

УДК [637.146.34:637.247]:
[663.674:637.345–022.45]–021.465

doi:10.20998/2413-4295.2018.16.26

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫМ ПРОЦЕССОМ МЕМБРАННОГО УДАЛЕНИЯ ЛАКТОЗЫ ИЗ ПАХТЫ

А. А. ТРУБНИКОВА*

кафедра технологии молочных, олеино-жировых продуктов и косметики, ОНАХТ, м.Одеса, УКРАЇНА
*email: sc228004@ukr.net

АННОТАЦИЯ Мембранные процессы, такие как УФ, МФ, НФ, ОО давно зарекомендовали себя в качестве эффективного средства улучшения свойств различных молочных продуктов, в т.ч. вторичных (пахты, сыворотки, обезжиренного молока). Имея различные характеристики НФ и УФ мембраны могут эффективно задерживать высокомолекулярные вещества и пропускать низкомолекулярные. Кроме того, НФ мембраны способны разделить органические вещества от неорганических. Базируясь на этих свойствах мембран, их эксплуатационных характеристиках и общих зависимостях мембранного разделения можно эффективно удалять лактозу из концентратов пахты при сохранении минерального состава непрерывно. Мембранное разделение имеет при этом ряд преимуществ перед проведением ферментативного удаления лактозы, которое используют на практике. Непрерывность мембранного удаления лактозы может быть достигнута определенной комбинацией УФ, ДФ и НФ обработки. Целью данных исследований является изучение возможности организации непрерывного мембранного удаления лактозы из пахты и разработка соответствующей схемы установки. В ходе экспериментов определили, что УФ мембраны ВПУ-15000 по своим характеристикам подходят для УФ и ДФ. Их селективность по лактозе $R=1\%$. НФ мембраны марки ОПМН имеет высокую ($R=99,7\%$) селективность по лактозе и низкую по минеральным веществам. Это позволяет использовать их для получения пермеата, который применяется как буферный раствор. Разработана схема автоматического управления и контроля мембранного установкой, состоящая из трех блоков: УФ концентрирования, ДФ, и НФ. Установка обеспечивает непрерывную обработку пахты с целью получения высокобелково-липидного концентрата не содержащего лактозы. Слабым звеном мембранной установки является необходимость регенерации мембран. В этом направлении требуются дополнительные исследования.

Ключевые слова: мембраны; мембранные технологии; безлактозные продукты; диафильтрационная очистка; ультрафильтрация пахты; автоматизация мембранных процессов.

CONTROL AND MANAGEMENT CONTINUOUS MEMBRANE PROCESS REMOVAL LACTOSE WITH BUTTERMILK

A. TRUBNIKOVA*

Department of technology of milk, oil and fat products and cosmetics, Odessa national Academy of food technologies, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Membrane processes, such as UV, MF, NF, RO have long established themselves as an effective means of improving the properties of various dairy products, incl. secondary (buttermilk, whey, skim milk). Having different characteristics of NF and UV membranes can effectively retard high-molecular substances and pass low-molecular. In addition, NF membranes are able to separate organic substances from inorganic ones. Based on these properties of membranes, their performance characteristics and general dependencies of membrane separation, it is possible to effectively remove lactose from buttermilk concentrates while maintaining the mineral composition continuously. Membrane separation has several advantages over the enzymatic removal of lactose, which is used in practice. Continuity of membrane lactose removal can be achieved by a specific combination of UV, DF and NF treatment. The aim of these studies is to study the possibility of organizing continuous membrane removal of lactose from buttermilk and developing an appropriate installation scheme. In the course of the experiments it was determined that the UV membranes of the ВПУ-15000 are suitable for UV and DF. Their selectivity for lactose is $R = 1\%$. The NF membrane of the ОПМН brand has a high ($R = 99.7\%$) selectivity for lactose and a low mineral content. This allows them to be used to produce permeate, which is used as a buffer solution. A scheme for automatic control and monitoring of a membrane plant was developed, consisting of three blocks: UV concentration, DF, and NF. The plant provides continuous processing of buttermilk to obtain a high-protein-lipid concentrate of lactose-free. A weak link in the membrane plant is the need for membrane regeneration. In this direction, more research is required.

Key words: membranes, membrane; technologies lactose-free products; diafiltration cleaning; ultrafiltration of buttermilk; automation of membrane processes.

