

**ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ
/ INNOVATIVE DEVELOPMENTS**

Обзорная статья / *Review article*

УДК 637.1

DOI: 10.31208/2618-7353-2020-11-7-22

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

Ультрафильтрация

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

Ultrafiltration

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 № 2-10, 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. Ультрафильтрация // Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 11, N 3. С. 7-22. DOI: 10.31208/2618-7353-2020-11-7-22.

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 of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Ultrafiltration. *Agrian-and-food innovations*, 2020, vol. 11, no. 3, pp. 7-22. (In Russian) DOI: 10.31208/2618-7353-2020-11-7-22.

Резюме

Цель. Рассмотреть ультрафильтрацию, как процесс мембранной технологии – направленной и управляемой фильтрации молочной сыворотки через специальные полупроницаемые пере-

городки (фильтры – мембраны) с размером пор 10-100 нм, осуществляемый при давлении 0,3-1,0 МПа.

Обсуждение. Исследование проводилось с применением методов графического представления информации, трендового анализа, метода сопоставления, аналогии и систематизации, анализа и сопоставления эмпирического материала. Ультрафильтрация позволяет разделять молочную сыворотку, как систему, по размерам составляющих компонентов – микрочастиц и макромолекул. При этом из предварительно сепарированной или обработанной микрофильтрацией молочной сыворотки в УФ-концентрат (ретентат) переходят остатки молочного жира (до 0,1%) и высокомолекулярные соединения (на уровне 0,5%) – комплекс сывороточных белков, а УФ-фильтрат (пермеат) – растворимые соединения (лактоза, минеральные соли и БАВ). Ультрафильтрация, в логистике молекулярно-ситового разделения молочной сыворотки, принимает эстафету от микрофильтрации и является предвестником нанофильтрации. Процесс ультрафильтрации молочной сыворотки достаточно хорошо изучен, отработан, аппаратурно оформлен и масштабирован в молочной промышленности. Изучена эффективность ультрафильтрационной очистки подсырной сыворотки с применением различных полупроницаемых мембран. Критерием при выборе мембран являлись селективность – максимальная по белку и минимальная по лактозе, а также проницаемость. Для системной аппроксимации результатов исследований использована методология «нейронная сеть».

Заключение. В результате разработана технология молочного сахара (лактозы) пищевой категории качества и оригинальная технологическая схема производства сухой молочной сыворотки.

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

Abstract

Aim. Consideration of ultrafiltration as a process of membrane technology – directed and controlled filtration of whey through special semipermeable filters (membrane filters) with a pore size of 10-100 nm, carried out at a pressure of 0.3-1.0 MPa.

Material and Methods. The research was conducted using methods of graphical representation of information, trend analysis, comparison method, analogy and systematization, analysis and comparison of empirical material.

Discussion. Ultrafiltration allows you to separate whey as a system by the size of the components – microparticles and macromolecules. In this case, from pre-separated or Microfiltered whey to UV – concentrate (retentate), the remains of milk fat (up to 0.1%) and high-molecular compounds (at the level of 0.5%) – a complex of whey proteins, and UV-filtrate (permeate) – soluble compounds (lactose, mineral salts and BAS). Ultrafiltration, in the logistics of molecular sieve separation of whey, takes over from microfiltration and is a precursor to nanofiltration. The process of ultrafiltration of whey is well studied, developed, hardware designed and scaled in the dairy industry. The effectiveness of ultrafiltration purification of subsurface serum using various semipermeable membranes was studied. The criteria for selecting membranes were selectivity – maximum for protein and minimum for lactose, and the same permeability. The «neural network» methodology was used for system approximation of research results.

Conclusion. As a result of research, the technology of milk sugar (lactose) of the food category of quality and the original technological scheme for the production of dry whey have been developed in the dairy industry.

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

Введение. Ультрафильтрация (УФ) – это мембранный процесс направленной и управляемой фильтрации через специальные полупроницаемые перегородки (фильтры – мембраны) с размером пор 10-100 нм, осуществляемый при давлении 0,3-1,0 МПа, что позволяет разделять исходный раствор (систему) по размерам составляющих компонентов – микрочастиц и макромолекул. Процесс ультрафильтрации применительно к молочной сыворотке схематично показан на рисунке 1.

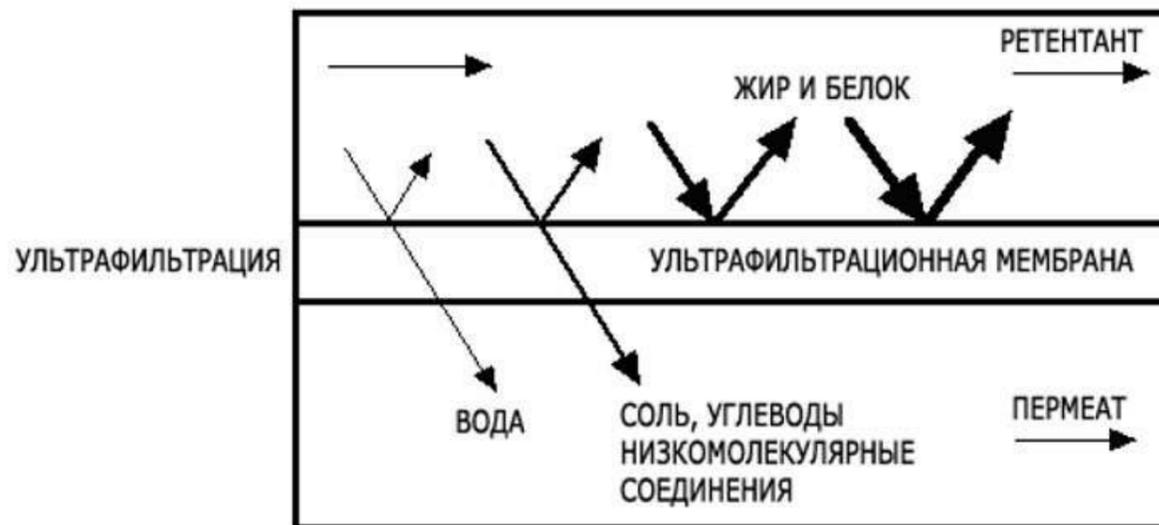


Рисунок 1. Схема процесса ультрафильтрации молочной сыворотки

Figure 1. Diagram of the process of ultrafiltration of whey

Из приведенной иллюстрации совершенно четко следует, что ультрафильтрация позволяет получать (выделять) из предварительно сепарированной или обработанной микрофильтрацией молочной сыворотки и бесказеиновой фазы (после обработки полисахаридами и/или мембранными методами молока-сырья) в УФ-концентрат (ретентат) остатки молочного жира (до 0,1%) и высокомолекулярные соединения (на уровне 0,5%) – комплекс сывороточных белков и УФ-фильтрат (пермеат) – растворимые соединения (лактоза, минеральные соли и БАВ). Следует сразу отметить и подчеркнуть, что процесс ультрафильтрации молочной сыворотки достаточно хорошо изучен, отработан, аппаратурно оформлен и масштабирован в молочной отрасли пищевой индустрии АПК, начиная с фермерских хозяйств (концентрация молока-сырья), сыроделия (нормализация по казеину) и получения концентратов сывороточных белков в нативном виде [12].

