дорогим оборудованием [1].

Итак, как указано выше, существуют два основных метода получения молочной сыворотки: традиционный и нетрадиционный (с использованием мембранных установок). Достоинствами традиционных методов являются: низкие затраты на предподготовку сыворотки, отлаженность производства. К недостаткам можно отнести высокие энергозатраты. Достоинствами мембранных методов являются: во-первых, фракционирование отдельных компонентов и получение их определенного соотношения; во-вторых, безотходность технологии, в-третьих, экологичность применяемых технологических операций и процессов, в-четвертых, биологическая стабилизация и низкая аллергенность продуктов, в-пятых, минимальное воздействие на сырье и экологическая безопасность готовых продуктов, в-шестых, возможность полной механизация и автоматизация производственных процессов. Компаративный анализ позволяет заключить, что *переработка молочной сыворотки с использованием мембранных методов разделения более эффективна, чем традиционных*.

Ежегодно в мире получают до 100 млн. тонн молочной сыворотки. Стоит отметить, что она достаточно долгое время считалась «проблемным» продуктом, т.к. не имела коммерческой стоимости. Однако, в последние годы её стали активно перерабатывать и использовать в различных отраслях, в т.ч. в косметологии [6]. В частности, это обусловлено тем, что молочная сыворотка является наиболее приемлемой по составу и свойствам, питательной и биологической ценности сырьем для использования в косметике.

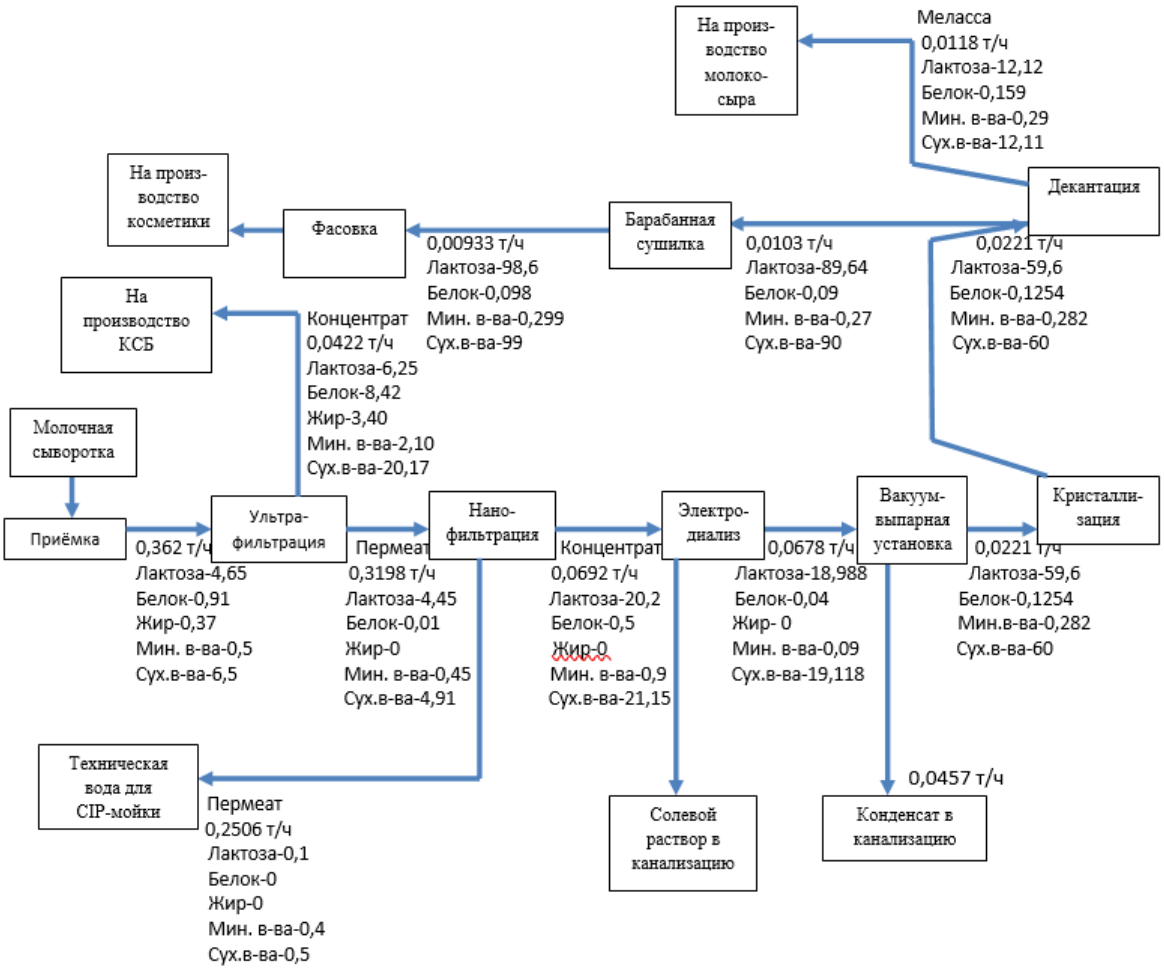

Рис. 7. Блок-схема выделения необходимых веществ из молочной сыворотки для использования в косметологии

