УДК 635.24:637.344:66.081.63

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКОЙ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ПОЛИСАХАРИДАМИ

С.П. Бабенышев[1], В.Е. Жидков[1], Д.С. Мамай[2,*], В.П. Уткин[2], Н.А. Шапаков[1]

*[1]Технологический институт сервиса (филиал)
ФГБОУ ВПО «Донской государственный
технический иниверситет»,
355000, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 41/1*

*[2]Институт строительства,
транспорта и машиностроения
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355029, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2*

**e-mail: dima-mamaj@yandex.ru*

Дата поступления в редакцию: 28.12.2015
Дата принятия в печать: 11.02.2016

Необходимость организации безотходного использования вторичного молочного сырья обусловлена его неблагоприятным воздействием при сбросе в окружающую среду в составе сточных вод и наличием в нем ценных пищевых компонентов, которые могут быть использованы в основном производстве. Наиболее перспективный метод, позволяющий осуществить комплексную переработку молочной сыворотки, базируется на применении процесса ультрафильтрации жидких высокомолекулярных полидисперсных систем. Однако проницаемость рекомендуемых к применению в пищевой промышленности полимерных мембран, обусловливающая производительность соответствующего оборудования, недостаточно высока. Это является основной причиной, препятствующей широкомасштабному внедрению этого метода в молочной промышленности. Рабочая гипотеза проведенных исследований – эффективность баромембранного разделения вторичного молочного сырья (творожной сыворотки) повышается путем предварительной очистки разделяемых систем от белковых веществ природными полисахаридами, источником которых является экстракт стевии. Анализ результатов проведенного исследования подтвердил правомерность выдвинутой гипотезы. Добавление компонентов стевии в творожную сыворотку может улучшить ее органолептические показатели, обогатить состав продуктов питания и изменить физико-химические свойства сыворотки как объекта ультрафильтрации. Технология переработки творожной сыворотки на основе модификации ее состава путем добавления компонентов натурального подсластителя растительного происхождения *Stevia rebaudiana Bertoni* и последующей ее ультрафильтрации повышает эффективность использования этого вида вторичного молочного сырья в пищевом производстве.

Молочная сыворотка, сточные воды, мембранная технология, эффективность мембранных процессов, предварительная очистка, природные полисахариды

Введение

С каждым годом расширяется ассортимент продуктов питания и растут объемы их производства, однако при этом рационально используется всего 20–25 % природного сырья. Все остальное перерабатывается на корма, удобрения или сбрасывается в окружающую среду, оказывая на нее крайне негативное воздействие. А вместе с тем, например, творожную сыворотку давно принято считать ценным вторичным молочным сырьем [1, 3–5, 7]. Если принять во внимание обусловленную внешнеполитическими факторами необходимость импортозамещения, то проблема скорейшей разработки и внедрения новых энергоэффективных мембранных технологий в молочной промышленности приобретает особую остроту. Однако на большинстве молокоперерабатывающих предприятий баромембранная техника не применяется по следующим объективным причинам:

- отсутствие адаптированных для каждого конкретного предприятия технических условий и технологического регламента, позволяющих организовать экономически выгодное производство сертифицированной продукции;
- отечественное машиностроение серийно пока не производит в достаточном количестве баромембранное оборудование, что в свою очередь не позволяет компоновать современные технологические линии комплексной переработки молочного сырья;
- попытки отдельных предприятий решить наукоемкие технические и технологические задачи не приводят к желаемым результатам из-за недостаточной квалификации собственного инженерного корпуса.

Недостаточные объемы теоретических и экспериментальных данных в области ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки обусловливают необходимость проведения собственных

исследований, направленных на поиск пути повышения эффективности соответствующего процесса.

Целью исследования являлось определение оптимальных путей повышения эффективности переработки молочной сыворотки на основе ее баромембранного разделения.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования были использованы образцы молочной сыворотки (ГОСТ Р 53438-2009), полученной в производстве зерненного творога, и компоненты экстракта стевии.