Ультрафильтрация, в логистике молекулярно-ситового разделения молочной сыворотки, принимает эстафету от микрофильтрации и является предвестником нанофильтрации.

Теоретические основы ультрафильтрации в рамках мембранного фильтрования разработаны на достаточно хорошем уровне [12]. Базовым элементом процесса ультрафильтрации являются мембраны [19]. Системно резюмируя информацию по четырем видам современных ультрафильтрационных элементов (мембран) [2], следует отметить:

- в качестве материала для изготовления ультрафильтрационных мембран используется полиэфирсульфон с отсечкой белков от 20 до 50 тыс. дальтон по молекулярному весу;
- тип мембраны – рулонный с внешним турболизатором;
- все модели обеспечивают селективность белка выше 97%, их площадь составляет от 4,2 до 33,2 м² с турболизаторами 0,8-1,2-1,5 мм.

Ассортимент мембран из пяти основных типов весьма многообразен (рисунок 2).

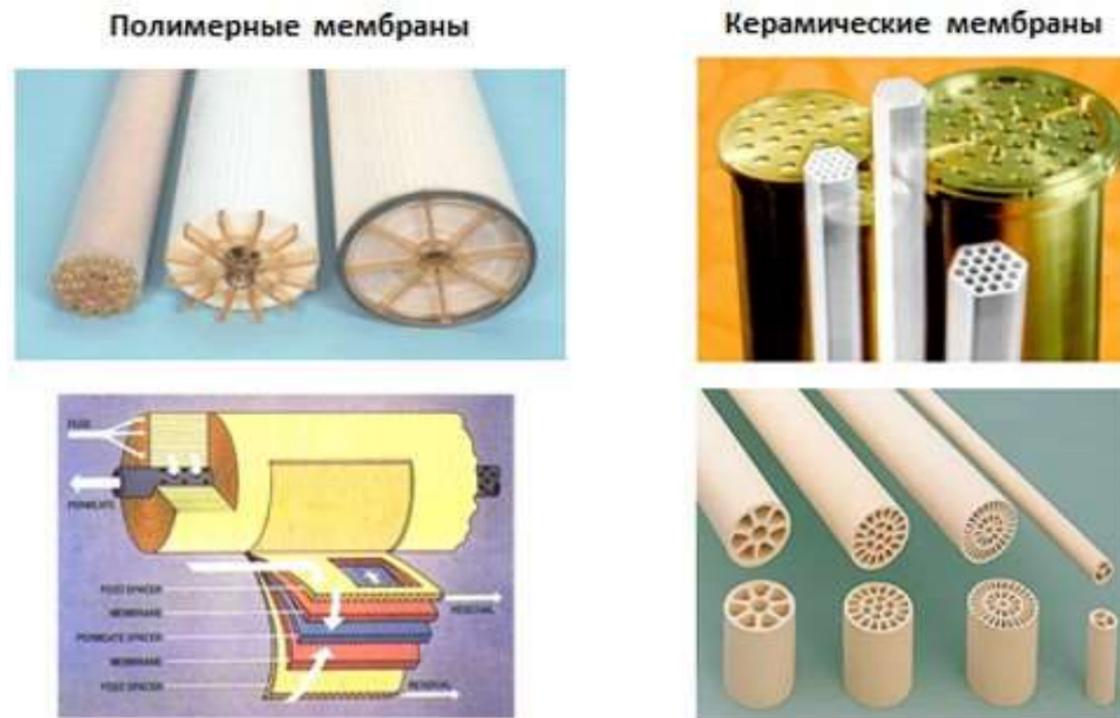


Рисунок 2. Многоканальные трубчатые мембраны
Figure 2. Multi-channel tubular membranes

Конструктивно ультрафильтрационные установки различаются организацией движения потоков молочной сыворотки – прямоточные, циркуляционные порционного и смешанного действия различного уровня нескольких ступеней. На рисунке 3 приведена современная ультрафильтрационная установка фирмы Кизельманн (Германия), позволяющая обрабатывать 180 т молочной сыворотки в сутки.



Рисунок 3. Ультрафильтрационная установка
производительностью 180 т сыворотки в сутки
Figure 3. Ultrafiltration unit capacity of 180 t of serum per day

В результате ультрафильтрационной обработки получают два продукта: концентрат (ретентат) и фильтрат (пермеат), состав которых в сравнении с исходной сывороткой (среднестатистические данные) приведен в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Состав концентрата (ретентата)

Table 1. The composition of the concentrate (retentate)

Продукт <i>Product</i>	Содержание, % <i>Content, %</i>					
	сухих веществ <i>dry matter</i>	белка <i>protein</i>	лактозы <i>lactose</i>	минеральных солей <i>mineral salt</i>	молочной кислоты <i>lactic acid</i>	воды <i>water</i>
Исходная сыворотка <i>The starting serum</i>	6,5	0,7	4,5	0,6	0,6	93,5
Концентрат <i>Concentrate</i>	18	12,5	4,5	0,6	0,6	82,0

Таблица 2. Состав фильтрата (пермеата)

Table 2. The composition of the filtrate (permeate)