Благодаря использованию современных технологических процессов переработки сыворотки как *концентрирование, фракционирование* и др. позволит получать биологически активные продукты на ее основе. Наиболее перспективной технологией извлечения и дальнейшего концентрирования молочной сыворотки считается *мембранная технология*, позволяющая вести процесс при щадящих температурных условиях, без фазового перехода воды, при наименьших энергетических затратах. Использование мембранных технологий ведут к снижению капитальных и эксплуатационных затрат предприятия, что, в свою очередь, сокращает срок окупаемости оборудования.

На основании проведенного анализа нами была предложена схема переработки молочной сыворотки (см. рис. 7). Также был проведен расчет производства концентрирования молочной сыворотки по предложенной схеме производительностью 5 т/сутки при его создании «с нуля». Рентабельность в этом случае составила 42%, и срок окупаемости – менее 11 лет. Однако при перепрофилировании имеющихся технологических мощностей, а также изменении производительности, эти сроки будут сокращаться.

Литература

1. Абдуллин И.Ш. и др. Регенерация модифицированных композиционных мембран ВЧЕ-плазмой пониженного давления // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 3. С. 35 – 40.

2. Байланд Г. Технология производства молочных продуктов. М.: Тетра ПакАО, 1995. 440 с.

3. Тимкин В.А., Лазарев В.А., Минухин Л.А. Баромембранная технология переработки молочной сыворотки как фактор продовольственной безопасности региона // Известия УрГЭУ. 2013. № 3-4 (47-48). С. 130 – 135.

4. Володин Д.Н., Золоторева М.С., Топалов В.К.Переработка молочной сыворотки: понятная стратегия, реальные технологии, адекватные инвестиции, востребованные продукты // Молочная промышленность. 2015. № 5. С. 111 – 116.

5. Гущин А.А. Исследование и разработка низкотемпературной технологии получения белковых и углеводных концентратов из молочной сыворотки: автореф. дис. … канд. тех. наук. Кемерово, 2019. 18 с.

6. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.

7. Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Головкина М.В. и др. Обработка молочного сырья мембранными методами // Молочная промышленность. 2012. № 2. С. 34 – 37.

8. Залашко М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки. М: Агропромиздат, 1990. 192 с.

9. Лазарев В.А. Разделение и концентрирование молочной сыворотки на ультрафильтрационных и обратноосмотических мембранах: дисс. ... канд. тех. наук. Екатеринбург, 2015. 119 с.

10. Липатникова С.Н., Гнездилова А.И., Музыкантова А.В. Использование сухой деминерализованной молочной сыворотки в производстве концентрированных молочных продуктов // Молочно-хозяйственный вестник. 2015. № 2 (18). С. 90 – 95.

11. Липатов Н.Н., Марьин В.А., Фетисов Е.А. Мембранные методы разделения молока и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1976. 168 с.

12. Храмцов А.Г., Рябцева С.А., Лодыгин А.Д. и др.Патент РФ № 2218798, МКИ А 23 С 21/00. Способ производства сухой молочной сыворотки. Приор. 28.12.2001, опубл. 20.12.2003, бюлл. № 35.

13. Пашук З.Н., Апет Т.К. Хранение и подготовка молока и молочных продуктов // Статья о производстве. М.: Гиорд, 2020. 402 с.

14. Твердохлеб Г.В., Диланян З.Х., Чекулаева Л.В., Шилер Г.Г. Технология молока и молочных продуктов. М.: Агропромиздат, 1991. 463с.

15. Технология производства молочных продуктов. Переработка сыворотки // Молочная промышленность. 2010. № 3 (54). С. 34 – 49.

16. Фетисов Е.А., Чагаровский А.П. Мембранные и молекулярно-ситовые методы переработки молока. М.: Агропромиздат, 1991. 272 с.

17. Хоха Д.С. Разработка низкотемпературной технологии сухого пермеата молочной сыворотки: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.04. Ставрополь, 2020. 162 с.

18. Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2011. 804 с.

19. Храмцов А.Г., Евдокимов И.А. Интенсивная технология молочного сахара. М.: ДеЛи принт, 2004. 277 с.

20. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П. Способ получения молочной сыворотки с пониженной концентрацией остаточного белка: пат. 2432769 Российская Федерация. 2011.

