

Обзорная статья / *Review article*

УДК 637.1

DOI: 10.31208/2618-7353-2020-10-7-20

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ
АГРАРНО-ПИЩЕВЫХ ИННОВАЦИЙ МОЛОЧНОГО ДЕЛА
НА ПРИМЕРЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ.**

Микрофльтрация

***TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGH OF THE AGRARIAN-AND-FOOD
INNOVATIONS IN DAIRY CASE FOR EXAMPLE OF UNIVERSAL
AGRICULTURAL RAW MATERIALS.***

Microfiltration

Андрей Г. Храмов, доктор технических наук, профессор, академик РАН

Andrey G. Khramtsov, doctor of technical sciences, professor, academician of RAS

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь

North-Caucasus Federal University, Stavropol

Продолжение статей, напечатанных в № 2-8, 2018-2020 гг.

Контактное лицо: Андрей Г. Храмов, доктор технических наук, профессор, академик РАН, профессор-консультант кафедры прикладной биотехнологии Института живых систем, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь.

E-mail: akhramtcov@ncfu.ru; тел. +79624477823; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>

Формат цитирования: Храмов А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхозсырья. Микрофльтрация // Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 10, N 2. С. 7-20 . DOI: 10.31208/2618-7353-2020-10-7-20

Principal Contact: Andrey G. Khramtsov, Dr Technical Sci., Professor, Academician of RAS and Professor-consultant of the Department of Applied Biotechnology, Institute of Life Science, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia.

E-mail: akhramtcov@ncfu.ru; Russia, tel. +79624477823; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>

How to cite this article: Khramtsov A.G. Technological breakthrough the agri-food innovation dairy case for example, a universal agricultural raw materials. Microfiltration. *Agrian-and-food innovations*. 2020, vol. 10, no. 2, pp. 7-20 . (In Russian) DOI: 10.31208/2618-7353-2020-10-7-20

Резюме

Цель. Изложение конкретики мембранных технологий молочной отрасли АПК в аспекте возможного Технологического Прорыва на примере микрофльтрации, которая логически находится между обычной фильтрацией молочного сырья через ткань (марлю, лавсан) и ультрафльтрацией – молекулярно-ситовым разделением через специально изготовленные мембраны.

Обсуждение. В ходе исследований использовались данные о применении микрофльтрации и мембранных технологий в технологических процессах молочной промышленности во всех странах мира с развитой молочной промышленностью. Использовались общепринятые в отрасли (сухие вещества, лактоза, молочный жир, белковые соединения, минеральный комплекс, активная и титруемая кислотности), так и оригинальные (газожидкостная и гельпроникающая хроматография, адсорбционная спектрофотометрия), а также специально разрабо-

танные («ноу-хау») методы. Математическая (статистическая) обработка результатов исследований проводилась в соответствии с методическими указаниями для статистической обработки результатов пассивного и активного эксперимента в биотехнологии, с использованием компьютерных программ и метода сингулярного разложения.

Заключение. Проведено исследование информации о применении микрофльтрации и мембранных технологий в технологических процессах молочной промышленности в разных странах мира. Применение микрофльтрации в технологических процессах молочной промышленности достаточно изучено и реализовано на практике. Например, молоко – удаление бактерий и спор из сырого молока, разделение молочных белков на фракции; сыворотка – удаление бактерий и спор из сыворотки, обезжиривание сыворотки для получения высококачественного концентрата сывороточных белков; сырный рассол – удаление бактерий, спор, дрожжей и плесеней. Селективное разделение процессами микрофльтрации продолжают изучать и совершенствовать во всем мире. В частности, предложен механизм, базирующийся на сочетании молекулярно-ситового разделения Ферри с закономерностями явления гелевой поляризации. Существует объяснение природы поляризации гелевых слоев на поверхности мембран через модель разделения, основанную на внутреннем сопротивлении мембраны и поляризационного слоя. Следует отметить, что мембранные технологии в молочной промышленности начали свой «жизненный цикл» на примере молочной сыворотки.

Установлена возможность кондиционирования всех видов молочной сыворотки микрофльтрацией до технологической обработки в линейку продуктов функционального назначения в комплексе, отдельных компонентов и для их фракционирования. Микрофльтрация обеспечивает биологическую стабилизацию молочной сыворотки с регулированием кислотности. Она позволяет удалять хлорорганические соединения и тяжелые металлы. Заметно снижается аллергенность молочной сыворотки, что использовано на практике при выработке диетических сортов хлеба.

Ключевые слова: молочная сыворотка, микрофльтрация, общие процессы и конкретика применения.

Abstract

Aim. Description of the specifics of membrane technologies in the dairy industry in the aspect of a possible Technological Breakthrough on the example of microfiltration, which is logically located between the known filtration of dairy raw materials through fabric (malyu, lavsan) and ultrafiltration – molecular sieve separation through specially made membranes.

Material and Methods. The research used data on the application of microfiltration and membrane technologies in the technological processes of the dairy industry in all countries of the world with a developed dairy industry. The research uses industry-standard methods (dry matter, lactose, milk fat, protein compounds, mineral complex, active and titrated acidity) and original methods (gas-liquid and gel-penetrating chromatography, adsorption spectrophotometry), as well as specially developed («know-how») methods. Mathematical (statistical) processing of research results was carried out in accordance with the guidelines for statistical processing of results of passive and active experiments in biotechnology, using computer programs and the method of singular decomposition.