Показатель <i>Indicator</i>	Фильтрат <i>Filtrate</i>	
	подсырной сыворотки <i>cheese whey</i>	творожной сыворотки <i>curd serum</i>
Сухие вещества, % <i>Dry substances, %</i>	5,1-5,4	5,2-5,6
Лактоза <i>Lactose</i>	4,2-4,8	4,2-4,8
Белок <i>Protein</i>	0,2-0,24	0,20-0,24
Зола <i>Ash</i>	0,5-0,75	0,6-0,9
Микроэлементы, мг% <i>Microelements, mg%</i>		
Кальций <i>Calcium</i>	55-70	85-120
Фосфор <i>Phosphorus</i>	40-65	65-80
Калий <i>Kalium</i>	120-180	150-280
Натрий <i>Natrium</i>	61-90	45-75
Макроэлементы, мг на 100 г <i>Macroelements, mg per 100 g</i>		
Медь <i>Cuprum</i>	2,7-4,0	-
Цинк <i>Zinc</i>	11,5-20,5	-
Железо <i>Ferrum</i>	63-80	-
Марганец <i>Manganese</i>	5,2-5,5	4,6-4,8
pH	5,2-5,8	4,7-5,1
Титруемая кислотность, °Т <i>Titrated acidity, °T</i>	8-48	80-100
Плотность, кг/м ³ <i>Density, kg / m³</i>	1012-1018	1016-1018
Вязкость, Па·с <i>Viscosity, Pa·s</i>	1,155-1,18	4130-4141

Особый интерес представляет фракционный состав комплекса сывороточных белков в ретентате [21]. По данным специально проведенных исследований в нашей стране Гавриловым Г.Б. [12] массовая доля азота четырех фракций заметно отличается от исходной молочной сыворотки и зависит исключительно от содержания сухих веществ в УФ-концентрате, что хорошо показано в таблице 3.

Таблица 3. Фракционный состав сывороточных белков ультрафильтратов

Table 3. Fractional composition of serum proteins of ultrafiltrates

Массовая доля, % Mass fraction, %		Массовая доля азота (N×6,38), % Mass fraction of nitrogen (N×6.38), %					
сухих веществ dry substances	белковых азотистых веществ protein nitrogenous substances	иммунных глобулинов immune globulins	α-лактальбумина α-lactalbumin	β-лактоглобулина β-lactoglobulin		минорных белков minor proteins	
				1	2	3	4
6,0	0,65	0,065	0,186	0,149	0,166	0,042	0,042
10,0	2,6	0,308	0,693	0,618	0,618	0,170	0,175
14,5	5,9	0,735	1,502	1,441	1,430	0,389	0,402
18,0	9,5	1,309	2,384	2,345	2,175	0,628	0,659
24,0	14,0	1,956	3,236	3,841	3,490	0,753	0,724

Это же положение относится к минеральному комплексу (зольности) продуктов ультрафильтрации, особенно ретентата (таблица 4) [12].

Таблица 4. Минеральный состав УФ-концентратов при различной массовой доле сухих веществ

Table 4. Mineral composition of UF-concentrates with different mass fraction of dry substances

Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of dry substances, %	Макроэлементы (мг/кг) Macroelements (mg / kg)				
	K	Na	Ca	P	Mg
6,0±0,2	1630±100	490±40	565±50	520±50	85±25
10,1±0,3	1810±100	595±50	1280±100	990±100	120±30
15,0±0,5	2030±150	690±50	1870±150	1520±100	165±30
20,1±0,5	2290±150	785±50	2650±200	1960±150	210±35
Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of dry substances, %	Микроэлементы (мг/кг) Microelements (mg / kg)				
	Zn	Fe	Mn	Cu	Co
6,0±0,2	160±30	520±60	5,7±0,6	32±4,0	9,7±1,8
10,1±0,3	720±30	3950±100	45,1±2,0	245±10,4	73±5,0
15,0±0,5	980±50	5880±100	68,7±2,0	540±10,5	112±5,7
20,1±0,5	1120±50	7470±100	82,4±2,0	970±10,9	146±10,8

Из приведенных данных совершенно четко следует, что при ультрафильтрации молочной сыворотки происходит заметное увеличение содержания макро- и микроэлементов в УФ-концентрате (ретентате). При этом большей степенью концентрирования обладают многовалентные ионы – кальций, фосфор и магний, кстати, ассоциированные с молекулами сывороточных белков. А для практиков это явление связано с необходимостью применения процесса деминерализации (электродиализа) либо диализации [20]. В нашем творческом коллек-

тиве ведущей научной школы федерального уровня 7510.2010.4 «Живые Системы» при СКФУ изучение процессов ультрафильтрационной обработки молочной сыворотки постоянно осуществляется в последние 30 лет. Портфель инноваций включает десятки наименований и открыт для доступа. Ниже в систематизированном виде приведена некоторая информация по актуальным направлениям переработки и использования универсального сельскохозяйственного сырья [11] – тривиальной молочной сыворотки различных видов и качества с применением процесса направленной и управляемой ультрафильтрации.

Объекты и методология познания

В качестве объектов для исследований использованы все виды молочной сыворотки. На приведённой ниже схеме (рисунок 4) ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки с исходным объемом 100 т и показано движение сырья в логистике технологической схемы с выходом на концентрат (ретентант) и УФ-фильтрат (пермеат). А также показаны объёмы и содержание основных компонентов по переработке в готовые продукты (% и кг).



Рисунок 4. Схема ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки
Figure 4. The scheme of the ultrafiltration separation of whey

Методы исследований включали общепринятые в отрасли (сухие вещества, лактоза, молочный жир, белковые соединения, минеральный комплекс, активная и титруемая кислотность).

Математическая (статистическая) обработка результатов исследований для оценки достоверности получаемых результатов проводилась в соответствии с методическими указаниями [3]. Прослеживаемость и безопасность получаемых продуктов в логистике проводимых

исследований и опытно-промышленных испытаний осуществлялась в соответствии с принятыми в настоящее время нормативами [6].

Обсуждение. Большинство исследований по ультрафильтрации молочной сыворотки посвящено получению концентратов (ретентат) [16]. Получение и использование ультрафильтрата (пермеат) предполагается в различных направлениях, начиная от орошения полей и заканчивая синтезом спирта, органических кислот, извлечением лактозы (молочного сахара) и других продуктов.

В последнее время в отрасли реализуется направление по сушке пермеата с предварительной деминерализацией электродиализом [5, 10].