Исследования проводились в ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», в Технологическом институте сервиса (филиал) в г. Ставрополе ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет» и в ОАО МК «Ставропольский». В соответствии с целью исследования были разработаны общая схема и методология проведения теоретической и экспериментальной работы. Априорная информация собрана из открытых для массового пользования фондов библиотек РГБ, СКФУ, СтГАУ, ТИС филиала ДГТУ в г. Ставрополе, а также глобальной сети Интернет. Для подбора полимерных мембран и проверки их основных эксплуатационных параметров использовалась малогабаритная установка.

Организация экспериментальных исследований на такой установке позволяет исключить процедуру масштабирования, что необходимо при разработке рекомендаций для промышленных установок на основе обработки результатов экспериментальных исследований процесса на лабораторном оборудовании. Обработка результатов экспериментов проведена с применением стандартного программного обеспечения для сбора статистики по фильтрации производства Spectrum Laboratories.

При выборе мембран УПМ-50, предназначенных для ультрафильтрации молочной сыворотки, использовались апробированные критерии [1].

Результаты и их обсуждение

Основным загрязняющим окружающую среду агентом являются сточные воды, содержащие молочную сыворотку (ее показатель БПК составляет 50 000 мг O_2/л), в составе которой находится большое количество окисляющихся органических веществ (белки, жир и углеводы). Причем в пересчете на БПК эти компоненты составляют до 80 % всех органических загрязнений от их общего количества в жидких стоках [3]. Соответственно, попадание ее в канализацию, а затем и непосредственно в водоемы приводит к негативным экологическим последствиям. С этой точки зрения организация полной промышленной переработки молочной сыворотки безальтернативна. С другой стороны, нормы расхода питьевой воды на производственные нужды при переработке 1 т молока составляют 1,9÷6,3 м^3, а удельный выход сточных вод (в зависимости от мощности и типа производства) может быть в пределах 1,5÷5,6 м^3 (табл. 1). При сбросе 1 м^3 таких неочищенных стоков происходит ежесуточное загрязнение 40÷60 м^3 природной воды (табл. 2).

Таблица 1

Удельные расходы сточных вод [14, 15]

№	Предприятия	Выход сточных вод на 1 т перерабатываемого молока, м^3	Коэффициент часовой неравномерности водоотведения
1	Цельномолочной продукции	6	2
2	Молочных консервов	3,2	1,8
3	Сухого молока	3	1,7
4	Сыра	7	2

Таблица 2

Среднесуточные показатели загрязнений [14, 15]

№	Состав сточных вод	Ед. изм.	Вырабатываемая продукция		
			Цельномолочная	Молочные консервы, сухое молоко	Сыр, масло
1	Взвешенные в-ва	мг/л	350	350	600
2	ХПК в пробе	мг/л	1400	1200	3000
3	БПК в пробе	мг/л	1200	1000	2400
4	pH	-	5	5	5
5	Азот общий	мг/л	60	50	90
6	Фосфор	мг/л	8	7	16
7	Жиры	мг/л	до 100	до 100	до 100

Переработка молочной сыворотки в нашей стране, несмотря на имеющиеся разработки в этой области [1–6, 9, 10], все еще продолжается в основном с применением традиционного термохимического метода выделения белков.

Альтернативой этому способу очистки творожной сыворотки от белковых веществ может быть применение адсорбционного процесса. В общем случае как сорбенты используют, как правило, инертные материалы природного происхождения: активированный угль, бентонит, кремнезем и т.п. Большинство таких веществ отличаются высокой сорбционной емкостью (около 1000 м^3/кг), большим диаметром пор (до 150 нм), удельной пористостью до 25 000 м^2/кг и низкой степенью усадки материала [12]. Применение сорбентов на основе кремнезема дает возможность практически селективно выделять в нативном виде белки молочной сыворотки по основным фракциям с чистотой до 90 % [12]. Технологический процесс состоит из следующих основных этапов:

- смешивание в реакторе сыворотки с сорбентом;
- выделение элюата;
- промывка сорбента (с белком) водой;
- изменение pH среды и отделение белкового раствора от сорбента;
- концентрирование раствора белков;
- высушивание концентрата и его фасовка в тару.