Results. A study of information about the use of microfiltration and membrane technologies in the technological processes of the dairy industry in different countries of the world. Currently, the use of microfiltration in the dairy industry is sufficiently studied and implemented in practice. For example, milk: removing bacteria and spores from raw milk, dividing milk proteins into fractions; whey: removing bacteria and spores from whey; skimming whey to produce high-quality whey pro-

tein concentrate; cheese brine: removing bacteria, spores, yeast and mold. Selective separation of the microfiltration process continues to be studied and improved. In particular, a mechanism based on the combination of molecular sieve separation of Ferri with the regularities of the phenomenon of gel polarization is proposed. There is an explanation of the nature of the polarization of gel layers on the surface of membranes through a separation model based on the internal resistance of the membrane and the polarization layer. It should be noted that membrane technologies in the dairy industry began their «life cycle» on the example of whey.

The study established the possibility of conditioning all types of whey by microfiltration before processing into a line of functional products in a complex, individual components and for their fractionation. Microfiltration provides biological stabilization of whey with the regulation of acidity. It allows you to remove organochlorine compounds and heavy metals. Significantly reduces the allergenicity of whey, which is used in practice in the development of dietary bread varieties.

Key words: whey, microfiltration, general process and the specifics of the application.

Введение. Микрофльтрация (МФ) – это мембранный процесс утилитарной фильтрации через полупроницаемые перегородки (фильтры-мембраны) с размером пор 0,1-1,0 мкм (100-1000 нм), осуществляемый при давлении 0,2-4 бар, что позволяет направленно и управляемо разделять исходный раствор (систему) по размерам составляющих компонентов – микрочастиц, микроорганизмов и макромолекул. Ниже на иллюстрациях (рисунки 1, 2 и 3) показаны схематично процессы микрофльтрации в обобщенном виде для биологических систем, молока-сырья и молочной сыворотки.

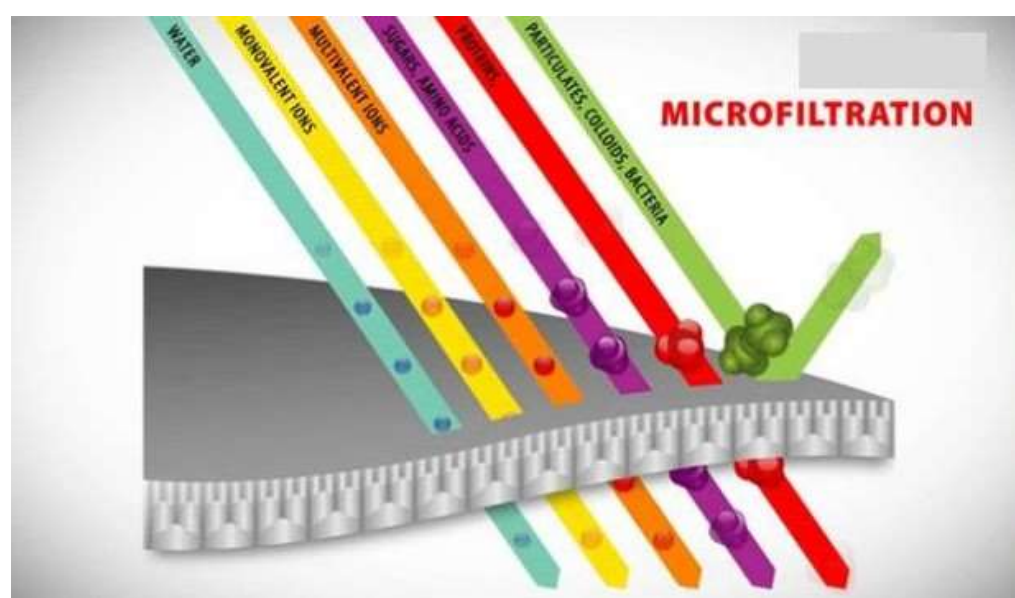
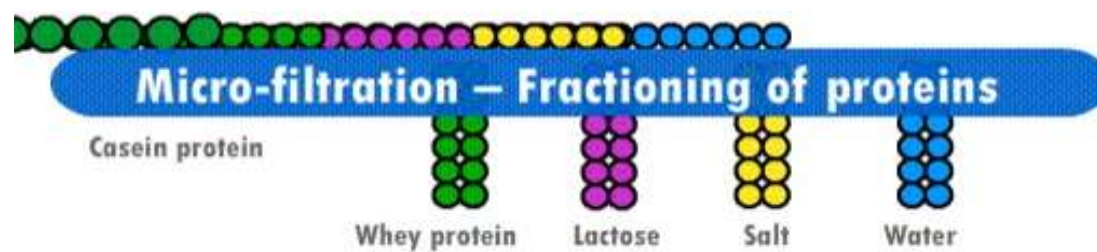


Рисунок 1. Общая схема микрофльтрации биологических растворов с выделением механических частиц, жировых шариков, коллоидов и микроорганизмов

Figure 1. General scheme of microfiltration of biological solutions with the release of mechanical particles, fat balls, colloids and microorganisms



Micro-filtration - Fractioning of Proteins

Рисунок 2. Микрофльтрация молока-сырья с отделением казеина
Figure 2. Microfiltration of raw milk with casein separation

