

**– ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ –**

УДК 635.24:637.344:66.081.63

**С.П. Бабенышев, С.А. Емельянов, В.Е. Жидков,
Д.С. Мамай, Ю.А. Владыкина****УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ СМЕСИ СОКА КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА
И МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ НА ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАНАХ**

Относительно невысокая эффективность ультрафильтрационного разделения жидких полидисперсных систем предопределила проведение теоретических и экспериментальных исследований с целью разработки и обоснования методики интенсификации процесса. Представлены результаты экспериментального исследования зависимости проницаемости и селективности полимерных мембран от величины рабочего давления и скорости циркуляции смеси сока клубней топинамбура и молочной сыворотки в рабочем канале баромембранного аппарата.

Топинамбур, молочная сыворотка, смесь, давление, скорость циркуляции, ультрафильтрационный аппарат.

Введение

В последние два десятилетия общая динамика уровня здоровья занятого населения РФ характеризуется негативными тенденциями: остро стоит проблема нехватки в продуктах питания и напитках витаминов, а также макро- и микроэлементов, вследствие чего увеличивается общее число неинфекционных заболеваний, в особенности сахарного диабета. В то же время в большинстве развитых стран в лечебно-профилактических целях давно используются обезжиренное молоко, пахта и, особенно, молочная сыворотка, которая обладает выраженным свойством возбуждать секрецию желез желудочно-кишечного тракта.

Однако низкая эффективность традиционных способов её предварительной очистки обуславливает недостаточно широкое применение методов глубокой переработки, в частности на основе баромембранных процессов разделения. Добавление сока клубней топинамбура, содержащего инулин и пектин, в молочную сыворотку позволяет частично осаждать сывороточные белки. Это позволит не только интенсифицировать последующий процесс ультрафильтрации, но и получить ретентат, обогащенный этими полисахаридами, который может быть направлен в производство различных видов молочных напитков [6].

Целью исследования являлось определение рациональных значений диапазонов основных факторов (давление ΔP , скорость потока V разделяемой смеси в канале ультрафильтрационного аппарата), оказывающих преобладающее влияние на проницаемость Q и селективность ϕ полимерных мембран (HyStream 3 и УПИМ-50) в аппаратах рулонного типа при ультрафильтрации смеси сока клубней топинамбура и молочной сыворотки (ТС).

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования были использованы образцы молочной сыворотки (ГОСТ Р

53438-2009), полученной в производстве зерненного творога, и сок клубней топинамбура сорта «Находка». Предметом исследования являлся процесс ультрафильтрационного разделения ТС (сухие вещества = 8,4 %; лактоза = 4,8 %; общий белок = 0,6 %, инулин = 1,6 %, пектин = 0,6 %, минеральные вещества = 0,8 %).

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 фондах библиотек РГБ, СКФУ, СтГАУ, ТИС филиала ДГТУ в г. Ставрополе, а также в интернете. При определении физико-химических параметров ТС, ретентата и пермеата, их органолептических оценок применялись общепринятые и стандартные методы. Для подбора полимерных мембран и проверки их основных эксплуатационных параметров использовалась малогабаритная лабораторная установка плоскорамного типа. Экспериментальное исследование процесса ультрафильтрации ТС проводилось на опытно-промышленной установке рулонного типа с использованием стандартных мембранных элементов ЭРУ100-1016.

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. Это не только повышает достоверность данных, получаемых опытным путем, но и значительно сокращает объем необходимой экспериментальной

работы. Обработка результатов экспериментов проведена с применением стандартных приложений Microsoft Excel, Statistica 10.0.

На основе анализа литературных данных и патентной документации [3–6], результатов собственных предварительных исследований для ультрафильтрации молочной сыворотки могут быть использованы следующие марки мембран: УПМ-П, УПМ-20, (50), (67) и УАМ-150, (500), а также HyStream 1-3 производства «NOVASEP» (Франция).