Получаемый готовый продукт содержит до 97 % белка и в основном состоит из α- и β-лактоглобулина, есть незначительные включения лактозы (до 2 %), молочного жира и минеральных веществ (около 0,2 %) [12]. Однако концентрирование получаемого этим способом белкового раствора может быть и с применением процесса вакуум-выпаривания, поэтому вопрос об экономической эффективности такой очистки творожной сыворотки следует считать открытым.

В этой связи интерес представляет низкотемпературный способ очистки творожной сыворотки от белков с использованием некоторых природных полимеров. Физическая сущность процесса базируется на термодинамической несовместимости белков с полисахаридами, а также явлении осмоса между растворами с разным химическим потенциалом растворителя. При введении в творожную сыворотку, например, природного полисахарида образуется жидкая двухфазная система, ее равновесие обусловливается переносом растворителя, при этом раствор белка концентрируется, а другая фаза системы (раствор полисахарида) разбавляется. Основное преимущество такого «безмембранного осмоса» заключаются в его простоте применения [11].

Однако следует иметь в виду, что получаемый по этой технологии белковый концентрат, как правило, содержит остаточные количества природных полимеров, что не всегда положительно сказывается на его органолептических показателях. Например, в Северо-Кавказском федеральном университете был разработан способ выделения белков из молочной сыворотки с использованием в качестве комплексообразователя водного раствора хитозана [12]. При всех известных преимуществах этой технологи ее широкое применение, на наш взгляд, сдерживает, во-первых, недостаточная на сырьевом рынке ценовая доступность используемого ингредиента. Но получаемый по этой технологии готовый продукт сохраняет характерный запах морепродуктов [13].

С этих позиций заслуживают особого внимания методы баромембранного разделения творожной сыворотки [1], что позволяет получать в нативном состоянии все ее компоненты и использовать в производстве различных пищевых продуктов и напитков.

Экологическая чистота, невысокая температура основных рабочих процессов, простота аппаратурно-технологического оформления обусловливают достаточно высокую конкурентоспособность применения баромембранного разделения при переработке высокомолекулярных жидких систем, в том числе и творожной сыворотки [3]. Однако широкому использованию, например, процесса ультрафильтрации в молочной промышленности препятствует низкая его эффективность, обусловленная следующими основными причинами [1, 3]:

- диспаритет цен на вторичное молочное сырье и неорганические мембраны нового поколения, допускающие мойку и регенерацию в жестких режимах современными химическими реагентами;
- низкий показатель проницаемости полимерных мембран, выпускаемых как в РФ, так и за рубежом, которые можно применять в пищевой промышленности.

Вопросу повышения эффективности баромембранного разделения жидких полидисперсных систем в пищевой промышленности посвящено достаточно много исследований [1–7, 10, 11]. Однако общепринятой единой теории, в полной мере описывающей механизм снижения проницаемости мембран при ультрафильтрации, пока нет. Некоторые исследователи [1, 3] небезосновательно полагают, что одной из причин этого является адсорбция различных соединений на стенках пор, например, солей кальция и фосфора молочной сыворотки. Причем внешнее проявление тех или иных особенностей такого взаимодействия может в значительной мере зависеть от физико-химического состава разделяемой системы. Другие авторы считают определяющим фактором материал самой мембраны. В некоторых работах [3] показано, что снижение проницаемости полимерных мембран при ультрафильтрации молочной сыворотки прежде всего связано с осаждением фосфатов кальция на мембранной поверхности. В качестве мер предотвращения формирования отложений фосфатов кальция предлагается регулирование pH и выдержка сыворотки при высокой температуре, полная или частичная ее деминерализация, инактивация фосфатов кальция и т.д.

Согласно данным [1, 3] постепенное снижение проницаемости ультрафильтрационных мембран при баромембранном разделении белковых растворов связано с повышением концентрации высокомолекулярных компонентов в примембранной зоне. При этом адсорбирующиеся на поверхности мембраны частицы образуют слой, который и блокирует поровые каналы [1]. При этом на начальном этапе формирования этого слоя происходит образование «первичного» и наиболее прочно закрепленного на поверхности мембраны слоя в основном белковых отложений. А при последующем взаимодействии белковых частиц формируются уже менее закрепленные «вторичные» слои. В дальнейшем в примембранной зоне возможно уже и адгезионное закрепление микрочастиц различного происхождения, например механических примесей, которые в том или ином количестве практически всегда могут присутствовать в реальных белковых полидисперсных жидких системах. В принципе эту точку зрения можно считать возможной интерпретацией проявления концентрационной поляризации [1, 3]. Ее влияние на проницаемость ультрафильтрационных мембран отрицательно, так как:

- увеличение осмотического давления в примембранной зоне приводит к снижению величины трансмембранного давления, т.е. к снижению движущей силы процесса;

- повышение концентрации высокомолекулярных веществ в примембранной зоне способствует их осаждению на поверхности мембраны, что и приводит к частичной или полной блокировке пор.