В СевКавГТУ (н/в СКФУ) по заказу отрасли была изучена эффективность ультрафильтрационной очистки подсырной сыворотки с применением различных полупроницаемых мембран [7]. Критерием при выборе мембран являлись селективность – максимальная по белку и минимальная по лактозе, а также проницаемость. Эти критерии являются наиболее оптимальными с точки зрения состава ультрафильтрата при производстве молочного сахара (лактозы), т. к. обеспечивают его высокую доброкачественность.

При выполнении экспериментов были использованы мембраны полисульфонамидные (типа УПМ), целлюлозные (типа АЦ), полиамидные (типа ПА) и полисульфоновые (типа ПС). Исследования проводились в два этапа. На первом этапе определялись допустимые режимы эксплуатации мембран по чистому растворителю (дистиллированная вода), а на втором – изучали состав и свойства ультрафильтрата, селективность и проницаемость мембран, а также влияние технологических факторов (давление, температура) при обработке подсырной сыворотки.

На первом этапе исследования мембран в начальный период работы (до 40 мин) при ультрафильтрации чистого растворителя происходило резкое снижение проницаемости (на 400-800 л/м²·ч), после чего наступал период стабилизации (температура 20°C, давление 0,3 МПа). Это свидетельствует о том, что все используемые типы мембран являются уплотняющимися, т. е. происходит их усадка [13].

Отмечено наличие максимально допустимых давлений в диапазоне 0-0,5 МПа: для мембран УПМ – 0,3-0,5 МПа и ПС – 0,4-0,5 МПа. Для остальных типов мембран максимально допустимое давление в этом интервале не наблюдалось, а также отсутствовало критическое давление. Поскольку рабочее давление ультрафильтрации не должно превышать максимально допустимого, то все представленные мембраны могут эксплуатироваться в диапазоне давлений 0-0,5 МПа.

Зафиксировано значительное повышение проницаемости мембран с ростом температуры от 20 до 90°C (от 400 л/м²·ч и выше). Исключение составляет мембрана АЦ-300, у которой при температуре выше 60°C происходит резкое снижение проницаемости (с 2380 до 1220 л/м²·ч). В результате экспериментов выяснено, что допустимые температурные режимы эксплуатации мембран – 60-90°C, за исключением АЦ-300 – не более 60°C.

На втором этапе изучали ультрафильтрацию реальных объектов – сыворотки подсырной и творожной. При изучении эффективности очистки подсырной сыворотки ультрафильтрацию проводили при режимах, допустимых для всех типов исследуемых мембран: давление – 0,3 МПа и температура – 50°C (это связано с химической структурой получения мембран). В таблице 5 представлены результаты исследований эффективности ультрафильтрационной очистки подсырной сыворотки.

Таблица 5. Эффективность ультрафильтрационной очистки подсырной сыворотки с использованием различных типов мембран

Table 5. Efficiency of ultrafiltration purification of cheese whey using various types of membranes

№	Мембрана <i>Membrane</i>	Доброкачественность, % <i>Purity, %</i>	Проницаемость, л/м ² ·ч <i>Permeability,</i> <i>l / m² · h</i>	Селективность, % по <i>Selectivity, % for</i>		
				белку <i>protein</i>	небелковому азоту <i>nonprotein</i> <i>nitrogen</i>	лактозе <i>lactose</i>
1	УПМ-П	85,5±0,3	36,4±1,8	90,9±1,1	45,0±0,6	8,0±0,2
2	УПМ-20	86,3±0,4	33,0±1,4	92,6±1,1	53,3±0,8	8,8±0,3
3	УПМ-50	85,8±0,2	36,6±2,0	90,2±0,8	50,2±0,5	8,2±0,1
4	УПМ-67	85,5±0,2	31,8±1,5	90,0±1,0	42,0±0,8	8,5±0,3
5	УПМ-100	83,9±0,1	39,6±1,9	82,8±0,7	31,7±0,7	7,7±0,4
6	ПА-50	86,3±0,3	35,8±1,6	93,0±0,6	44,0±0,6	9,1±0,2
7	ПС-60	86,2±0,3	30,9±1,5	91,6±0,8	49,2±0,5	8,5±0,2
8	АЦ-300	84,8±0,2	37,2±1,7	86,6±0,7	29,9±0,4	8,8±0,1

Установлено, что наибольшую проницаемость по подсырной сыворотке имеют ультрафильтрационные мембраны УПМ-100 и АЦ-300 при невысокой селективности по белку (82,8-86,6%), поэтому получаемый ультрафильтрат имеет низкую доброкачественность (83,9-84,8%). Остальные типы мембран имеют высокую селективность по белку (93%) и низкую по лактозе, что определяет высокую доброкачественность ультрафильтрата (до 86,3%). Дальнейшие исследования показали, что из испытанных мембран для ультрафильтрации подсырной сыворотки в технологических циклах, предусматривающих получение молочного сахара, предпочтительно использовать мембраны УПМ-П, УПМ-50 и ПА-50. Они обеспечивают высокие проницаемость и доброкачественность ультрафильтрата, состав которого отличается незначительно.

Считается, что проницаемость мембран с повышением давления возрастает, а массовая доля сухих веществ в фильтрате несколько снижается, в основном за счет белка (пределы изменений до 58,1%). Доказано, что на массовую долю лактозы и минеральный состав ультрафильтрата давление практически не оказывает влияния (для лактозы колебания в пределах 4%), а наблюдается повышение доброкачественности (при увеличении давления: 0,1 МПа – доброкачественность 83,8%; 0,5 МПа – 86,0%).

При изучении влияния температуры на проницаемость и селективность мембран при ультрафильтрации молочного сырья, в т.ч. молочной сыворотки, отмечено повышение проницаемости мембран при ультрафильтрации обезжиренного молока, пахты, творожной сыворотки с увеличением температуры от 5 до 55°C [8, 9].

Данные о влиянии температуры на селективность противоречивы. По мнению Таран И.Т., увеличение проницаемости мембран при повышении температуры от 20 до 60°C и от 75 до 90°C связано с понижением вязкости подсырной сыворотки и увеличением константы броуновской диффузии молекул раствора в процессе фильтрации, что согласуется с данными других исследователей [13].

Проницаемость мембран при 85±5°C в 2,2-2,4 выше, чем при 55±5°C, а при температуре выше 60°C наблюдается снижение проницаемости мембран на 11-15%.