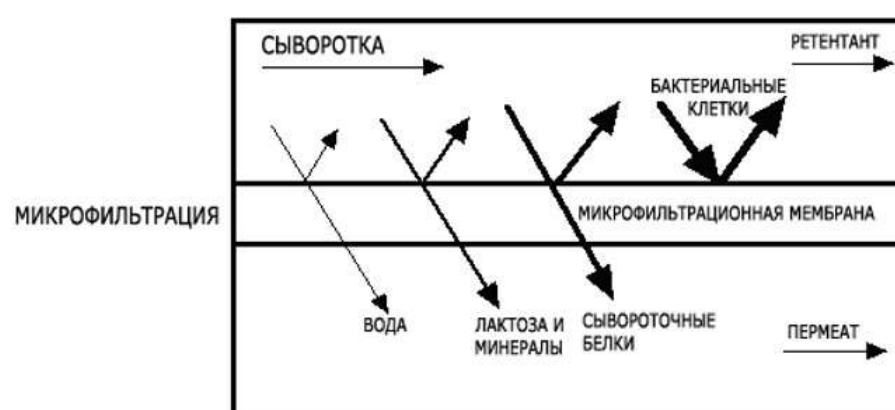


Рисунок 3. Микрофльтрация сепарированной молочной сыворотки
Figure 3. Microfiltration of separated whey

Из приведенных иллюстраций совершенно четко можно констатировать, что микрофльтрация в целом, применительно к молоку и сыворотке, позволяет получать в пермеате (МФ-фильтрате) водный раствор солей, сахаров (лактозы) и белков, а в ретентате (МФ-концентрате) – консорциум микроорганизмов (бактерии, дрожжи, плесени), жировые шарики и мицеллы казеина. При этом следует иметь в виду, что в силу полиморфности по виду, размерам и молекулярной массе исходных субстратов, особенно в молочной сыворотке (универсальное сельскохозяйственное сырье по академику Липатову Н.Н.), через поры мембран может «просачиваться» некоторая часть всех компонентов. А при повышении давления микрофльтрация плавно переходит в ультрафльтрацию.

В настоящее время применение микрофльтрации в технологических процессах молочной промышленности достаточно изучено и реализовано на практике во всех странах с развитой молочной промышленностью.

Ниже приведен краткий перечень направлений и процессов использования микрофльтрации для молока, молочной сыворотки и рассолов.

1. Молоко – удаление бактерий и спор из сырого молока, разделение молочных белков на фракции [16, 25].
2. Сыворотка – удаление бактерий и спор из сыворотки; обезжиривание сыворотки для получения высококачественного концентрата сывороточных белков [25, 28].
3. Сырный рассол – удаление бактерий, спор, дрожжей и плесени для очистки сырного рассола [19].

Например, фирмой «Альфа-Лаваль» (Швеция) разработан процесс стерилизации молока, названный «Бактокеч», при котором обезжиренное молоко подвергается микрофльтрации через керамические мембраны с размером пор 0,8-1,4 мкм, а полученный в процессе концентрат, составляющий 5-10% от общего объема молока, смешивается с жировым концентратом и подвергается высокотемпературной обработке при 130°C/4 сек, после чего смешивается в нужной пропорции с микрофилтратом молока. Данная технология позволяет значительно повысить эффективность пастеризации молока и снизить денатурацию белков по сравнению с обычной тепловой пастеризацией.

Plot M. et al. [26] предлагается использовать процесс микрофльтрации молозива для получения «*serocolostrum*» – «сыворотки из молозива», очищенной от кровяных и соматических клеток, казеиновых мицелл и жира. В дальнейшем микрофилтрат молозива подвергается технологической обработке для получения чистого IgG/TS.

Ni Cheng в диссертации на соискание ученой степени доктора философских наук «Керамическая микрофльтрация в производстве молочных ингредиентов для напитков из молочного белка» подчеркнуто, что мембранная технология вообще и микрофльтрация в частности на протяжении десятилетий обеспечивают инновационные исследования и Технологический Прорыв в молочной промышленности [12]. В результате исследований на трех уровнях были определены различия в чувствительности цветовых систем Hunter (L и b) и CIE (International Commission on Illumination) при двух разных углах обзора (2 и 10 градусов) для измерения белизны (красного, зеленого, синего и желтого цветов) напитков на основе молока. Микрофльтрацией получены концентраты жидкого мицеллярного казеина (МСС) в качестве нового ингредиента молочного белка. Это привело к пониманию сенсорных и технологических характеристик жидкого МСС и его применения в качестве ингредиента для напитков с добавленной стоимостью на рынке.

В работе Verruck S. et al. [29] изучено влияние термообработки и микрофльтрации на свойства белков молока.

Профессор Ульрих Кулоцки (Германия) с творческим коллективом [15, 17] исследовали фракционирование молочного белка на спирально-навитой микрофилтративной мембране: влияние режимов давления и температуры на загрязнение и проникновение белка, а также концентрирование иммуноглобулинов IgG микрофилтративной мембраной.

Применение микрофльтрации для обработки молочной сыворотки было начато Lee D.N. и Merson R.L. в 1976 году [20]. Первоначально данный процесс использовали для отделения казеиновой пыли, молочного жира [23], улучшения свойств концентратов сывороточных белков [2] и интенсификации баромембранных процессов [20]. Затем ее стали использовать для фракционирования молочной сыворотки с целью получения казеина и сывороточных белков [21], а также чистых фракций последних [22], снижения микробиологической обсемененности [24], удаления вирусов, токсинов, пигментов [9], промышленного получения антибактериальных субстанций (способ основан на экстракции чистых фракций пероксидазы и лактоферрина), при выработке глюкозо-галактозного и глюкозо-фруктозного сиропов [3].