При выборе мембран, предназначенных для ультрафильтрации ТС, придерживались тех же критериев, которые предложены для баромембранного разделения жидких высокомолекулярных полидисперсных систем [3–5], что и обусловило использование мембран УПМ-50 и HyStream 3.

Результаты и их обсуждение

При ультрафильтрации жидких высокомолекулярных полидисперсных систем, в частности, молочной сыворотки, основными факторами, влияющими на проницаемость Q и селективность ϕ полимерных мембран, являются [4, 5]:

- величина рабочего давления в канале аппарата (ΔP);
- скорость циркуляции разделяемой системы (V);
- длительность процесса (τ);
- температура объекта разделения (t);
- массовая доля сухих веществ (C).

На выбор основных параметров процесса ультрафильтрации ТС был наложен ряд ограничений. Во-первых, с точки зрения экономической эффективности применения баромембранного оборудования для переработки молочной сыворотки следует принять во внимание её низкую стоимость в сравнении с молоком, что обуславливает необходимость использования наименьшего количества энергии для её переработки, следовательно, и минимально допустимой фильтрующей поверхности, согласованность работы ультрафильтрационной установки в общей технологической схеме производства основной продукции и, соответственно, времени её эксплуатации в течение рабочей смены τ .

Во-вторых, при повышении температуры разделяемых ультрафильтрацией систем их вязкость снижается, что способствует увеличению проницаемости мембран [5]. А для сохранения нативных свойств выделяемой дисперсной фазы в соответствии с данными [3, 4] верхний предел этого параметра ограничивается значением $t=50\text{--}52\text{ }^\circ\text{C}$. С другой стороны, необходимо принять во внимание тот факт, что при увеличении времени процесса ультрафильтрации возрастает опасность бактериальной обсемененности сыворотки, находящейся в установке. Соответственно нижний предел $t=8\text{--}14\text{ }^\circ\text{C}$ был принят на основе анализа предварительных биохимических исследований продуктов разделения молочной сыворотки. С позиций технологии дальнейшего использования ретентата экспериментальные исследования процесса ультрафильтрации следует проводить при температуре, близкой к нижнему

пределу. Однако проведение процесса при пониженной температуре сопряжено с необходимостью учета влияния вязкости творожной сыворотки на его кинетические закономерности. Надо полагать, что при температуре около $10\text{ }^\circ\text{C}$ проницаемость и селективность мембран окажутся отличными от заявленных параметров фирмы-изготовителя, проводившей соответствующее тестирование своей продукции при $t=20\text{--}22\text{ }^\circ\text{C}$.

В-третьих, при ультрафильтрации молочной сыворотки снижение Q и увеличение ϕ мембран наблюдается при возрастании массовой доли сухих веществ C в разделяемой системе. В интервале $C=8\text{--}8,5\%$ показатель ϕ превышает 98% , что вряд ли можно считать экономически целесообразным, поскольку это приведет к повышению энергозатрат на поддержание параметра проницаемости Q на достигнутом уровне. Следовательно, значение $C=8,5\%$ можно принять как критическое. Однако следует отметить, что эта величина массовой доли сухих веществ в ретентате не может рассматриваться как оптимальная, так как содержание сухих веществ в ретентате молочной сыворотки $C=8\text{--}8,5\%$ может оказаться не соответствующим предъявляемым требованиям производства конечного продукта ее переработки. Соответственно было принято решение сначала найти наиболее приемлемые диапазоны ΔP и V процесса ультрафильтрации ТС исходя из условия достижения максимальной величины проницаемости мембраны Q при уровне селективности $\phi = 96\text{--}97\%$ и $C^{\text{max}}=8,5\%$.