Исходя из этого можно предположить, что для увеличения проницаемости ультрафильтрационных мембран при баромембранном разделении белковых полидисперсных систем необходимо снизить в первую очередь уровень концентрационной поляризации. А выбор конкретного метода снижения будет определяться следующими основными факторами:

- физико-химические свойства материала, из которого изготовлена мембрана;
- конфигурация баромембранного аппарата, определяющая возможность применения конкретного способа повышения проницаемости мембраны;
- экономический или другой эффект от увеличения показателя проницаемости мембраны.

Если принять во внимание, что физико-химические свойства материала мембраны и конструкция аппарата определяются объективными показателями, экологическая сторона вопроса отражена в нормативных документах, касающихся технологии основного производства, то выбор метода снижения уровня концентрационной поляризации при ультрафильтрации вторичного молочного сырья должен определяться:

- минимальным уровнем приведенных затрат при его применении в условиях пищевого производства;
- условиями сохранения нативных свойств ценных белковых компонентов разделяемой системы.

С точки зрения кинетики процесса ультрафильтрации в основе любого метода снижения уровня концентрационной поляризации находится принцип увеличения массоотдачи из примембранной зоны к центральной оси потока разделяемой системы, движущейся в канале баромембранного аппарата [4]. Это может быть достигнуто:

- увеличением скорости движения разделяемой системы относительно поверхности мембраны [4], что связано с дополнительными эксплуатационными и энергетическими затратами;
- применением мембранного канала, конфигурация которого обеспечивает гидродинамические условия максимального массообмена [1];
- изменением физико-химических свойств материала мембран [1, 3];
- нетрадиционными способами снижения концентрационной поляризации [1, 3].

Следует отметить, что все эти решения, как правило, связаны с дополнительными в сравнении с традиционной компоновкой затратами на интенсификацию процесса массообмена в мембранном канале аппарата. Но применение ультрафильтрации в молочной промышленности связано чаще всего с переработкой дешевого сырья, например, творожной сыворотки. Поэтому любые затраты, связанные с изменением конструкции типового мембранного аппарата как способом снижения концентрационной поляризации, следует сопоставлять с достигаемым экономическим эффектом.

Наиболее перспективным направлением в решении задачи интенсификации процесса ультрафильтрации творожной сыворотки представляется изменение ее состава и физико-химических свойств при выполнении следующих основных условий:

- полученные в результате пермеат и ретентат должны быть пригодны для последующей переработки в производстве пищевых продуктов;
- проницаемость полимерных мембран должна увеличиться;
- экономические затраты на переработку этого сырья не могут превышать уровень при традиционно используемой мембранной технологии.

С этой точки зрения особый интерес представляет модификация состава творожной сыворотки путем добавления в нее подсластителя растительного происхождения (*Stevia rebaudiana Bertoni*), направленная на улучшения ее органолептических показателей и физико-химических свойств, как объекта ультрафильтрационного разделения, что согласуется с концепцией создания продуктов из молочной сыворотки и растительного сырья [14]. Листья стевии имеют сладкий вкус благодаря содержащимся в них низкокалорийным дитерпеновым гликозидам [7, 8]: стевиозид (5÷16 %), ребаудиозид А (около 4 %), ребаудиозид С (до 1,4 %), дилкозид А (примерно 1 %). Кроме этого, в листьях стевии обнаружены пектины, флавоноиды (никотиновая кислота), аминокислоты, эфирные масла, минеральные элементы – K, Ca, Mg, P, Zn, Fe и др.