В результате проведенных исследований установлено, что в целях получения ультрафильтрата с наибольшей доброкачественностью и, соответственно, молочного сахара высо-

ких кондиций качества методом Тагучи [17] предпочтительно проводить ультрафильтрацию подсырной сыворотки либо при температуре $85\pm 5^\circ\text{C}$, если предусмотрено выделение сывороточных белков в денатурированном состоянии, либо при $53\pm 2^\circ\text{C}$, если необходимо получить концентраты нативных белков сыворотки.

В СевКавГТУ (н/в СКФУ) были проведены исследования по дополнительной очистке ультрафильтрата от белковых и минеральных веществ путем регулирования его активной кислотности при нагревании. Направление исследований обусловлено предыдущими экспериментами и негативным влиянием на процесс кристаллизации лактозы нативных белковых и минеральных веществ, остающихся в ультрафильтрате.

Известно, что растворимость фосфатов кальция в значительной степени зависит от активной кислотности и температуры раствора [15]. Эти факторы влияют и на коагуляцию сывороточных белков [18]. Возможность выделения сывороточных белков тепловой денатурацией определена его фракционным составом – наличием термолабильных фракций. Анализ результатов исследований показывает, что оптимальными режимами при очистке ультрафильтрата подсырной сыворотки от несхаров являются: температура ($90\pm 5^\circ\text{C}$); время выдержки (10 ± 2 мин); активная кислотность ($\text{pH}=7,5\pm 0,5$). При этом степень удаления азотистых веществ составляет $34,5\pm 0,5$, в т.ч. $83\pm 2\%$ белка; минеральных солей – $69,7\pm 5,8\%$, в т.ч. $82\pm 2\%$ кальция, $24\pm 1\%$ магния, $46\pm 2\%$ фосфора. Доброкачественность ультрафильтрата возрастает на $3,3\pm 0,2\%$. Такая обработка позволяет получить лактозу (молочный сахар) высокого качества – пищевой кондиции; нативные белки молочной сыворотки (КСБ-УФ) или их фракции (до шести наименований), а также пептиды; фосфат кальция; липидную фракцию оболочек жировых шариков, мелассу молочную и минерализат (после электродиализа, нано- и диафильтрации). Логистическая схема ультрафильтрации подсырной сыворотки с получением сывороточно-белкового концентрата (СБК-УФ) и пищевой лактозы показана на рисунке 5.



Рисунок 5. Логистическая схема ультрафильтрации подсырной сыворотки
Figure 5. Logistic scheme of ultrafiltration of cheese whey

Альтернативным вариантом переработки фильтрата (пермеата) является его распылительная сушка, желательна с деминерализацией. Полученный продукт находит достаточно широкий спектр применения.

Возможный вариант для ретентата – микропартикуляция.

Бабёнышевым С.П. [1] под руководством проф. Евдокимова И.А. проведены широкомасштабные исследования ультрафильтрации жидких высокомолекулярных полидисперсных систем, в том числе несепарированной подсырной сыворотки – нативное состояние. Исходя из тщательного изучения состояния вопроса, в том числе с использованием методологии искусственного интеллекта (нейронные сети), предложен механизм решения применения баромембранных процессов на принципиально новой методологической основе для наилучших доступных технологий [14].

Для системной аппроксимации результатов исследований по аналогу [4] использована методика «нейронная сеть», позволяющая решать сложные задачи оптимизации функций с множеством переменных – архитектура сети в виде многослойного персептрона (рисунок 4).

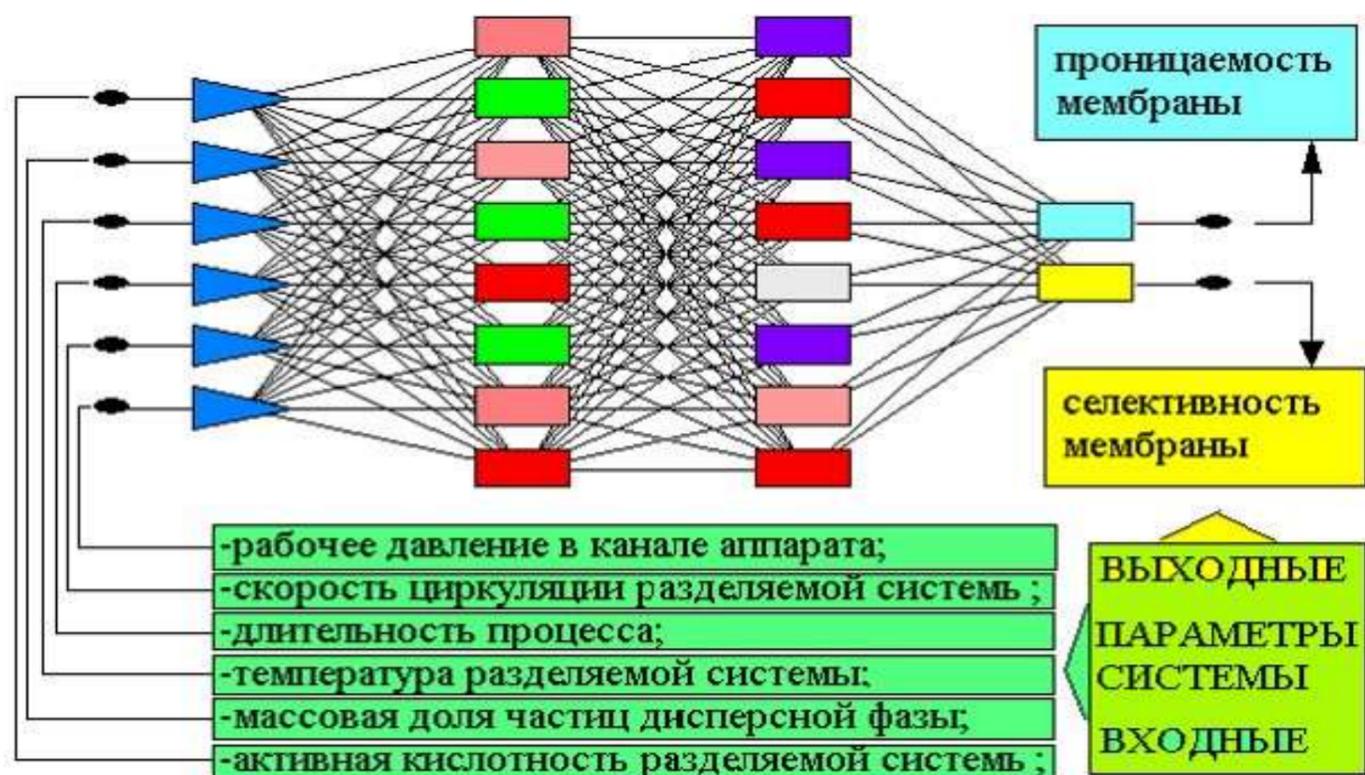


Рисунок 6. Условная схема адаптированного многослойного персептрона

Figure 6. Conditional scheme of an adapted multi-layer perceptron

Поверхности отклика, полученные в результате обработки массива экспериментальных данных с использованием методики нейронной сети (рисунок 7), отличаются от результатов, полученных с применением стандартных прикладных программ Microsoft Excel и Statistica 6.0 для ПЭВМ, наличием не одного, а, по крайней мере, трех экстремумов.