Введение

Мембранные процессы, такие как УФ, МФ, НФ, и ОО давно зарекомендовали себя как выгодное

средство улучшения свойств и создания новых молочных продуктов. Во многих случаях только мембранные технологии позволяют решить проблему утилизации отходов и ВМР при значительной

экономии энергии, ресурсов и общих экономических затрат. При этом свойства полученных продуктов сохраняются близкими к естественным. Мембранные процессы используются для производства лечебно-профилактических продуктов в т.ч. для людей, страдающих непереносимостью лактозы [1,2].

Мембранные процессы осуществляют под давлением. Обрабатываемые растворы при этом циркулируют над поверхностью мембран. Мембраны в зависимости от размера пор и некоторых других характеристик избирательно пропускают и задерживают вещества с различным размером молекул. Например, при нанофильтрации эффективно задерживаются вещества с молекулярной массой 100...500 кДа, при ультрафильтрации $10^3...10^6$ Да. Имеет значение также заряд и форма молекулы. В общем случае при мембранной обработке из исходного раствора образуется два – ретентат (концентрат) и пермеат (фильтрат). Их химический состав отличается и зависит от вида растворенных веществ и размера пор мембран.

В молочной промышленности применение мембран известно давно. Мембранные технологии используют для концентрирования белков, нормализации молока, фракционирования белков, очистки стоков и обработки вторичных молочных ресурсов. Нативные свойства биологически активных веществ молока при этом сохраняются наиболее полно.

Важнейшее направление использования мембран – обработка пахты, которая содержит большинство компонентов молока [3], среди них лактоза, непереносимость которой отмечается у многих людей. В последние годы для удаления лактозы применяют мембраны, ферменты или их комбинацию. В большинстве случаев эта обработка реализуется периодическим способом. Например, в работе [4–7] исследованы технологические аспекты ультра- и нанофильтрации сыворотки, публикации [8] отражают микрофильтрационную обработку пахты. Ферментативный гидролиз и мембранная очистка предмет рассмотрения в работах [9–13].

И хотя эти способы достаточно точно отражают отдельные стадии процесса удаления лактозы т.е. ферментацию, ультрафильтрацию, диафильтрацию, данных, позволяющих осуществить процесс непрерывно крайне мало.

Целью данной работы является изучение возможности организации непрерывного удаления лактозы из пахты с применением мембранных технологий ультра- и нанофильтрации, которые реализуются в одной установке и разработка ее схемы контроля и управления.

Достижение этой цели осуществлялось через задачу лабораторного исследования ультра-, диа- и нанофильтрации для получения экспериментальных данных по производительности и селективным свойствам полуволоконных ультрафильтрационных мембран и плоских нанофильтрационных мембран.

Объекты и методы исследований

Пахта, полученная при производстве масла способом периодического сбивания на предприятии «ГМЗ №1» г.Одесса, была объектом ультрафильтрационного концентрирования и диафильтрации с целью получения основы для безлактозных и низколактозных продуктов.

Для ультрафильтрации применяли лабораторную установку УПЛ-0,6 с полуволоконным модулем АР-2 с мембранами (ВПУ-15000), материал мембран – полиамид. Для нанофильтрации пермеата пахты применяли лабораторную плоскорамную установку ФТ-01, оснащенную мембранами марки ОПМН-П, материал мембран – эфиры целлюлозы при рабочих параметрах $p = 1,6$ МПа, $t = 50$ °С.

Концентрацию компонентов химического состава определяли по общепринятым методикам [12].

В ходе обработки определяли фактор концентрирования пахты по формуле (1):

$$F = \frac{V_0}{V_k}, \quad (1)$$

где V_0 , V_k – соответственно начальный и конечный объем пахты при ультрафильтрации.

Селективность мембран по белку и лактозе определяли по формуле (2), (%):

$$R = \frac{C_k - C_\phi}{C_k}, \quad (2)$$

где C_k , C_ϕ – соответственно концентрация компонентов в концентрате (ретентате) и фильтрате (пермеате), %.

Эффективность удаления лактозы рассчитывали в зависимости от концентраций во время очистки по формуле (3):

$$\text{ЭУ} = \frac{C_{к0} - C_{кк}}{C_{к0}} \times 100 \%, \quad (3)$$

где $C_{к0}$, $C_{кк}$ – соответственно концентрации лактозы в начале и в конце процесса для определенного диаобъема буфера, %.