Е.И. Мельниковой запатентован способ получения жидкого экстракта на основе пермеата творожной сыворотки. По данным авторов исследований, получаемый таким способом пищевой полуфабрикат объединяет в своем составе ценные компоненты творожной сыворотки и дефицитные нутриенты листьев стевии [6].

Таким образом, добавление компонентов стевии в творожную сыворотку может улучшить ее органолептические показатели, обогатить состав продуктов питания и изменить физико-химические свойства сыворотки как объекта ультрафильтрации. На основании анализа данных из литературных источников была сформулирована следующая гипотеза. Технология переработки творожной сыворотки на основе модификации ее состава путем добавления компонентов натурального подсластителя растительного происхождения *Stevia rebaudiana Bertoni* и последующей ее ультрафильтрации повышает эффективность использования этого вида вторичного молочного сырья в пищевом производстве.

Результаты экспериментального определения проницаемости и селективности мембраны УПМ-50 при ультрафильтрации творожной сыворотки (ТС) в зависимости от длительности процесса приведены на рис. 1 и 2.

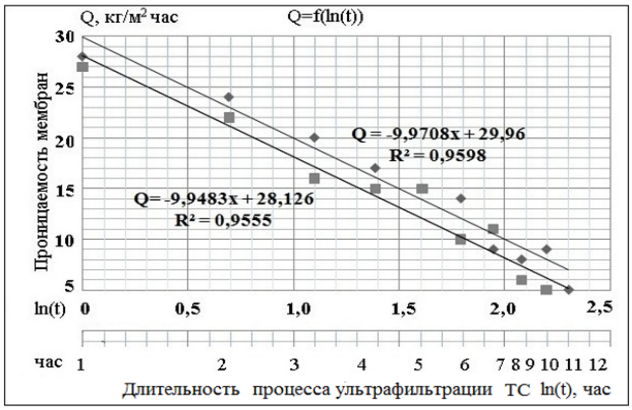

Рис. 1. Зависимость проницаемости Q мембран (♦ – сыворотка, модифицированная экстрактом стевии; ■ – традиционная сыворотка) от длительности процесса ультрафильтрационного разделения ТС (ΔP = 0,3–0,35 МПа, T = 8–14 °C, V = 0,15–0,25 м/с, C = 8–8,4 %)

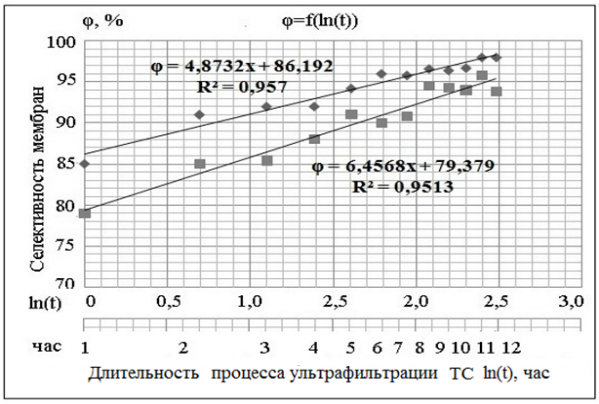

Рис. 2. Зависимость селективности φ мембран (♦ – сыворотка, модифицированная экстрактом стевии; ■ – традиционная сыворотка) от длительности процесса ультрафильтрационного разделения ТС (ΔP = 0,3–0,35 МПа, T = 8–14 °C, V = 0,15–0,25 м/с, C = 8–8,4 %)

Анализ предварительных результатов экспериментальных исследований показал, что применение экстрактов стевии для предварительного осветления молочной сыворотки вполне возможно для интенсификации последующего процесса ее ультрафильтрации при условии, что в конечном итоге происходит контролируемое обогащение пермеата и ретентата компонентами, использование которых допустимо и целесообразно при производстве конечных продуктов.

Список литературы

1. Бабенышев, С.П. Научно-технические аспекты совершенствования процесса баромембранного разделения жидких полидисперсных систем: дис. … д-ра техн. наук / С.П. Бабенышев; ГОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет» (СевКавГТУ). – Ставрополь, 2007.– 368 с.

2. Бабенышев, С.П. /Технологические и экологические предпосылки применения мембранной технологии разделения жидких полидисперсных систем/ С.П. Бабенышев, И.А. Евдокимов // Масложировая промышленность. – 2004. – № 4. – С. 20.