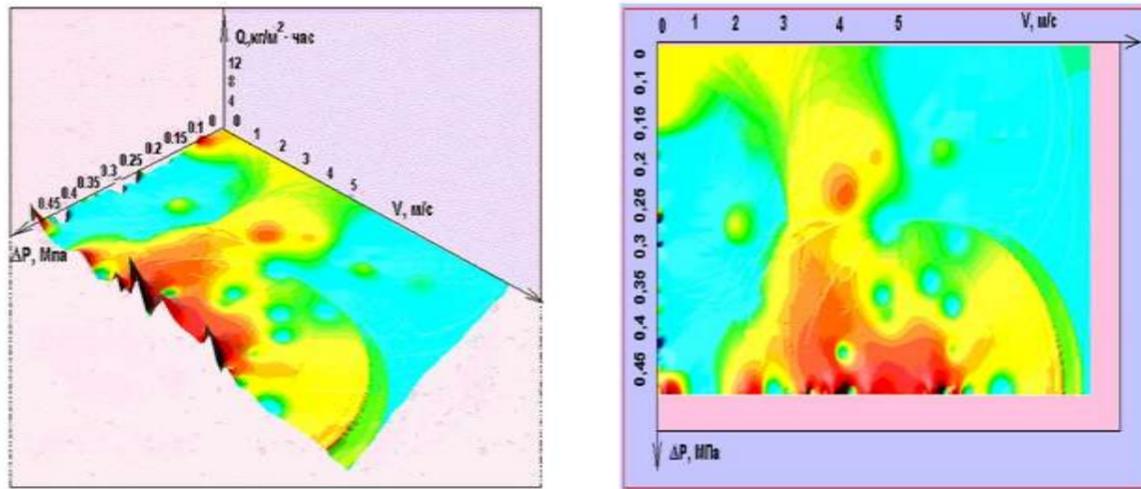


Рисунок 7. Поверхности отклика, полученные при обработке экспериментальных данных с использованием методики нейронных сетей

Figure 7. Response Surfaces obtained when processing experimental data using the neural network technique

На полученной экспериментальной базе (численные расчеты по фактическим – 80 и виртуальным – 120 наблюдениям) авторами сформулированы требования к аппаратному оформлению процесса ультраfiltrации нативной (несепарированной) подсырной сыворотки. При этом исключается предварительная очистка молочной сыворотки от молочного жира и казеиновой пыли, а белковый УФ-концентрат (ретентат) обогащается липидной и казеиновыми фракциями. Полученный УФ-фильтрат (пермеат) очищенной подсырной сыворотки может использоваться при производстве высококачественной лактозы (молочного сахара). В результате исследований авторами также предложена оригинальная технологическая схема производства сухой молочной сыворотки с использованием мембранных методов, приведенная на рисунке 8.

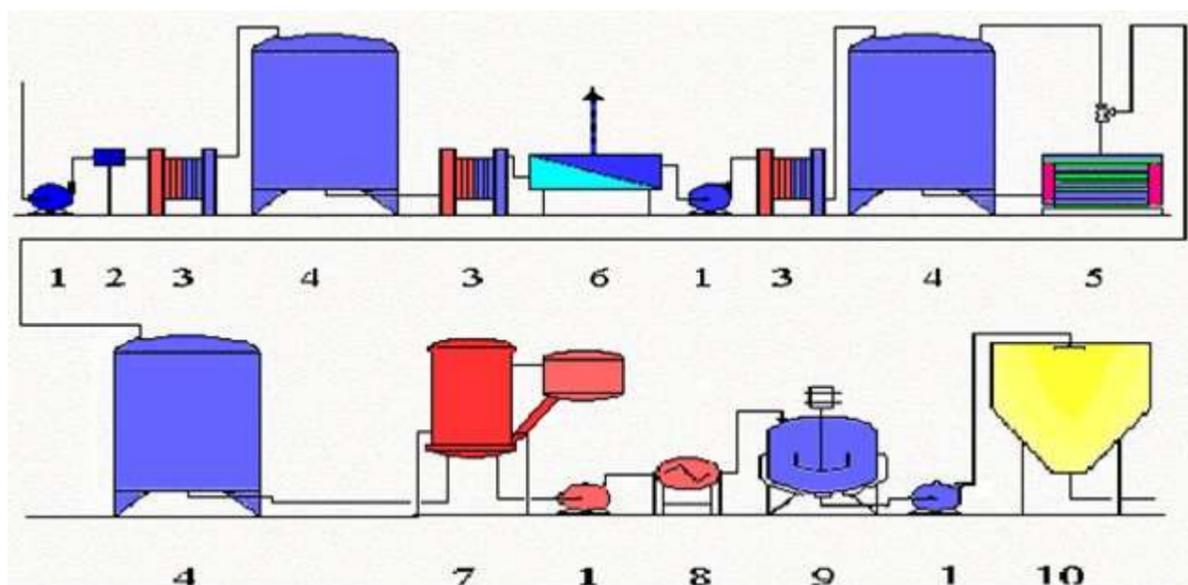


Рисунок 8. Технологическая схема получения сухой молочной сыворотки с использованием мембранных аппаратов: 1 – насос; 2 – счётчик; 3 – пастеризационно-охладительная установка; 4 – резервуар; 5 – электродиализная установка; 6 – баромембранная установка; 7 – вакуум-выпарная установка; 8 – трубчатый теплообменник; 9 – кристаллизатор-охладитель; 10 – распылительная сушилка

Figure 6. Technological scheme for obtaining dry whey using membrane devices: 1 – pump; 2 – counter; 3 – pasteurization and cooling unit; 4 – reservoir; 5 – electro dialysis unit; 6 – baromembrane unit; 7 – vacuum evaporation unit; 8 – tube heat exchanger; 9 – crystallizer-cooler; 10 – spray dryer

Заключение. Выводы.