Диафильтрационный объем буфера составлял соотношение:

$$\text{ДО} = \frac{V_\phi}{V_k}, \quad (4)$$

где V_ϕ – объем отобранного фильтрата, V_k – первоначальный объем концентрата пахты, взятый для очистки

Экспериментальные данные

Пахту концентрировали при следующих технологических параметрах: $p=1,5$ атм (0,15 МПа) и $t=50$ °С на полуволоконной установке. Полученный пермеат подвергался дальнейшей нанофильтрации. Селективность мембран ВПУ-15000 по лактозе, которая рассчитана по формуле 2, составила 1 %, для белка – 98,8 %.

Химический состав продуктов ультрафильтрационной обработки пахты при факторе концентрирования (F=3) приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав продуктов ультрафильтрационной обработки пахты

Показник	Пахта-сырье	УФ ретентат F=3	УФ пермеат F=3
Массовая доля белка, %	3,2	9,6	0,11
Массовая доля жира, %	0,4	1,2	–
Массовая доля лактозы, %	4,5	4,54	4,48
Массовая доля минеральных веществ, %	0,7	0,7	0,7

Приведенные в таблице 1 данные химического состава свидетельствуют о низкой задерживающей способности ультрафильтрационных мембран по отношению к лактозе и, особенно, минеральным веществам.

В качестве растворителя, который снижает концентрацию лактозы использован наночастицы пермеата ультрафильтрации пахты. Этот способ позволяет сохранять химический состав концентрата с эффективным удалением лактозы. На основе экспериментальных данных производительности мембран и их селективности по лактозе рассчитаны основные характеристики диафильтрации. Для практических целей целесообразно использовать

наночастицы пермеата пахты с применением высокоселективных по лактозе мембран. Селективность по солям должна быть минимальной.

Химический состав продуктов наночастицы ультрафильтрации в сравнение с исходным УФ пермеатом представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение концентрации лактозы и минеральных веществ при наночастицы ультрафильтрации УФ пермеата

Показатель	УФ пермеат	НФ ретентат F=4	НФ пермеат
Массовая доля лактозы, %	4,48	17,9	0,05
Массовая доля минеральных веществ, %	0,70	0,73	0,70

Из данных таблицы 2 вытекает, что селективность испытываемых мембран по лактозе была очень высокой (больше 99 %). В тоже время, селективность по минеральным веществам практически равна 0 %.

Лабораторные эксперименты показали, что средняя производительность мембран при диафильтрации с применением наночастицы ультрафильтрации составила 10 л/м²·ч.

Изменение концентраций лактозы в ретентате и пермеате представлены в табличном виде вместе с рассчитанной эффективностью удаления лактозы (табл. 3).

Таблица 3 – Эффективность удаления лактозы при диафильтрации

Показатель	Диафильтрационный объем, ДО						
	1	2	3	4	5	6	7
Концентрация лактозы в ретентате, C _к ^л , %	1,93	0,75	0,29	0,11	0,04	0,02	0,01
Концентрация лактозы в пермеате, C _ф ^л , %	3,07	2,10	1,57	1,22	0,99	0,83	0,71
ЭУ лактозы, ~ %	57,00	83,00	94,00	98,00	99,20	99,60	99,80

Расчет эффективности удаления лактозы показывает, что при диафильтрационном объеме 3 больше 90% этого нежелательного компонента удаляется из ретентата. По своим характеристикам ретентат становится низколактозным. Для достижения очень низких концентраций лактозы (меньше 0,1 %) необходимы затраты буфера эквивалентные больше 4 диафильтрационных объемов.

Теоретическое обоснование схемы управления мембранной установкой для удаления лактозы из пахты