3. Бабенышев, С.П. Баромембранное разделение жидких полидисперсных систем: монография / С.П. Бабенышев, И.А. Евдокимов. – Ставрополь, 2007. – 134 с.

4. Бабенышев, С.П. Особенности формализации описания потока пермеата молочной сыворотки через нанопористую среду / С.П. Бабенышев, И.А. Евдокимов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 7. – С. 37.

5. Бабенышев, С.П. Некоторые аспекты моделирования процесса мембранной фильтрации жидких полидисперсных систем / С.П. Бабенышев, Д.С. Мамай // Научное обозрение. – 2012. – № 1. – С. 90.

6. Мельникова, Е.И. Исследование биотехнологического потенциала творожной сыворотки: модификация химического состава, прогнозирование качества и новые технологические решения: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.07, 05.18.04 / Мельникова Елена Ивановна; Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2007. – 476 с.

7. Павлова, И.В. Разработка биотехнологии утилизации молочной сыворотки с целью получения спирта и последующей комплексной очистки образующихся стоков совместно со сточными водами молокозавода: дис. … канд. техн. наук: 05.18.07: защищена 25.05.2003 / Павлова Инна Вячеславовна. – М., 2003. – 155 с.

8. Канарская, З.А. Тенденции в производстве сахарозаменителей / З.А. Канарская, Н.В. Демина // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 9. – С. 145–153.

9. Особенности химического состава и пищевой ценности БАД «Стевия» / И.Б. Красина [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2009. – № 2–3. – С. 23–24.

10. Патент 2195833 Российская Федерация, 2000128444/13. Способ приготовления безалкогольного напитка на основе молочной сыворотки / Евдокимов И.А., Василисин С.В., Алиева Л.Р., Анисимов С.В., Везирян А.А., Албулов А.И., Воротникова Т.С., Ханова О.В.; заявитель и патентообладатель Северо-Кавказский государственный технический университет; заявл. 13.11.2000; опубл. 10.01.2003. – 4 с.

11. Патент 2031598 Российская Федерация, МКИ6 A23J1/20 Способ выделения белковых веществ из молочной сыворотки / Храмцов А.Г., Василисин С.В., Евдокимов И.А., Виноградов Б.Д., Рослякова И.В.; заявитель и патентообладатель Ставр. политехн. ин-т. – № 5061562/13; заявл. 07.09.92; опубл. 27.03.95, Бюл. № 24/2000. – 4 с.

12. Тарасевич, Ю.И. Адсорбция альбумина на кремнеземе / Ю.И. Тарасевич, В.А. Смирнова, Д.И. Монахова // Коллоидный журнал. – 1978. – Т. 40. – № 6. – С. 1244–1248.

13. Толстогузов, В.Б. Искусственные продукты питания. – М.: Наука, 2008. – 231 с.

14. Харитонов, В.Д. Проблемы и перспективы молочной промышленности XXI века // Хранение и переработка сельхозсырья, – 2002. – № 11. – С. 16–18.

15. Herbertz G. The Importance of Whey and Whey Components in Food and Nutrition // Proceedings of the 3-rd International Whey Conference. Munich, 2014. – P. 237-239.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF WHEY ULTRAFILTRATION SEPARATION BY PRE-CLEANING WITH PLANT POLYSACCHARIDES

S. P. Babenyshev[1], V.E. Zhidkov[1], D.S. Mamay[2,*], V.P. Utkin[2], N.A. Shapakov[1]

[1]*Technological Institute of Service (branch), Don State Technical Universitu, 41/1, Kulakov Prospekt, Stavropol, 355000, Russia*

[2]*Institute of Construction, Transport and Engineering, North Caucasus Federal University, 2, Kulakov Prospect, Stavropol, 355029, Russia*