Новым направлением использования микрофльтрации является отделение из подсырной и творожной сыворотки фосфолипидов и липопротеинов [13].

Кроме того, процессы микрофльтрации молочной сыворотки целенаправленно исследованы применительно к полиассортименту этого универсального сельскохозяйственного сырья – подсырная, творожная и казеиновая сыворотки [1], а также кондиционированию молока-сырья и сыворотки [5, 7].

Объекты и методология познания.

В качестве объектов для исследований использованы все виды молочной сыворотки. Ниже показаны пределы колебаний состава молочных сывороток для микрофльтрации и их гранулометрия.

Таблица 1. Состав молочных сывороток

Table 1. Composition of milk serums

Показатель	Пределы колебаний
Содержание сухих веществ, % <i>Dry matter content, %</i>	4,2-7,5
в том числе: лактозы <i>including: lactose</i>	3,2-5,2
белка <i>protein</i>	0,5-1,5
минеральных веществ <i>mineral substance</i>	0,3-0,9
молочного жира <i>milk fat</i>	0,05-0,5
Кислотность, °Т <i>Acidity, °T</i>	15-120
Плотность, кг/м ³ <i>Density, kg/m³</i>	1018-1027

Следует обратить внимание на достаточно заметные колебания в составе и свойствах молочных сывороток различного происхождения, что необходимо учитывать при проведении исследований и масштабировании Технологического Прорыва.

Таблица 2. Размер основных компонентов

Table 2. The size of the main components

Компонент сыворотки <i>Component of whey</i>	Размер молекулы или частицы, нм <i>Size of a molecule or particle, nm</i>
Казеиновая пыль <i>Casein dust</i>	5000-150000
Жир <i>Fat</i>	200-10000
Казеин <i>Casein</i>	40-300
БАВ <i>Biologically active substance</i>	0,1-100
β-лактоглобулин <i>β-lactoglobulin</i>	25-50
α-лактоглобулин <i>α-lactoglobulin</i>	5-20
Молочный сахар (лактоза) <i>Milk sugar (lactose)</i>	1,0-1,5
Минеральные соли <i>Mineral salt</i>	0,1-1,0
Вода <i>Water</i>	0,1-0,2
Микрофлора: <i>Microflora:</i>	
дрожжи <i>yeast</i>	10000-15000
бактерии <i>bacteria</i>	1000-6000

Размеры частиц (казеиновая пыль), микрофлора, БАВ и компоненты молочной сыворотки представляют сложнейшую биотехнологическую иерархию, что создает определенные

затруднения при обработке мембранными методами, в т.ч. микрофильтрацией, за счет «наложения» составляющих «друг на друга».

Методы исследований включали как общепринятые в отрасли (сухие вещества, лактоза, молочный жир, белковые соединения, минеральный комплекс, активная и титруемая кислотности), так и оригинальные (газожидкостная и гельпроникающая хроматография, адсорбционная спектрофотометрия), а также специально разработанные («ноу-хау»).

Математическая (статистическая) обработка результатов исследований для оценки достоверности получаемых результатов проводилась в соответствии с методическими указаниями (Статистическая обработка результатов пассивного и активного эксперимента в биотехнологии / Гордиенко М.Г. и др., 2015) и набором компьютерных программ с применением метода сингулярного разложения.

Прослеживаемость и безопасность получаемых продуктов в логистике проводимых исследований и опытно-промышленных испытаний осуществлялась в соответствии с принятыми в настоящее время нормативами (Теоретические и методологические основы качества и безопасности продовольственных товаров: учебное пособие / сост. В.Е. Жидков, Ж.В. Горностаева, Ю.С. Чернышева и др. – Ставрополь: Сервисшкола, 2019).

Обсуждение. При применении мембранных методов разделения для молочного сырья, в том числе молочной сыворотки, пока не удастся достигнуть высокой эффективности процесса, особенно для микрофильтрации. В первую очередь это связано с недостаточной изученностью теории мембранных процессов, которой в последнее время уделяют повышенное внимание.

В результате к настоящему времени когнитивно сформировались две точки зрения. Согласно первой из них, разделение осуществляется по ситовому механизму, связывающему селективные свойства мембран с отношением размеров частицы и поры. Это подтверждают и экспериментальные данные. Однако отмечается, что попытки количественного описания селективных свойств мембран в рамках исключительно ситового механизма оказываются безрезультатными. Согласно второй точке зрения, основанной на теории концентрационной поляризации Михаэлиса-Блатта, производительные и селективные свойства мембран определяются слоем геля, образующимся на их поверхности и состоящим из компонентов раствора и суспензий, задерживаемых мембраной. Такой подход позволяет хорошо описать производительные свойства мембран во время концентрирования. Однако он оказывается неправильным при описании селективных свойств мембран, поскольку сводит их к селективным свойствам гелевых слоев, что противоречит молекулярно-ситовой природе микрофильтрации [4, 10].