Условия непрерывности работы:

$$Q_{H_2O} = Q_{НФР}$$

$$Q_{УФР} = Q_{ДФР}$$

$$ДО = Q_{НФП} / Q_{УФР} \quad ДО = 3 \dots 7$$

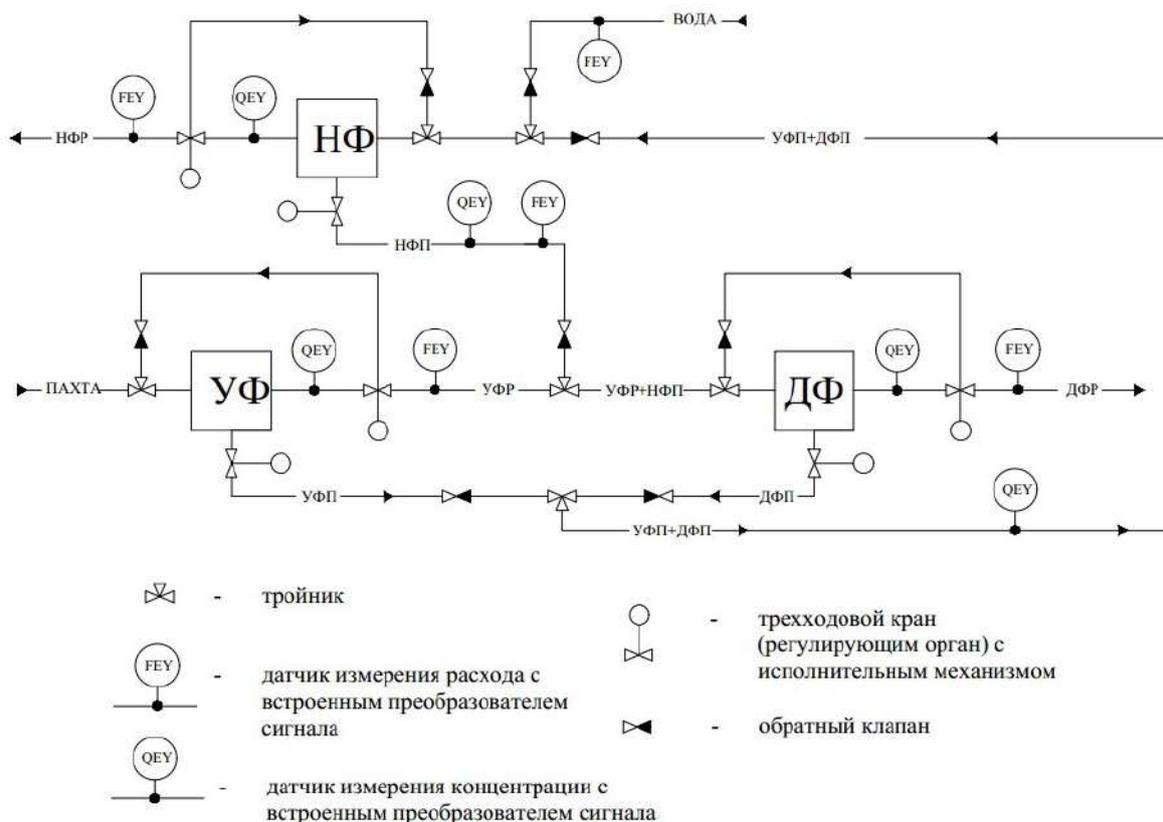


Рис. 1 – Схема мембранной установки для удаления лактозы из концентрата пахты

УФ – блок ультрафильтрационного концентрирования; ДФ – блок диафильтрации; НФ – блок нанофильтрации.

Потоки: П – пахта; УФР – ультрафильтрационный ретентат пахты; УФП – ультрафильтрационный пермеат пахты; ДФР – диафильтрационный ретентат пахты; ДФП – диафильтрационный пермеат пахты.

Разработанная схема мембранной установки для непрерывного удаления лактозы представлена на рис.1.

Установка содержит 3 блока мембранной обработки УФ, ДФ и НФ. Каждый из блоков выполняет свою задачу. Блок УФ обеспечивает концентрирование пахты до желаемого содержания ценных высокомолекулярных соединений (белков и жиров). Эта концентрация определяется фактором концентрирования пахты, который зависит от дальнейшего назначения ее концентрата. Например, если безлактозный концентрат предполагается использовать как основу для производства мороженого, то фактор концентрирования составляет 4...5. На этой стадии непрерывно удаляется УФ пермеат, представляющий раствор солей и лактозы. Селективные свойства УФ мембран позволяют эффективно задерживать белок и жиры. УФ ретентат непрерывно поступает в блок ДФ очистки от лактозы. Здесь происходит непрерывное разбавление ретентата

НФ пермеатом. Этот раствор получают за счет непрерывной нанофильтрации объединенного УФ пермеата блоков УФ и ДФ. Свободный от лактозы или с желаемой концентрацией этого углевода ДФ ретентат удаляется как готовый продукт на дальнейшую переработку.