**e-mail: dima-mamaj@yandex.ru*

Received: 28.12.2015
Accepted: 11.02.2016

The need to organize waste-free use of recyclable milk raw is due to its adverse environmental effects when released as part of waste water and the presence in it of valuable food components, which can be used in main production. The most promising method for carrying out complex processing of whey is based on the use of high-molecular liquid poly-disperse system ultrafiltration. However, the permeability of polymeric membranes recommended for use in the food industry, leading to the related equipment performance is not high enough. This is the main factor that prevents the dairy industry from the widespread adoption of this method. The working hypothesis of the research is as follows: the effectiveness of baromembrane separation of recyclable milk raw material (quark whey) increases via pre-cleaning of systems undergoing separation from proteins with natural polysaccharides, the source of which is the extract of Jerusalem artichoke tubers. Analysis of the results obtained confirmed the validity of the hypothesis. Adding stevia components into quark whey may improve organoleptic characteristics of the latter, enrich the composition of food and change the physical - chemical properties of the whey as the object to ultrafiltration. Technology of quark whey processing based of its composition modification through the addition of the natural plant sweetener (Stevia rebaudiana Bertoni) components, and its subsequent ultrafiltration improves the efficiency of using this type of recyclable milk raw materials in food production.

Whey, waste-water, membrane technology, membrane process efficiency, pre-cleaning, natural polysaccharides

References

1. Babenyshev S.P. *Nauchno-tekhnicheskie aspekty sovershenstvovaniya protsessa baromembrannogo razdeleniya zhidkikh polidispersnykh system.* Diss. dokt. tekhn. nauk [Scientific and technical aspects of improving the Baro polydisperse liquid membrane separation systems. Dr. eng. sci. diss.]. Stavropol, 2007. 368 p.

2. Babenyshev S.P., Evdokimov I.A. Tekhnologicheskie i ekologicheskie predposylki primeneniya membrannoy tekhnologii razdeleniya zhidkikh polidispersnykh system [Technological and ecological conditions of application of liquid membrane separation technology polydisperse systems]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [Fat and oil processing industry], 2004, no. 4, pp. 20.

3. Babenyshev S.P., Evdokimov I.A. *Baromembrannoe razdelenie zhidkikh polidispersnykh sistem* [Baromembranes polydisperse liquid separation systems]. Stavropol, 2007. 134 p.

4. Babenyshev S.P., Evdokimov I.A. Osobennosti formalizatsii opisaniya potoka permeata molochnoy syvorotki cherez nanoporistuyu sredu [Features formalization description of whey permeate flow through the nanoporous medium]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 2008, no. 7, pp. 37.

5. Babenyshev S.P., Mamay D.S. Nekotorye aspekty modelirovaniya protsessa membrannoy fil'tratsii zhidkikh polidispersnykh system [Some aspects of modeling the process of membrane filtration of liquid polydisperse systems]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2012, no. 1, pp. 90.

6. Mel'nikova E.I. *Issledovanie biotekhnologicheskogo potentsiala tvorozhnoy syvorotki: modifikatsiya khimicheskogo sostava, prognozirovanie kachestva i novye tekhnologicheskie resheniya.* Diss. dokt. tekhn. nauk [Research of biotechnological potential of cottage cheese serum: modification of a chemical composition, forecasting of quality and new technological decisions. Dr. eng. sci. diss.]. Voronezh, 2007. 476 p.

7. Pavlova I.V. *Razrabotka biotekhnologii utilizatsii molochnoy syvorotki s tsel'yu polucheniya spirta i posleduyushchey kompleksnoy ochistki obrazuyushchikhsya stokov sovmestno so stochnymi vodami molokozavoda* Diss. kand. tekhn. nauk [The development of biotechnology utilization of whey in order to obtain alcohol and subsequent complex clearing generated waste together with sewage dairy. Cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 2003. 155 p.

8. Kanarskaya Z.A., Demina N.V. Tendentsii v proizvodstve sakharozameniteley [Trends in the production of sweeteners]. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2012, no. 9, pp. 145–153.

9. Krasina I.B., et al. Osobennosti khimicheskogo sostava i pishchevoy tsennosti BAD «Steviya» [Features of the chemical composition and nutritional value of dietary supplements "Stevia"]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* [Transactions of Higher Educational Institutions, Food Technology], 2009, nos. 2–3, pp. 23–24.