Механизмы селективного разделения продолжают изучаться и совершенствоваться. В частности, предложен механизм селективного разделения растворов, базирующийся на сочетании молекулярно-ситового механизма Ферри с закономерностями явления гелевой поляризации. Существует объяснение природы поляризации гелевых слоев на поверхности мембран через модель разделения, основанную на внутреннем сопротивлении мембраны и поляризационного слоя [18]. В соответствии с этим положением, целесообразно разрабатывать режимы микрофильтрации, которые влияют на формирование гелевого слоя и, следовательно, производительные и селективные характеристики процесса. Этот вывод значительно расширяет возможности описания микрофильтрации, т.к. позволяет применить к нему хорошо разработанные методы анализа ультрафильтрационных мембран.

Следует отметить и подчеркнуть, как факт исторической достоверности, что мембранные технологии в молочной промышленности начали свой «жизненный цикл» на примере молочной сыворотки [27].

В настоящее время наиболее эффективными для микрофльтрации считаются (моно) керамические и полисульфонамидные спиральные мембраны, в том числе для тангенциальной фльтрации.

На первом этапе исследований [1] было рассмотрено влияние технологических факторов на процесс микрофльтрационного разделения молочной сыворотки. Движущей силой процесса в статических и динамических условиях является давление. Помимо этого на эффективность процесса влияют: скорость циркуляции жидкости над мембраной; температура процесса; химический и дисперсный состав сыворотки и т.д.

В динамических условиях на процесс микрофльтрационного разделения влияют два основных фактора: трансмембранное давление и скорость циркуляции жидкости над мембраной. Математические модели, описывающие проницаемость мембран Y_1 (л/м²·с) от величины трансмембранного давления X_1 (МПа) и скорости циркуляции сыворотки над мембраной X_2 (м/с) в установившемся режиме, имеют вид:

для подсырной сыворотки:

$$Y = 4,83 \cdot 10^{-3} - 11,28 \cdot 10^{-2} X_1 + 0,596 X_2^2 + 9,32 \sqrt{X_2} \quad (1);$$

для творожной сыворотки:

$$Y_1 = 1,28 \cdot 10^{-2} - \frac{4,4 \cdot 10^{-4}}{X_1} + 8,05 \cdot 10^{-3} X_2 \quad (2).$$

Полученные математические модели оптимизированы по максимальной проницаемости методом покоординатного спуска в оптимальных диапазонах трансмембранного давления (0,11±0,2 МПа), скорости циркуляции (9,5±1,5 м/с) и составляют 0,022 л/м²·с для подсырной сыворотки и 0,036 л/м²·с для творожной.

Температура микрофльтрационного разделения также оказывает существенную роль на процесс [8]. На рисунке 4 представлена проницаемость мембран в зависимости от давления при различной температуре.

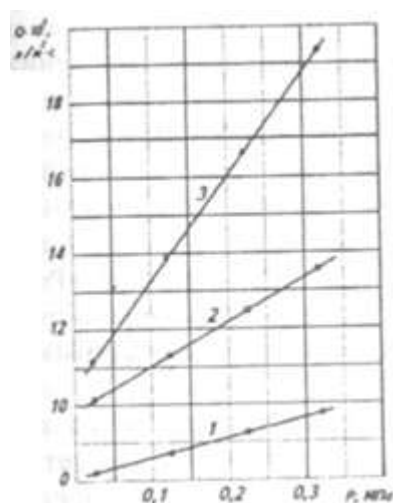


Рисунок 4. Зависимость проницаемости микрофльтрационных мембран по творожной сыворотке от давления при различной температуре:
1 – 6°C; 2 – 30°C; 3 – 55°C

Figure 4. Dependence of the permeability of micro-filtration membranes in curd serum on the pressure at different temperatures:
1 – 6°C; 2 – 30°C; 3 – 55°C

Анализ графических зависимостей в интервале температур (6-55)°C при установившемся режиме показывает, что они имеют тенденцию к возрастанию с увеличением температуры обработки примерно в 1,5 раза испытанного интервала.

При микрофльтрационном разделении молочной сыворотки вязкость концентрата с течением времени заметно растет, что в свою очередь влияет на проницаемость мембран. Влияние времени концентрирования X_1 (с) и динамической вязкости продукта X_2 (мПа·с) на проницаемость микрофльтрационных мембран описывается нижеприведенной формулой:

$$Q = -0,161 - \frac{1,352 \cdot 10^3}{X_1^2} + \frac{0,3790}{X_2^2} + \frac{2,906 \cdot 10^3}{X_1^2 \cdot X_2^2} \quad (3).$$

Данная математическая модель с погрешностью на уровне 3,0% свидетельствует о сложности и нелинейности взаимосвязи между параметрами микрофльтрационного разделения, что следует учитывать на практике. Проведенные исследования позволяют судить о том, что область оптимальных значений температуры микрофльтрационного разделения составляет $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Сравнение характеристик микрофльтрационного разделения натуральной и обезжиренной подсырной сыворотки свидетельствует о том, что присутствие молочного жира в обрабатываемом сырье снижает проницаемость примерно в 1,5-1,6 раза.

Для повышения эффективности микрофльтрационного разделения компонентов молочной сыворотки рекомендуются два основных направления: предотвращение образования осадка на поверхности мембраны и снижение скорости его накопления технологическими, физическими, химическими и гидравлическими методами [11, 25].

На снижение проницаемости мембран значительное влияние оказывают минеральные вещества. Они воздействуют на растворимость образующегося слоя осадка, взаимодействие обрабатываемого сырья с мембраной, величину осмотического давления и структуру разделяемой системы [6, 14].