Блок НФ обеспечивает НФ концентрирования УФ пермеата за счет применения мембран, позволяющих эффективно задерживать лактозу и пропускать соли. Образующийся НФ ретентат выводится как побочный продукт. Сухие вещества в этом растворе в основном представлены лактозой (концентрацией до 23%). Таким образом он может быть использован для производства лактозы или как питательная среда в биотехнологии для получения спирта или других продуктов.

НФ пермеат, содержащий в основном водный раствор солей, играет роль буферного раствора на стадии ДФ УФ ретентата. Солевой состав его идентичен молоку и пахте. Но пермеат не содержит лактозы и соответственно является хорошим растворителем лактозного раствора на стадии диафильтрации. За счет высокого содержания воды в НФ пермеате концентрация лактозы в УФ ретентате будет постепенно и непрерывно понижаться до желаемого значения. ДФ пермеат, содержащий лактозу и соли вместе с УФ пермеатом подается на нанофильтрацию и весь процесс повторяется снова до

тех пор, пока не будет достигнута необходимая концентрация лактозы в продукте.

Для того, чтобы обеспечить непрерывность обработки пахты по такой схеме требуется, чтобы соблюдались определенные соотношения между потоками продуктов пахты, полученными на соответствующих стадиях (блоках). Эти соотношения в основном диктуются требованиями материального баланса объединённой мембранной установки. Очевидно, что установка обеспечит непрерывность процесса, если будут соблюдены следующие условия по расходу потоков для стационарных условий:

$$Q_{УФР} = Q_{ДФР}, \quad (5)$$

где $Q_{УФР}$, $Q_{ДФР}$ – соответственно расход УФР поступающего на ДФ блок и выходящего из него, $дм^3/ч$;

$$Q_{НФП} = Q_{УФП+ДФП}, \quad (6)$$

где $Q_{НФП}$, $Q_{УФП+ДФП}$ – расходы нанофильтрационного и объединенного (УФ+ДФ) УФ пермеатов, $дм^3/ч$;

$$Q_{НФР} = Q_{Н2O} \quad (7)$$

где $Q_{НФР}$, $Q_{Н2O}$ – расходы НФ пермеата и воды, добавленной для обеспечения баланса расхода потоков, $дм^3/ч$;

$$Q_{НФП} = ДО \cdot Q_{УФР} \quad (8)$$

где $Q_{НФП}$, $Q_{УФР}$ – соответствующие расходы потоков НФ пермеата и УФ ретентата, поступающего на диафильтрацию, $дм^3/ч$;

ДО – диафильтрационный объем буферного НФ пермеата, обеспечивающий высокую степень удаления лактозы из УФ ретентата, $ДО=3...7$.

За счет непрерывного разбавления соевым раствором нанофильтрационного пермеата, ценные минеральные вещества молока реинтегрируются в УФ ретентат, что обеспечивает сохранность солевого состава. Добавление чистой воды на стадии нанофильтрации, конечно, снизит общую концентрацию минеральных веществ в УФ ретентате, хотя и незначительно. Этого недостатка можно избежать дополнительным введением эквивалентного источника этих солей, например, УФ пермеата сывортки.

Для нормальной работы установки и обеспечения стационарного режима требуется контроль и управление некоторыми параметрами, характеризующими потоки. В частности, крайне важно контролировать концентрацию сухих веществ в следующих потоках:

- УФ пермеате и ретентате;
- НФ пермеате и ретентате.

Концентрация сухих веществ в потоках будет связана и с концентрацией лактозы. Эту взаимосвязь можно установить расчётным или экспериментальным путем.

Измерение концентрации сухих веществ и использование специальных клапанов обеспечит рециркуляцию основных потоков в отдельных мембранных блоках, если не будет достигнуто желаемое значение. Расходомеры, установленные на

соответствующих участках системы вместе с исполнительными механизмами и насосами должны обеспечить вышеуказанное соотношение потоков.

Таким образом, при нормальной работе установки можно получить концентрат пахты с желаемым содержанием лактозы и белка. Однако, при этом следует учитывать характеристики мембран и рабочие параметры мембранных процессов УФ, НФ, которые рекомендуются их производителем (t , p , pH).