Ультрафильтрация молочной сыворотки всех видов в достаточной степени разработана, имеет современное аппаратное оформление, в комплексе с нано-, диафильтрацией, электродиализом и микропартикуляцией масштабирована в отрасли.

Проблематичным является санация мембранных установок вообще и ультрафильтрационных мембран в частности.

Для реализации мембранных технологий, начиная с микро-, а затем ультрафильтрации и другими молекулярно-ситовыми методами обработки универсального сельскохозяйственного сырья – молочной сыворотки в СКФУ сформулирована парадигма создания федеральной площадки с рабочим брендом «Мембранные Технологии молочной отрасли пищевой индустрии АПК» в формате Комплексного Научно-Технического Проекта (Гранта, Программы).

Библиографический список

1. Бабенышев С.П., Евдокимов И.А. Ультрафильтрация неосветленной молочной сыворотки // Известия вузов. Пищевая технология. 1995. № 1-2. С. 93-97.
2. Гаврилов Г.Б., Просеков А.Ю., Кравченко Э.Ф., Гаврилов Б.Г. Справочник по переработке молочной сыворотки. Технологии, процессы и аппараты, мембранное оборудование. СПб.: ИД Профессия, 2015. 176 с.
3. Гордиенко М.Г., Баурин Д.В., Кареткин Б.А., Шакир И.В., Панфилов В.И. Статистическая обработка результатов пассивного и активного эксперимента в биотехнологии. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 108 с.
4. Евдокимов И.А., Бабенышев С.П. Баромембранное разделение жидких полидисперсных систем. Ставрополь, 2007. 123 с.
5. Евдокимов И.А., Крохмаль М.В., Шрамко М.И. Комплексный подход к разработке наилучших доступных технологий в области переработки пермеатов молочного сырья // Материалы международной научно-практической конференции «Экологические, генетические, биотехнологические проблемы и их решение при производстве и переработке продукции животноводства». Волгоград, 8 июня 2017. Том 2. С. 86-90.
6. Жидков В.Е., Горностаева Ж.В., Чернышева Ю.С. и др. Теоретические и методологические основы качества и безопасности продовольственных товаров: учебное пособие. Ставрополь: Сервисшкола, 2019. 108 с.
7. Костина В.В. Технология молочного сахара из ультрафильтрата подсырной сыворотки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04. М., 1994. 138 с.
8. Липатов Н.Н., Харитонов В.Д. Сухое молоко. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1981. 264 с.
9. Липатов Н.Н. Молочная промышленность XXI века. М.: АгроНИИТЭИММП. 1989. 56 с.
10. Лодыгин А.Д., Евдокимов И.А., Храмцов А.Г. Технологии пищевых концентратов и продуктов функционального назначения на основе глубокой переработки вторичного молочного сырья // IX международный конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития». М., февраль 2017. Том 2. С. 280-281.
11. Сенкевич Т., Ридель К.Х. Молочная сыворотка: переработка и использование в агропромышленном комплексе. М.: Агропромиздат. 1989. 315 с.
12. Тамим А.И. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов. СПб.: Профессия, 2016. 420 с.
13. Таран И.Т. Адсорбенты и иониты в пищевой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. С. 44-114.
14. Храмцов А.Г., Брацихин А.А., Борисенко А.А. и др. Информационное обеспечение наилучших доступных технологий пищевой промышленности. СПб.: ГИОРД, 2019. 312 с.
15. Храмцов А.Г., Василисин С.В., Заец Н.Е. и др. Промышленная переработка промежуточных продуктов производства молочного сахара. М., 1978. 33 с.

16. Lazarev V.A., Pastushkova Ye.V. and Chugunova O.V. Zero Waste Membrane Technology for Whey Processing // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. Issue 27. P. 1-10. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i27/97697
17. Rajeshree A. Khaire, Parag R. Gogate. Optimization of Ultrafiltration of Whey using Taguchi Method for Maximizing Recovery of Lactose // Separation and Purification Technology. 2020 October 1. Vol. 248. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.117063
18. Rozhnova R.A., Zamulina L.I. A Process for the Preparation of Lactose-Containing Film-Forming Polyurethane. Patent Ukraine, no. 66551, 2004.
19. Sama A. Al-Mutwalli, Mehmet Dilaver, Derya Y. Koseoglu-Imer. Performance Evaluation of Ceramic Membrane on Ultrafiltration and Diafiltration Modes for Efficient Recovery of Whey Protein // Journal of Membrane Science and Research. 2020. N 6. P. 138-146. DOI: 10.22079/JMSR.2019.115152.1295
20. Sofia Ramos Cabral, Beatriz Monjardino de Brito de Azevedo, Miguel Pereira da Silva, Ana Sofia Figueiredo, Antynio Pedro Louro Martins, Maria Norberta de Pinho. Optimization of Cheese Whey Ultrafiltration / Diafiltration for the Production of Beverage Liquid Protein Concentrates with Lactose Partially Removed // Journal of Membrane Science and Research. 2019. N 5. P. 172-177. DOI: 10.22079/JMSR.2018.92367.1208
21. Wang Wen-qiong, Wa Yun-chao, Zhang Xiao-feng, Gu Rui-xia, Lu Mao-lin. Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis // Food Chemistry. 2019. Vol. 289. P. 468-481. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.086