Таким образом, при ультрафильтрации ТС на полимерных мембранах (HyStream 3 и УПМ-50) основными факторами, влияющими на их проницаемость Q и селективность ϕ , являются величина рабочего давления ΔP и скорость циркуляции разделяемой системы V в канале аппарата [1, 3]. В то же время разрушающее воздействие потока разделяемой смеси, движущейся вдоль поверхности мембраны, на слабо закрепленные слои белковых отложений на мембранной поверхности приводит к тому, что скорость циркуляции ТС в канале ультрафильтрационного аппарата V становится не менее значимой в сравнении с ΔP [1]. Это дает основание полагать, что при ультрафильтрационном разделении ТС эффективность процесса будет определяться оптимальным соотношением обоих параметров – ΔP и V . Поскольку продолжительность процесса ультрафильтрации τ ограничена требованиями компоновки баромембранного оборудования в аппаратно-процессовую схему молокоперерабатывающего предприятия, а температура t сыворотки – технологическими условиями производства продукции, то первым этапом решения задачи оптимизации основных параметров процесса ультрафильтрационного разделения ТС следует считать экспериментальное определение зависимостей вида $Q=f(\Delta P)$ и $\phi=f(\Delta P)$ для выбранных типов мембран, результаты которого представлены на рис. 1 и 2.

Из представленных результатов экспериментального определения зависимостей $Q=f(\ln(\Delta P))$ и $\phi=f(\ln(\Delta P))$ для выбранных типов мембран следует, что при фиксированных значениях параметров t , τ ,

V и C проницаемость Q обеих мембран увеличивается с возрастанием давления до $\Delta P = 0,35\text{--}0,4$ МПа. Повышение рабочего давления свыше $\Delta P = 0,4$ МПа не приводит к значительному росту Q , при этом ϕ принимает значение менее 96–97 %.

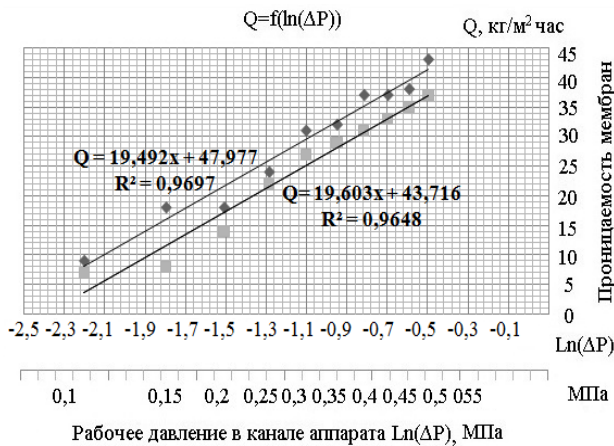


Рис. 1. Зависимость проницаемости Q мембран (♦ – HyStream 3, ■ – УПМ-50) от ΔP при ультрафильтрации ТС ($t = 8\text{--}14$ °C, $V = 0,15\text{--}0,25$ м/с, содержания сухих веществ $C = 8\text{--}8,4$ %, $\tau = 210\text{--}220$ мин)

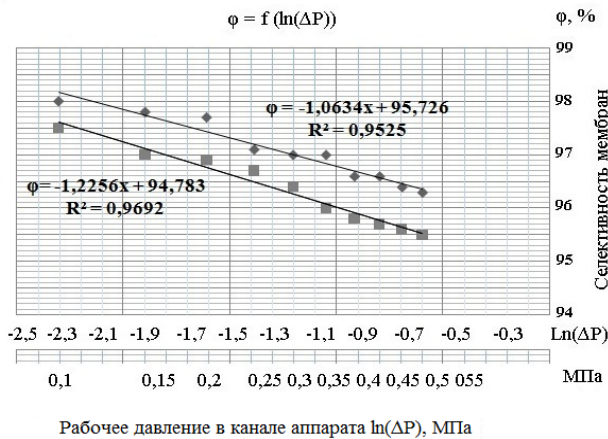


Рис. 2. Зависимость селективности ϕ мембран (♦ – HyStream 3, ■ – УПМ-50) от давления ΔP при ультрафильтрации ТС ($t = 8\text{--}14$ °C, $V = 0,15\text{--}0,25$ м/с, $C = 8\text{--}8,4$ %, $\tau = 210\text{--}220$ мин)