На основании экспериментальных исследований установлено что мембраны ВПУ-15000 и ОПМН-П для реализации установки имеют вполне приемлемые характеристики по селективности и удельной производительности. Исходя из полученных данных можно заключить, что для получения 100 л концентрата пахты с более низкой, чем в исходном продукте и молоке концентрацией лактозы необходимо обеспечить, чтобы мембранные блоки имели следующую площадь фильтрования:

Блок УФ $S=20 \text{ м}^2$ при средней производительности по пермеату $G=10 \text{ л/м}^2 \times \text{ч}$.

Блок ДФ $S=70 \text{ м}^2$ при средней производительности по пермеату $G=10 \text{ л/м}^2 \times \text{ч}$.

Блок НФ $S=45 \text{ м}^2$ при средней производительности по пермеату $G=15 \text{ л/м}^2 \times \text{ч}$.

Особенное значение будет иметь диафильтрационный объем ДО. В таблице 3 указано при каком значении ДО будет достигнут определенный эффект удаления лактозы.

Выводы

На основании экспериментальных и теоретических исследований получены данные, позволяющие сделать вывод о возможности реализации на практике непрерывного мембранного удаления лактозы из пахты. Характеристики мембран ВПУ-15000 (селективность по лактозе $R=1\%$; по солям $R=0\%$, удельная производительность по фильтрату $G=10 \text{ л/м}^2 \times \text{ч}$) и ОПМН-П (селективность по лактозе $R=99,7\%$; по солям $R=0\%$, удельная производительность по фильтрату $G=15 \text{ л/м}^2 \times \text{ч}$) обеспечивают непрерывность процесса и хорошее качество конечного продукта. Для нормального функционирования установки необходим контроль и управление концентрации сухих веществ и расхода потоков УФ пермеата, УФ ретентата и НФ пермеата, НФ ретентата.

Потребная площадь мембранного фильтрования для каждого мембранного блока может быть определена на основании экспериментальных данных удельной производительности. Соотношение расхода потоков установки можно изменить в зависимости от требуемой концентрации лактозы в конечном продукте. Например, для конечной концентрации лактозы $C=0,01\%$ необходим диафильтрационный объем $ДО=7$ или соотношение расходов $Q_{НФП}/Q_{УФР}=7$. Это соотношение изменит и

другие потоки, и их соотношения, например, $Q_{\text{НФ}}/Q_{\text{H}_2\text{O}}$ и т.д.

Существенным недостатком, который является следствием загрязненности мембран в данной установке, является неучитывание режимов регенерации мембран и стерилизации мембранного оборудования. Это направление является перспективой для дальнейшей работы.

Список литературы

1. **Di Stefano, M.** Visceral hypersensitivity and intolerance symptoms in lactose malabsorption / **M. Di Stefano et al.** // *Neurogastroenterology and Motility: The Official Journal of the European Gastrointestinal Motility Society*. – 2007. – 19, v.11. – P. 887-895. – doi: 10.1111/j.1365-2982.2007.00973.x.
2. **Xiong, L.** Prevalence of lactose intolerance in patients with diarrhea-predominant irritable bowel syndrome: data from a tertiary center in southern China / **L. Xiong, et al.** // *Journal of Health, Population and Nutrition*. – 2017. – 36. – №. 1. – P. 38. – doi: 10.1186/s41043-017-0113-1.
3. **Вышемирский, Ф. А.** Пахта: минимум калорий-максимум биологической ценности / **Ф. А. Вышемирский, Н. Н. Ожгихина** // *Молочная промышленность*. – 2011. – №. 9. – С. 54-56.
4. **Cuartas-Uribe, B.** A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration / **B. Cuartas-Uribe, et al.** // *Desalination*. – 2009. – 241. – №. 1-3. – P. 244-255. – doi:10.1016/j.desal.2007.11.086.
5. **Дейниченко, Г. В.** Ультрафільтраційні процеси та технології раціональної переробки білково-вуглеводної молочної сировини: монографія / **Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, І. В. Золотухіна**. Х.: Факт. – 2008.
6. **Агеев, Е. П.** Мембранные процессы разделения / **Е. П. Агеев** // *Крит. технологии. Мембраны*. – 2001. – №. 9. – С. 42–56.
7. **Мазняк, З. О.** Дослідження процесу ультрафільтраційного концентрування скотин та його апаратурне оформлення: дис. кандидата техн. наук: 05.18.12 / **Мазняк Захар Олександрович**. – Х., 2003. – 660 с.
8. **Morin, P.** Microfiltration of buttermilk and washed cream buttermilk for concentration of milk fat globule membrane components / **P. Morin, et al.** // *Journal of dairy science*. – 2007. – 90. – №. 5. – P. 2132-2140. – doi:10.3168/jds.2006-832.
9. **Choi, S. H.** Development of lactose-hydrolyzed milk with low sweetness using nanofiltration / **S. H. Choi, S. Lee, H. Won** // *Asian Australasian Journal Of Animal Sciences*. – 2007. – 20. – №. 6. – P. 989-993. – doi: 10.5713/ajas.2007.989.
10. **Jelen, P.** Low lactose and lactose-free milk and dairy products-prospects, technologies and applications / **P. Jelen, O. Tossavainen** // *Australian Journal of Dairy Technology*. – 2003. – 58. – №. 2. – P. 161-165.
11. **Novalin, S.** A new innovative process to produce lactose-reduced skim milk / **S. Novalin, W. Neuhaus, K. D. Kulbe** // *Journal of Biotechnology*. – 2005. – 119. – №. 2. – P. 212-218. – doi:10.1016/j.jbiotec.2005.03.018.
12. **Храмцов, А. Г.** Исследования в области получения безлактозных молочных продуктов / **А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов, И. К. Куликова, В. Д. Ершова** // *Материалы Международной научно-практической*