References

1. Babenyshev S.P., Evdokimov I.A. Ultrafiltration of unlit whey. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [Proceedings of higher educational institutions. Food technology]. 1995, no. 1-2, pp. 93-97. (In Russian)
2. Gavrilov G.B., Prosekov A.Yu., Kravchenko E.F., Gavrilov B.G. *Spravochnik po pererabotke molochnoj syvorotki. Tekhnologii, processy i apparaty, membrannoe oborudovanie* [Handbook of whey processing. Technologies, processes and devices, membrane equipment]. Saint-Petersburg, Profession Publ., 2015, 176 p. (In Russian)
3. Gordienko M.G., Baurin D.V., Karetkin B.A., Shakir I.V., Panfilov V.I. *Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov passivnogo i aktivnogo eksperimenta v biotekhnologii* [Statistical processing of results of passive and active experiments in biotechnology]. Moscow, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 2015, 108 p. (In Russian)
4. Evdokimov I.A., Babenyshev S.P. *Baromembrannoe razdelenie zhidkih polidispersnyh sistem* [Baromembrane separation of liquid polydisperse systems]. Stavropol, 2007, 123 p. (In Russian)
5. Evdokimov I.A., Krokmal M.V., Shramko M.I. *Kompleksnyj podhod k razrabotke nailuchshih dostupnyh tekhnologij v oblasti pererabotki permeatov molochnogo syr'ya* [Complex approach to development of the best available technologies in the field of processing of permeates of dairy raw materials]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Ekologicheskie, geneticheskie, biotekhnologicheskie problemy i ih reshenie pri proizvodstve i pererabotke produkci zhivotnovodstva»*, Volgograd, 8 iyunya 2017 [Proceedings of International Scientific and Practical Conference "Ecologic, genetic, biotechnological problems and their solution in the production and processing of livestock products", Volgograd, 8 June 2017]. Volgograd, 2017, vol. 2, pp. 86-90. (In Russian)
6. Zhidkov V.E., Gornostaeva Z.V., Chernysheva Y.S. et al. *Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy kachestva i bezopasnosti prodovol'stvennyh tovarov: uchebnoe posobie* [Theoretical and methodological bases of quality and safety of food products: textbook]. Stavropol, Service school Publ., 2019, 108 p. (In Russian)
7. Kostina V.V. *Tekhnologiya molochnogo sahara iz ul'trafil'trata podsyrnoj syvorotki: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Milk sugar technology from cheese whey ultrafiltrate: dissertation of the cand. Technical Sci.]. Moscow, 1994, 138 p. (In Russian)

8. Lipatov N.N., Kharitonov V.D. Suhoe moloko [Dry milk]. Moscow, Light and food industry Publ., 1981, 264 p. (In Russian)
9. Lipatov N.N. Molochnaya promyshlennost' XXI veka [The dairy industry of the XXI century]. Moscow, Research institute of information and technical and economic research of the meat and dairy industry Publ., 1989, 56 p. (In Russian)
10. Lodygin A.D., Evdokimov I.A., Khramtsov A.G. Tekhnologii pishchevykh koncentratov i produktov funktsional'nogo naznacheniya na osnove glubokoj pererabotki vtorichnogo molochnogo syr'ya [Technologies of food concentrates and functional products based on deep processing of secondary dairy raw materials]. *IX mezhdunarodnyj kongress «Biotehnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya»*, M., fevral' 2017 [IX international Congress "Biotechnology: state and prospects of development", M., February 2017]. M., 2017, vol. 2, pp. 280-281. (In Russian)
11. Senkevich T., Riedel K.H. Molochnaya syvorotka: pererabotka i ispol'zovanie v agropromyshlennom komplekse [Milk whey: processing and use in the agro-industrial complex]. M., Agropromizdat Publ., 1989, 315 p. (In Russian)
12. Tamim A.I. Membrannye tekhnologii v proizvodstve napitkov i molochnykh produktov [Membrane technologies in the production of beverages and dairy products]. Saint Petersburg, Profession Publ., 2016, 420 p. (In Russian)
13. Taran I.T. Adsorbenty i ionity v pishchevoj promyshlennosti [Adsorbents and ionites in the food industry]. Moscow, Light and food industry Publ., 1983, pp. 44-114. (In Russian)
14. Khramtsov A.G., Bratsikhin A.A., Borisenko A.A. et al. Informacionnoe obespechenie nailuchshih dostupnykh tekhnologij pishchevoj promyshlennosti [Information support of the best available technologies in the food industry]. Saint Petersburg, GIORP Publ., 2019, 312 p. (In Russian)
15. Khramtsov A.G., Vasilisin S.V., Zaets N.E. et al. Promyshlennaya pererabotka promezhutochnykh produktov proizvodstva molochnogo sahara [Industrial processing of intermediate products of milk sugar production]. Moscow, 1978, 33 p. (In Russian)
16. Lazarev V.A., Pastushkova Ye.V. and Chugunova O.V. Zero Waste Membrane Technology for Whey Processing. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, vol. 9, issue 27, pp. 1-10. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i27/97697
17. Rajeshree A. Khaire, Parag R. Gogate. Optimization of Ultrafiltration of Whey using Taguchi Method for Maximizing Recovery of Lactose. *Separation and Purification Technology*, 2020 october 1, vol. 248. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.117063
18. Rozhnova R.A., Zamulina L.I. A Process for the Preparation of Lactose-Containing Film-Forming Polyurethane. Patent Ukraine, no. 66551, 2004.
19. Sama A. Al-Mutwalli, Mehmet Dilaver, Derya Y. Koseoglu-Imer. Performance Evaluation of Ceramic Membrane on Ultrafiltration and Diafiltration Modes for Efficient Recovery of Whey Protein. *Journal of Membrane Science and Research*, 2020, no. 6, pp. 138-146. DOI: 10.22079/JMSR.2019.115152.1295
20. Sofia Ramos Cabral, Beatriz Monjardino de Brito de Azevedo, Miguel Pereira da Silva, Ana Sofia Figueiredo, Antynio Pedro Louro Martins, Maria Norberta de Pinho. Optimization of Cheese Whey Ultrafiltration / Diafiltration for the Production of Beverage Liquid Protein Concentrates with Lactose Partially Removed. *Journal of Membrane Science and Research*, 2019, no. 5, pp. 172-177. DOI: 10.22079/JMSR.2018.92367.1208
21. Wang Wen-qiong, Wa Yun-chao, Zhang Xiao-feng, Gu Rui-xia, Lu Mao-lin. Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis. *Food Chemistry*, 2019, vol. 289, pp. 468-481. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.086

Критерии авторства: Андрей Г. Храмцов рассмотрел ультрафильтрацию, как процесс мембранной технологии, проанализировал данные. Автор несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

Author contributions: Andrey G. Khramtsov considered ultrafiltration as a process of membrane technology and analyzed data. Author is responsible for plagiarism and self-plagiarism. Consideration of ultrafiltration as a process of membrane technology.

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:* 31-08-2020

Принято после исправлений / *Accepted after corrections:* 21-09-2020