Это объясняется тем, что при этом давлении будет происходить деформация материала мембраны, которая сопровождается изменением эффективного диаметра пор, что становится причиной интенсификации процесса проскока частиц белка в пермеат. Косвенным подтверждением этому служит то, что время мойки мембран, находившихся под воздействием рабочего давления $\Delta P = 0,44\text{--}0,48$ МПа, уменьшалось на 13–18 % по сравнению с продолжительностью того же процесса для мембран, работавших при $\Delta P < 0,4$ МПа. Среднее значение проницаемости Q мембраны HyStream 3 за один полный цикл ультрафильтрации ТС было на 18–20 % выше этого показателя для мембран марки УПМ-50. Это обуславливается тем, что диаметр пор мембран HyStream 3 больше, чем у УПМ-50, примерно в 2,1–2,3

раза. Но так как пористость мембран УПМ-50 выше, то значительного расхождения в проницаемости у них не наблюдается. Кроме того, селективность мембран HyStream 3 и УПМ-50 в начале процесса ультрафильтрации ТС различается на 20–22 %, но уже через 120–130 минут она уменьшается до 9–11 %. К окончанию процесса разница в показателях уровня селективности для обеих марок мембран не превышает 3–5 %. Из этого следует, что мембраны HyStream 3 с более крупными порами в начале эксплуатации подвержены более интенсивной блокировке порового пространства частицами белка по сравнению с мембранами УПМ-50. При этом образование «первичных» слоев отложений происходит не только на мембранной поверхности, но и в наиболее крупных порах, в которые могут попадать помимо отдельных белковых молекул различные механические примеси [2].

Кроме величины рабочего давления и температуры разделяемой системы существенное влияние на проницаемость Q и селективность ϕ мембран HyStream и УПМ-50 при ультрафильтрации ТС оказывает скорость потока V в канале баромембранного аппарата. Результаты экспериментальных исследований зависимости параметров Q и ϕ мембран от параметра V , представленные на рис. 3 и 4, показывают, что для ультрафильтрации ТС могут использоваться обе марки мембраны, так как наиболее высокое приращение скорости проницаемостей (dQ/dV) для них происходит в пределах $V = 0,25\text{--}0,3$ м/с. Однако различия в численных значениях ϕ для обеих марок мембран дают основание полагать, что выбор одной из них будет определяться технологическими требованиями дальнейшего применения пермеата, регламентирующими содержание в нём частиц белка. С этой точки зрения целесообразным представляется проводить дальнейшие исследования процесса ультрафильтрации ТС с использованием полимерных мембран марки HyStream 3.

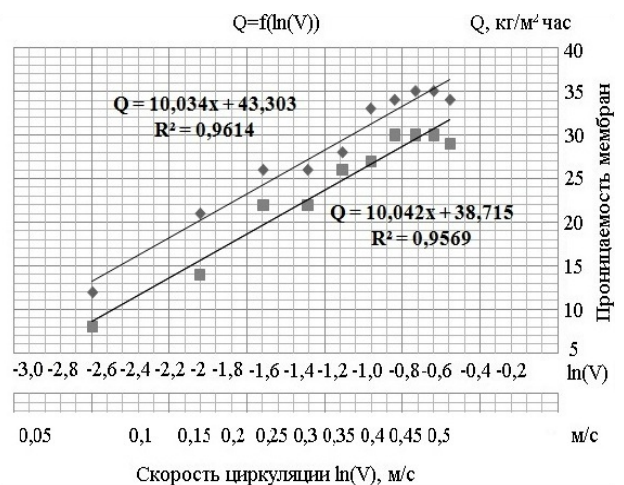


Рис. 3. Зависимость проницаемости Q мембран (♦ – HyStream 3, ■ – УПМ-50) от скорости циркуляции потока V в мембранном канале аппарата при ультрафильтрации ТС ($t = 8\text{--}14$ °C, $\Delta P = 0,3\text{--}0,35$ МПа, $C = 8\text{--}8,4$ %, $\tau = 210\text{--}220$ мин)