конференции «Молочная индустрия-2009». – М.: АНО «Молочная промышленность», 2009.

13. **Евдокимов, И. А.** Получение продуктов с пониженным содержанием лактозы / **И. А. Евдокимов, И. К. Куликова, В. Д. Эршова** // *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*. – 2010. – №. 2. – С. 64-68.
14. **Крусь, Г. Н.** Методы исследования молока и молочных продуктов / **Г. Н. Крусь, А. М. Шалыгина, З. В. Волокитина**; ред. А.М. Шалыгиной. – М.: Колос, 2000. – 368 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Di Stefano, M., et.al.** Visceral hypersensitivity and intolerance symptoms in lactose malabsorption. *Neurogastroenterology and Motility: The Official Journal of the European Gastrointestinal Motility Society*, 2007, **19**, v.11, 887-895, doi: 10.1111/j.1365-2982.2007.00973.x.
2. **Xiong, L., et al.** Prevalence of lactose intolerance in patients with diarrhea-predominant irritable bowel syndrome: data from a tertiary center in southern China. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 2017, **36**, 1, 38, doi: 10.1186/s41043-017-0113-1.
3. **Vyshemirskiy, F. A., Ozhgikhina, N. N.** Pakhta: minimum kaloriy-maksimum biologicheskoy tsennosti. *Molochnaya promyshlennost*, 2011, **9**, 54-56.
4. **Cuartas-Uribe, B., Alcaina-Miranda, M. I., So-riano-Costa, E.** A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration. *Desalination*, 2009, **241**, 244–255, doi:10.1016/j.desal.2007.11.086.
5. **Deynichenko, G. V., Maznyak, Z. O., Zolotukhina, I. V.** Ultrafiltratsiyeni protsesi ta tekhnologii ratsionalnoi pererobki bilkovo-vuglevodnoi molochnoi sirovini. Kh.: Fakt, 2008, 208.
6. **Ageev, Ye. P.** Membrannyye protsessy razdele-niya. *Krit. tekhnologii. Membrany*, 2001, **9**, 42–56.
7. **Maznyak, Z. O.** Doslidzhuvannya protsesu ultrafiltratsiyynogo kontsentruvannya skotin ta yogo aparaturne oformlennya: dis. kandidata tekhn. nauk: 05.18.12. Kh., 2003, 660.
8. **Morin, P., et al.** Microfiltration of buttermilk and washed cream buttermilk for concentration of milk fat globule membrane components. *Journal of dairy science*, 2007, **90**, 5, 2132-2140, doi:10.3168/jds.2006-832.
9. **Choi, S. H., Lee, S.-B., Won, H.-R.** Development of Lactose-hydrolyzed Milk with Low Sweetness Using Nanofiltration. *Asian Australasian Journal Of Animal Sciences*, 2007, **20** (6), 989-993, doi: 10.5713/ajas.2007.989.
10. **Jelen, R., Tossavainen, O.** Low lactose and lactose-free milk and dairy products – prospects, technologies and applications. *Australian Journal of Dairy Technology*, 2003, **58**, 2, 161-165.
11. **Novalin, S., Neuhaus, W., Kulbe, K. D.** A new innovative process to produce lactose-reduced skim milk. *Journal of Biotechnology*, 2005, **119**, 2, 212-218, doi:10.1016/j.jbiotec.2005.03.018.
12. **Khramtsov, A. G., Yevdokimov, I. A., Kulikova, I. K., Yereshova, V. D.** Issledovaniya v oblasti polu-cheniya bezlaktoznykh molochnykh produktov. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Molochnaya industriya-2009»*. M.: ANO «Molochnaya promyshlennost», 2009.
13. **Yevdokimov, I. A., Kulikova, I. K., Ershova, V. D.** Poluchenie produktov s ponizhennym soderzhani-em