На рисунке 5 представлены результаты экспериментов изменения проницаемости микрофльтрационных мембран с диаметром пор 0,25 мкм во времени.

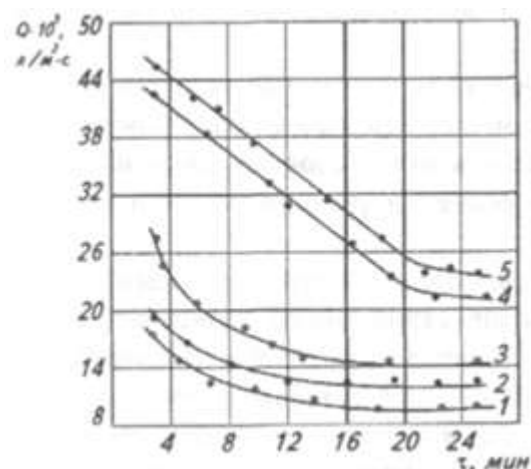


Рисунок 5. Зависимость проницаемости микрофльтрационных мембран (подсырная сыворотка) от времени при различных уровнях деминерализации: 1 – 0%; 2 – 35%; 3 – 40%; 4 – 70%; 5 – 90%

Figure 5. Dependence of the permeability of microfiltration membranes (subsurface serum) on time at different levels of demineralization:

1 – 0%; 2 – 35%; 3 – 40%; 4 – 70%; 5 – 90%

Анализ графических зависимостей показывает, что проницаемость микрофльтрационных мембран возрастает в 1,4-3,0 раза с повышением уровня деминерализации. Логично для использования на практике.

Технологический фактор – активная кислотность – оказывает влияние на проницаемость и селективность мембран. Минимальное значение проницаемости наблюдалось при pH менее 5,6 и 7,6, что показано в нижеприведенной таблице и связано с изменением селективности мембран по белку.

Таблица 3. Изменение селективности по белку микрофльтрационных мембран при различных значениях активной кислотности

Table 3. Changes in protein selectivity of microfiltration membranes at different values of active acidity

Селективность по белку, % Protein selectivity, %	19,7	27,9	48,4	77,6	74,4	67,2	38,3
Активная кислотность, ед pH Active acidity, pH units	4,3	5,1	5,6	6,0	6,5	7,1	7,6

На основе проведенных исследований во многих странах мира созданы современные установки, одна из которых известной фирмы Кизельманн (Германия) показана на рисунке 6 (производительность впечатляет). Остается надеяться на импорт или ждать Прорыва отечественных машиностроителей?!



Рисунок 6. Микрофльтрационная установка производительностью 300 тонн молочной сыворотки в сутки

Figure 6. Microfiltration plant with a capacity of 300 tons of whey per day

Заключение. Выводы и предложения.

1. Технологический Прорыв в молочной отрасли пищевой индустрии АПК нашей страны за счет использования процесса микрофльтрации, применительно к молочной сыворотке, ждет масштабирования. При этом необходимо, обеспечивая Продовольственную Безопасность Российской Федерации и ее регионов (Указ Президента РФ об утверждении Доктрины продовольственной безопасности РФ от 21.01.2020 г.), определить приоритет аграрно-пищевых инноваций (АПИ) в соответствии с современными достижениями науки и практики.

2. С учетом приведенной информации и анализа информационного файла результатов исследований, их направленности и практического опыта за рубежом представляется целесообразным обратить внимание на следующее. Исследованиями, проведенными в СтПИ, Сев-КавГТУ (н/в СКФУ) совершенно четко установлена возможность кондиционирования всех видов молочной сыворотки микрофльтрацией до технологической обработки в линейку продуктов функционального назначения в комплексе, отдельных компонентов и для их фракционирования.

3. Микрофльтрация обеспечивает биологическую стабилизацию молочной сыворотки с регулированием кислотности. Она позволяет удалять хлорорганические соединения и тяжелые металлы. Заметно (доказано специально поставленными опытами) снижается аллергенность молочной сыворотки, что использовано на практике при выработке диетических сортов хлеба.

Библиографический список

1. Абдулина Е.Р. Микрофльтрация молочной сыворотки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07. Ставрополь, 1992. 156 с.
2. Бредихина О.В., Кузина Ж.И., Бредихин С.А. Санитарная обработка мембран после ультрафльтрации рассолов // Переработка молока. 2005. N 5. С. 26-27.
3. Голубев В.Н. Перспективы мембранной технологии // Пищевая промышленность. 1990. N 4. С. 22-23.
4. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафльтрация. М.: Химия, 1978. 351 с.
5. Емельянов С.А. Теоретическое обоснование и экспериментальные исследования технологических аспектов бактериальной санации молочного сырья в условиях реально-