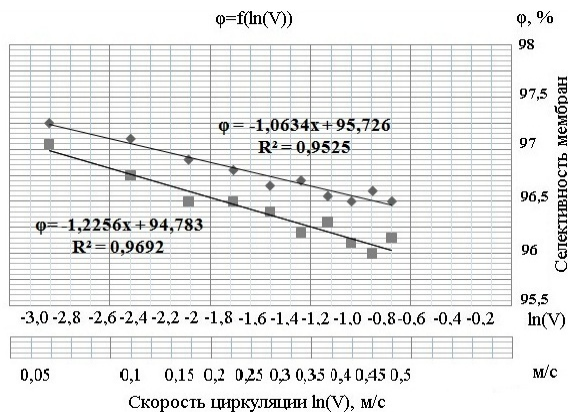


Рис. 4. Зависимость селективности ϕ мембран (♦ – HyStream 3, ■ – УПМ-50) от скорости циркуляции потока V в мембранном канале аппарата при ультрафильтрации СТ ($\Delta P = 0,3-0,35$ МПа, $C = 8-8,4$ %, $T = 8-14$ °С, $t = 210-220$ мин)

Список литературы

1. Бабенышев, С.П. Перераспределение частиц дисперсной фазы жидких полидисперсных систем при ультрафильтрационном разделении / С.П. Бабенышев, И.А. Евдокимов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 7. – С. 77–79.
2. Бабенышев, С.П. Технологические и экологические предпосылки применения мембранных технологий разделения жидких полидисперсных систем / С.П. Бабенышев, И.А. Евдокимов // Масложировая промышленность. – 2004. – № 4. – С. 20.
3. Интенсификация процесса разделения молочного сырья / С.П. Бабенышев, В.Е. Жидков, А.В. Бобрышов, Д.С. Мамай // Научное обозрение. – 2012. – № 2. – С. 238–246.
4. Теоретические аспекты прогнозирования производительности баромембранных установок для разделения жидких полидисперсных систем / Д.С. Мамай, С.П. Бабенышев, В.Е. Жидков и др. // Научное обозрение. – 2012. – № 5. – С. 465–467.
5. Мамай, Д.С. Переработка топинамбура на основе обратноосмотического и ультрафильтрационного разделения его жидких экстрактов / Д.С. Мамай, С.П. Бабенышев // Вестник АПК Ставрополя. СтГАУ. – 2011. – № 1. – С. 36–39.
6. Пат. 2489891 Российская Федерация, МПК А23С 21/00 Способ получения молочного фруктово-овощного напитка / Бабенышев С.П., Мамай Д.С., Чернов П.С., Скороходова М.В., Уткин В.П.; заявитель и патентообладатель Ставропольский государственный аграрный университет (RU). – № 2012114580/10; заявл. 12.04.2012; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23. – 7 с.

ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355029, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2.
Тел.: (8652) 23-39-43,
e-mail: info@ncstu.ru

SUMMARY

S.P. Babenyshev, S.A. Emelyanov, V.E. Zhidkov, D.S. Mamay, J.A. Vladykina

ULTRAFILTRATION OF JERUSALEM ARTICHOKE JUICE AND WHEY MIXTURE USING POLYMER MEMBRANE

Relatively low efficiency of ultrafiltration separation of liquid poly-disperse systems predetermined theoretical and experimental researches to develop and ground the process intensification techniques. The results of experimental studies of the dependence of permeability and selectivity of polymeric membranes on the operating pressure and the circulation rate of Jerusalem artichoke tubers juice and whey mixture in the baromembrane apparatus operating channel.

Jerusalem artichoke, whey, mixture, pressure, circulation rate, ultrafiltration apparatus.

North Caucasian Federal University,
st. Kulakova, 2, Stavropol, 355029, Russia.
Phone: +7(8652) 23-39-43,
e-mail: info@ncstu.ru

Дата поступления: 16.01.2014