laktozy. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*, 2010, 2, 64-68.

14. **Krus, G. N., Shalygina, A. M., Volokitina, Z. V.** Metody issledovaniya moloka i mo-lochnykh produktov. red. A.M. Shalyginoy.M.: Kolos, 2000, 368.

Сведения об авторах (About authors)

Трубникова Анастасия Анатольевна – аспирант кафедры технологии молочных, олейно-жировых продуктов и косметики. Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г.Одесса, Украина, 65039; E-mail: : sc228004@ukr.net.

Anastasiya Trubnikova – postgraduate of department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Kanatnaya, 112, Odessa, Ukraine, 65039; E-mail: sc228004@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Трубникова, А. А. Контроль и управление непрерывным процессом мембранного удаления лактозы из пахты / **А. А. Трубникова**// *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 16 (1292). – С. 177-183. – doi:10.20998/2413-4295.2018.16.26.

Please cite this article as:

Trubnikova, A. Control and management continuous membrane process removal lactose with buttermilk. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 16(1292), 177-183, doi:10.20998/2413-4295.2018.16.26.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Трубнікова, А. А. Контроль і управління безперервним процесом мембранного видалення лактози із маслянки / **А. А. Трубнікова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 16 (1292). – С. 177-183. – doi:10.20998/2413-4295.2018.16.26.

АНОТАЦІЯ Мембранні процеси, такі як УФ, МФ, НФ, ЗО давно зарекомендували себе як ефективний засіб поліпшення властивостей різних молочних продуктів, в т.ч. вторинних (маслянки, сироватки, знежиреного молока). Маючи різні характеристики НФ і УФ мембрани можуть ефективно затримувати високомолекулярні речовини і пропускати низькомолекулярні. Крім того, НФ мембрани здатні розділити органічні речовини від неорганічних. Базуючись на цих властивостях мембран, їх експлуатаційних характеристиках і загальних залежностях мембранного поділу можна ефективно видаляти лактозу з концентратів маслянки при збереженні мінерального складу безперервно. Мембранний поділ має при цьому ряд переваг перед проведенням ферментативного видалення лактози, яке використовують на практиці. Безперервність мембранного видалення лактози може бути досягнута певною комбінацією УФ, ДФ і НФ обробки. Метою даних досліджень є вивчення можливості організації безперервного мембранного видалення лактози із маслянки і розробка відповідної схеми установки. В ході експериментів визначили, що УФ мембрани ВПУ-15000 за своїми характеристиками підходять для УФ і ДФ. Їх селективність по лактозі $R = 1\%$. НФ мембрани марки ОПМН мають високу ($R = 99,7\%$) селективність по лактози і низьку по мінеральних речовин. Це дозволяє використовувати їх для отримання пермеата, який застосовується як буферний розчин. Розроблено схему автоматичного управління і контролю мембранною установкою, що складається з трьох блоків: УФ концентрування, ДФ, і НФ. Установка забезпечує безперервну обробку маслянки з метою отримання високобілкових-ліпідного концентрату що не містить лактози. Слабкою ланкою мембранної установки є необхідність регенерації мембран. В цьому напрямку потрібні додаткові дослідження.

Ключові слова: мембрани, мембранні технології; безлактозні продукти; діалізаційне очищення; ультрафільтрація маслянки; автоматизація мембранних процесів.

Поступила (received) 28.04.2018