10. Evdokimov I.A., Vasilisin S.V., Alieva L.R., Anisimov S.V., Veziryan A.A., Albulov A.I., Vorotnikova T.S., Khanova O.V. *Sposob prigotovleniya bezalkogol'nogo napitka na osnove molochnoy syvorotki* [A method for preparing a soft drink based on milk serum]. Patent RF, no. 2195833, 2003.

11. Khramtsov A.G., Vasilisin S.V., Evdokimov I.A., Vinogradov B.D., Roslyakova I.V. *Sposob vydeleniya belkovykh veshchestv iz molochnoy syvorotki* [A method for isolating proteins from whey]. Patent RF, no. 2031598, 2000.

12. Tarasevich Yu.I., Smirnova V.A., Monakhova D.I. Adsorbtsiya al'bumina na kremnezeme [Adsorption of albumine on silicon dioxide]. *Kolloidnyy zhurnal* [Colloid Journal], 1978, vol. 40, no. 6, pp. 1244–1248.

13. Tolstoguzov V.B. *Iskusstvennye produkty pitaniya* [Artificial food]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 231 p.

14. Kharitonov V.D. Problemy i perspektivy molochnoy promyshlennosti XXI veka [Problems and prospects of the dairy industry of XXI century]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 2002, no. 11, pp. 16–18.

15. Herbertz G. The Importance of Whey and Whey Components in Food and Nutrition. *Proceedings of the 3-rd International Whey Conference*, Munich, 2014, pp. 237–239.

Дополнительная информация / Additional Information

Повышение эффективности процесса ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки предварительной очисткой растительными полисахаридами / С.П. Бабенышев, С.А. Емельянов, В.Е. Жидков, Д.С. Мамай, В.П. Уткин, Н.А. Шапаков // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 40. – № 1. – С. 68–74.

Babenyshev S.P., Zhidkov V.E., Mamay D.S., Utkin V.P., Shapakov N.A. Improving the efficiency of whey ultrafiltration separation by pre-cleaning with plant polysaccharides. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2016, vol. 40, no. 1, pp. 68–74 (In Russ.).

Бабенышев Сергей Петрович
д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологий, конструирования и оборудования, Технологический институт сервиса (филиал) ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», 355000, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 41/1, e-mail: mail@stis.su

Жидков Владимир Евдокимович
д-р техн. наук, профессор, директор, Технологический институт сервиса (филиал) ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», 355000, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 41/1, e-mail: mail@stis.su

Мамай Дмитрий Сергеевич
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования, Институт строительства, транспорта и машиностроения ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2, тел.: +7 (8652) 23-39-43, e-mail: dima-mamaj@yandex.ru

Уткин Виктор Павлович
инженер кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования, Институт строительства, транспорта и машиностроения ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2, тел.: +7 (8652) 23-39-43, e-mail: info@ncstu.ru

Шапаков Николай Андреевич
ассистент кафедры технологий, конструирования и оборудования, Технологический институт сервиса (филиал) ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», 355000, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 41/1, e-mail: mail@stis.su

Sergey P. Babenyshev
Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Departament of Technologies, Designing and Equipment, Technological Institute of Service (branch), Don State Technical University, 41/1, Kulakov Prospekt, Stavropol, 355000, Russia,
e-mail: mail@stis.su

Vladimir E. Zhidkov
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Director, Technological Institute of Service (branch), Don State Technical University, 41/1, Kulakov Prospekt, Stavropol, 355000, Russia, e-mail: mail@stis.su

Dmitriy S. Mamay
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Departament of Technology of Engineering and Processing Equipment, Institute of Construction, Transport and Engineering, North Caucasus Federal University, 2, Kulakov Prospect, Stavropol, 355029, Russia, phone: +7 (8652) 23-39-43,
e-mail: dima-mamaj@yandex.ru

Victor P. Utkin
Engineer of the Department, Institute of Construction, Transport and Engineering, North Caucasus Federal University, 2, Kulakov Prospect, Stavropol, 355029, Russia, phone: +7 (8652) 23-39-43, e-mail: info@ncstu.ru

Nikolay A. Shapakov
Assistant of the Departament of Technologies, Designing and Equipment, Technological Institute of Service (branch), Don State Technical University, 41/1, Kulakov Prospekt, Stavropol, 355000, Russia, e-mail: mail@stis.su