21. Золотарева М.С., Володин Д.Н., Бессонов А.С. и др. Электродиализ – наиболее эффективный процесс деминерализации молочной сыворотки // Молочная промышленность. 2015. № 3. С. 37 – 38.

References

1. Abdullin I.SH. i dr. Regeneraciya modificirovannyh kompozicionnyh membran VCHE-plazmoj ponizhennogo davleniya Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. № 3. S. 35 – 40.

2. Bajland G. Tekhnologiya proizvodstva molochnyh produktov. M.: Tetra PakAO, 1995. 440 s.

3. Timkin V.A., Lazarev V.A., Minuhin L.A. Baromembrannaya tekhnologiya pererabotki molochnoj syvorotki kak faktor prodovol'stvennoj bezopasnosti regiona. Izvestiya UrGEU. 2013. № 3-4 (47-48). S. 130 – 135.

4. Volodin D.N., Zolotoreva M.S., Topalov V.K.Pererabotka molochnoj syvorotki: ponyatnaya strategiya, real'nye tekhnologii, adekvatnye investicii, vostrebovannye produkty. Molochnaya promyshlennost'. 2015. № 5. S. 111 – 116.

5. Gushchin A.A. Issledovanie i razrabotka nizkotemperaturnoj tekhnologii polucheniya belkovyh i uglevodnyh koncentratov iz molochnoj syvorotki: avtoref. dis. … kand. tekh. nauk. Kemerovo, 2019. 18 s.

6. Dytnerskij YU.I. Baromembrannye processy. Teoriya i raschet. M.: Himiya, 1986. 272 s.

7. Evdokimov I.A., Volodin D.N., Golovkina M.V. i dr. Obrabotka molochnogo syr'ya membrannymi metodami. Molochnaya promyshlennost'. 2012. № 2. S. 34 – 37.

8. Zalashko M.V. Biotekhnologiya pererabotki molochnoj syvorotki. M: Agropromizdat, 1990. 192 s.

9. Lazarev V.A. Razdelenie i koncentrirovanie molochnoj syvorotki na ul'trafil'tracionnyh i obratnoosmoticheskih membranah: diss. ... kand. tekh. nauk. Ekaterinburg, 2015. 119 s.

10. Lipatnikova S.N., Gnezdilova A.I., Muzykantova A.V. Ispol'zovanie suhoj demineralizovannoj molochnoj syvorotki v proizvodstve koncentrirovannyh molochnyh produktov // Molochno-hozyajstvennyj vestnik. 2015. № 2 (18). S. 90 – 95.

11. Lipatov N.N., Mar'in V.A., Fetisov E.A. Membrannye metody razdeleniya moloka i molochnyh produktov. M.: Pishchevaya promyshlennost', 1976. 168 s.

12. Hramcov A.G., Ryabceva S.A., Lodygin A.D. i dr.Patent RF № 2218798, MKI A 23 S 21/00. Sposob proizvodstva suhoj molochnoj syvorotki. Prior. 28.12.2001, opubl. 20.12.2003, byull. № 35.

13. Pashuk Z.N., Apet T.K. Hranenie i podgotovka moloka i molochnyh produktov. Stat'ya o proizvodstve. M.: Giord, 2020. 402 c.

14. Tverdohleb G.V., Dilanyan Z.H., CHekulaeva L.V., SHiler G.G. Tekhnologiya moloka i molochnyh produktov. M.: Agropromizdat, 1991. 463s.

15. Tekhnologiya proizvodstva molochnyh produktov. Pererabotka syvorotki. Molochnaya promyshlennost'. 2010. № 3 (54). S. 34 – 49.

16. Fetisov E.A., CHagarovskij A.P. Membrannye i molekulyarno-sitovye metody pererabotki moloka. M.: Agropromizdat, 1991. 272 s.

17. Hoha D.S. Razrabotka nizkotemperaturnoj tekhnologii suhogo permeata molochnoj syvorotki: dis. ... kand. tekh. nauk: 05.18.04. Stavropol', 2020. 162 s.

18. Hramcov A.G. Fenomen molochnoj syvorotki. SPb.: Professiya, 2011. 804 s.

19. Hramcov A.G., Evdokimov I.A. Intensivnaya tekhnologiya molochnogo sahara. M.: DeLi print, 2004. 277 s.

20. SHlejkin A.G., Danilov N.P. Sposob polucheniya molochnoj syvorotki s ponizhennoj koncentraciej ostatochnogo belka: pat. 2432769 Rossijskaya Federaciya. 2011.

21. Zolotareva M.S., Volodin D.N., Bessonov A.S. i dr. Elektrodializ – naibolee effektivnyj process demineralizacii molochnoj syvorotki. Molochnaya promyshlennost'. 2015. № 3. S. 37 – 38.