- го биоценоза: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 15.18.07. Ставрополь: Сев-КавГТУ, 2008. 38 с.
6. Парк Д.В. Биохимия чужеродных соединений. М.: Медицина, 1983. 286 с.
 7. Смирнов Е.Р. Разработка технологии кондиционирования молочной сыворотки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04; 05.18.07. Ставрополь, 2009. 165 с.
 8. Технологические особенности переработки ультрафильтрата на молочный сахар. М.: АгроНИИТЭИММП, 1991. 44 с.
 9. Установки для ультра- и микрофльтрации обезжиренного молока и сыворотки: экспресс-информ., заруб. опыт // АгроНИИТЭИММП. Сер. Молочная промышленность. 1987. Вып. 21. С. 4-5.
 10. Хванг С.Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. М.: Химия, 1981. 463 с.
 11. Храпцов А.Г. Новации молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2016. 490 с.
 12. Cheng Ni. Ceramic microfiltration to produce dairy ingredients for milk protein beverages. USA, North Carolina: Food Science Raleigh, 2019.
 13. Fauquex P.-F. Development d'un reacteur enzymatique lit fluidise a melangent statique. Hydrolyse du lactose du petitlait en presence de proteines // Ecole Polytechnique Federale. Lusanne, 1983. Th. 498.
 14. Haeusel R. et. al. Fractionation of main whey proteins and potential industrial feasibility // European Dairy Magazine. 1990. N 2. P. 4-15.
 15. Hartinger Martin, Heidebrecht Hans-Jürgen, Schiffer Simon, Dimpler Joseph and Kulozik Ulrich. Foods. Milk protein fractionation by means of spiral-wound microfiltration membranes: effect of the pressure adjustment mode and temperature on flux and protein permeation. 2019 Jun.; 8(6):180.11.
 16. Hedstroem S., Hermansson H., Lindau J. Method of pretreating milk in microfiltration. Patent WO, no. 02069724, 2002.
 17. Heidebrecht H.J., Toro-Sierra J., Kulozik U. Concentration of immunoglobulins in microfiltration permeates of skim milk: impact of transmembrane pressure and temperature on the IgG transmission using different ceramic membrane types and pore sizes // Foods. 2018. Jun 28; 7(7) MDPI AG.
 18. Horton Bernard S. Anaerobic fermentation and ultra-osmosis // Bull. of the IDF. N 212. Session IY. Modification of lactose (continued) and demineralization. Ch. 12. P. 77-83.
 19. Kosikowski F.V., Mistry V.V. Cheese and fermented milk foods. 1997. Vol. 1. 1058 p.
 20. Lee D.N., Merson R.L. Prefiltration of cottage cheese whey to reduce fouling of ultrafiltration membranes // J. Food Sci. 1976. V. 41. N 2. P. 403-410.
 21. Maubois J.-L. Application of membrane techniques in the dairy industry // Bulletin of the IDF. 1989. N 244. P. 26-29.
 22. Maubois J.-L. et al. Industrial fractionation of main whey proteins // Bulletin of the IDF. 1987. N 212. P. 154-159.
 23. Merin U. Bacteriological aspects of microfiltration of cheese whey // Dairy Sci. 1986. N 2. P. 153-160.
 24. Morel F., Cohen-Maurel E. Systeme Bactocatch «La sterilisation froide» pour demain // Process. 1990. N 1056. P. 50-52.
 25. Nelson B.K., Barbano D.M. A microfiltration process to maximize removal of serum proteins from skim milk before cheese making // Dairy Sci. 2005.88:1891-1900.
 26. Plot M., Fauquant J., Madec M-N., Maubois J-L. Preparation of serocolostrum by membrane microfiltration // Lait 84 (2004) 333-341.

27. Rektor A., Vatai G. Membrane filtration of mozzarella whey // *Desalination*. 2004. Vol. 162. P. 279-286.
28. Rizvi Syed S.H., Brandsma R.L. Microfiltration of skim milk for cheese making and whey proteins. Patent US, no. 2003077357, 2003.
29. Verruck S., Sartor S., Marena F.B. et al. Influence of heat treatment and microfiltration on the milk proteins properties // *Adv. Food Technol. Nutr. Sci. Open J.* 2019;5(2):54-66.

References

1. Abdulina E.R. *Mikrofil'traciya molochnoj syvorotki: dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk* [Microfiltration of whey. Dissertation of the Candidate of Technical Sci.]. Stavropol, 1992, 156 p. (In Russian)
2. Bredikhina O.V., Kuzina Zh.I., Bredikhin S.A. Sanitary treatment of membranes after ultrafiltration of brines. *Pererabotka moloka* [Milk processing]. 2005, no. 5, pp. 26-27. (In Russian)
3. Golubev V.N. Membrane technology prospects. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry]. 1990, no. 4, pp. 22-23. (In Russian)
4. Dytner'sky Yu.I. *Obratnyj osmos i ul'trafil'traciya* [Reverse osmosis and ultrafiltration]. Moscow, Chemistry, 1978, 351 p. (In Russian)
5. Emelyanov S.A. *Teoreticheskoe obosnovanie i eksperimental'nye issledovaniya tekhnologicheskikh aspektov bakterial'noj sanacii molochnogo syr'ya v usloviyah real'nogo biocenoza: avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk* [Theoretical substantiation and experimental research of technological aspects of bacterial sanitation of dairy raw materials in the conditions of real biocenosis. Abstract of the dissertation of the Dr Technical Sci.]. Stavropol, North-Caucasus State Technical University, 2008, 38 p. (In Russian)
6. Park D.V. *Biohimiya chuzherodnykh soedinenij* [Biochemistry of foreign compounds]. Moscow, Medicine, 1983, 286 p. (In Russian)
7. Smirnov E.R. *Razrabotka tekhnologii kondicionirovaniya molochnoj syvorotki: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development of whey conditioning technology. Dissertation of the Candidate of Technical Sci.]. Stavropol, 2009, 165 p. (In Russian)
8. *Tekhnologicheskie osobennosti pererabotki ul'trafil'trata na molochnyj sahar* [Technological features of processing of the ultrafiltrate on milk sugar]. Moscow, Research Institute for Information and Technical and Economic Research of the Meat and Dairy Industry, 1991, 44 p. (In Russian)
9. Installations for ultra- and microfiltration of skimmed milk and whey: Express information, foreign experience. Nauchno-issledovatel'skij institut informacii i tekhniko-ekonomicheskikh issledovanij myasnoj i molochnoj promyshlennosti. *Seriya Molochnaya promyshlennost'* [Research institute of information and technical and economic research of the meat and dairy industry. A series of Dairy industry]. 1987, issue 21, pp. 4-5. (In Russian)
10. Hwang S. T., Kammermeyer K. *Membrannye processy razdeleniya* [Membrane separation processes]. Moscow, Chemistry, 1981, 463 p. (In Russian)
11. Khramtsov A.G. *Novacii molochnoj syvorotki* [Whey innovations]. Saint-Petersburg, Profession, 2016, 490 p. (In Russian)
12. Cheng Ni. *Ceramic microfiltration to produce dairy ingredients for milk protein beverages*. USA, North Carolina: Food Science Raleigh, 2019.
13. Fauquex P.-F. *Development d'un reacteur enzymatique lit fluidise a melangent statique. Hydrolyse du lactose du petitlait en presence de proteines*. Ecole Polytechnique Federale.

- Lusanne, 1983, th. 498.
14. Haeusel R. et. al. Fractionation of main whey proteins and potential industrial feasibility. *European Dairy Magazine*. 1990, no. 2, pp. 4-15.
 15. Hartinger Martin, Heidebrecht Hans-Jürgen, Schiffer Simon, Dimpler Joseph and Kulozik Ulrich. *Foods*. Milk protein fractionation by means of spiral-wound microfiltration membranes: effect of the pressure adjustment mode and temperature on flux and protein permeation. 2019 Jun.; 8(6):180-11.
 16. Hedstroem S., Hermansson H., Lindau J. Method of pretreating milk in microfiltration. Patent WO, no. 02069724, 2002.
 17. Heidebrecht H.J., Toro-Sierra J., Kulozik U. Concentration of immunoglobulins in microfiltration permeates of skim milk: impact of transmembrane pressure and temperature on the IgG transmission using different ceramic membrane types and pore sizes. *Foods*. 2018. Jun 28; 7(7) MDPI AG.
 18. Horton Bernard S. Anaerobic fermentation and ultra-osmosis. *Bull. of the IDF*, no. 212, session IV. Modification of lactose (continued) and demineralization, ch. 12, pp. 77-83.
 19. Kosikowski F.V., Mistry V.V. *Cheese and fermented milk foods*. 1997, vol. 1, 1058 p.
 20. Lee D.N., Merson R.L. Prefiltration of cottage cheese whey to reduce fouling of ultrafiltration membranes. *Food Sci*. 1976, v. 41, no. 2, pp. 403-410.
 21. Maubois J.-L. Application of membrane techniques in the dairy industry. *Bulletin of the IDF*. 1989, no. 244, pp. 26-29.
 22. Maubois J.-L. et al. Industrial fractionation of main whey proteins. *Bulletin of the IDF*. 1987, no. 212, pp. 154-159.
 23. Merin U. Bacteriological aspects of microfiltration of cheese whey. *Dairy Sci*. 1986, no. 2, pp. 153-160.
 24. Morel F., Cohen-Maurel E. Systeme Bactocatch «La sterilisation froide» pour demain. *Process*. 1990, no. 1056, pp. 50-52.
 25. Nelson B.K., Barbano D.M. A microfiltration process to maximize removal of serum proteins from skim milk before cheese making. *Dairy Sci*. 2005.88:1891-1900.
 26. Plot M., Fauquant J., Madec M-N., Maubois J-L. Preparation of serocolostrum by membrane microfiltration. *Lait* 84 (2004) 333-341.
 27. Rektor A., Vatai G. Membrane filtration of mozzarella whey. *Desalination*. 2004, vol. 162, pp. 279-286.
 28. Rizvi Syed S.H., Brandsma R.L. Microfiltration of skim milk for cheese making and whey proteins. Patent US, no. 2003077357, 2003.
 29. Verruck S., Sartor S., Marendra F.B. et al. Influence of heat treatment and microfiltration on the milk proteins properties. *Adv. Food Technol. Nutr. Sci. Open J*. 2019;5(2):54-66.

Критерии авторства: Андрей Г. Храмцов изложил конкретику мембранных технологий молочной отрасли АПК в аспекте возможного Технологического Прорыва на примере микрофльтрации, рассмотрел влияние технологических факторов на процесс микрофльтрационного разделения молочной сыворотки, проанализировал данные. Автор несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

Author contributions: *Andrey G. Khramtsov outlined the specifics of membrane technologies in the dairy industry in the aspect of a possible Technological Breakthrough on the example of microfiltration, considered the influence of technological factors on the process of microfiltration separation of whey and analyzed data. Author is responsible for plagiarism and self-plagiarism.*

Конфликт интересов. Автор заявляет, что никакого конфликта интересов в связи с публикацией данной статьи не существует.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

ORCID:

Андрей Г. Храмцов / *Andrey G. Khramtsov* <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>

Получено / *Received:* 01-06-2020

Принято после исправлений / *Accepted after corrections:* 08-06-2020