

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 637.12.04

Андрей Георгиевич Храмцов

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МОЛЕКУЛЯРНО-СИТОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МОЛОЧНОГО БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОДУКТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (к юбилею профессора И. А. Евдокимова)

Статья посвящена юбилею соруководителя ведущей научной школы федерального уровня НИИ 7510.2010.4 «Живые Системы» СКФУ профессора Ивана Алексеевича Евдокимова. Рассмотрен вклад юбиляра, его учеников (6 докторов и 38 кандидатов технических наук) в проблематику молекулярно-ситовой фильтрации – микро-, ультра-, нанофильтрация и обратный осмос с целью разделения молочного белково-углеводного сырья – обезжиренное молоко, пахта и молочная сыворотка на макро- и микроуровнях. Приведены сформированные творческим коллективом проф. И. А. Евдокимова закономерности процессов мембранных технологий молочного дела.

Ключевые слова: молочное белково-углеводное сырье – обезжиренное молоко, пахта, молочная сыворотка; молекулярно-ситовая фильтрация; мембранные технологии.

Khramtsov Andrey

THE REGULARITIES OF FORMING MOLECULAR-SIEVE SEPARATION OF MILK PROTEIN-CARBOHYDRATE RAW MATERIALS FOR NEXT-GENERATION PRODUCTS (to jubilee of Professor I. A. Yevdokimov)

Article is dedicated to jubilee of Professor Ivan Alekseevich Yevdokimov. Professor Yevdokimov is co-supervisor of leading scientific school «Life systems» of North Caucasus Federal University. The contribution of Professor Yevdokimov and his followers (6 doctors of technical sciences and 38 candidates of technical sciences) in problematics of dairy raw material membrane filtration (micro-, nano-, ultrafiltration and reverse osmosis) is considered. Regularities of dairy raw materials treatment on the base of membrane processes, formed by Professor Yevdokimov and his colleagues are described.

Key words: dairy protein-carbohydrate raw materials – skim milk, butter milk, whey; membrane filtration, membrane technologies.

Проблема возможности разделения гетерогенной биоэкосистемы «МОЛОКО» (2500 соединений) на молекулярном уровне (более 100 000 структур) была теоретически предсказана и научно-технически обоснована великим корифеем молочного дела, академиком Н. Н. Липатовым [1, 2], учителем-наставником и научным руководителем кандидатской диссертации И. А. Евдокимова.

В системном виде тематика в области молекулярно-ситового разделения (мембранная «HIGHT-TECH») была поставлена в докторской диссертации И. А. Евдокимова [3] в рамках разработки интенсивной технологии молочного сахара. Она являлась и является предметом исследований его последователей и учеников. Кратко остановимся на сути проблематики и вкладе творческого коллектива проф. И. Евдокимова в ее решение.

Возможности мембранной технологии на современном уровне познания можно совершенно точно отобразить известным процессом и размером разделения гетерогенной системы, что показано ниже.

Процесс молекулярно-ситовой фильтрации	Размер удерживаемых частиц, нм
Микрофильтрация (микрочастицы)	1000
Ультрафильтрация (макромолекулы)	100
Нанофильтрация (молекулы)	10
Обратный осмос (ионы)	1

В соответствии с известной [4, 5] иерархией размерности полидисперсной (гетерогенной) системы молочного сырья, в том числе т. н. вторичного (более правильно – «молочного белково-углеводного»), с которым работает творческий коллектив проф. И. А. Евдокимова (как резервом молочной отрасли АПК), сформирована первая закономерность. Она заключается в следующем:

- микрофильтрация обеспечивает выделение из молочного сырья макро- и микрочастиц – остатков загрязняющих механических примесей (после механической фильтрации), молочного жира (после сепарирования, «сбивания» сливочного масла и синерезиса), микроорганизмов (вредных и полезных), микрочастиц и некоторых макромолекул, как правило, нежелательных компонентов, в т. ч. даже аллергенных;
- ультрафильтрация, которая становится типовой операцией при производстве всей ассортиментной линейки молочных продуктов, успешно «работает» с молочными белками – в идеале отделяет казеин из обезжиренного молока и пахты, а так же практически все фракции сывороточных белков;
- нанофильтрация (новация молочного дела) в дополнение к ультрафильтрации может «задерживать» не только молекулы, но и комплексы ионов, например кальция, обеспечивая частичную деминерализацию молочного сырья;
- обратный осмос («жизненный цикл только начинается») практически «пропускает» только воду и некоторые ионы, обеспечивая концентрирование всего «сухого остатка» молочного сырья (технологически феноменология – сгущение).

Следует остановиться на второй сформулированной в докторской диссертации И. А. Евдокимова [3], признанной в отрасли нашей страны [4] и за рубежом [6] закономерности – понятии «молочное лактозосодержащее сырье». Более 20 наименований молочного сырья, прежде всего молочная сыворотка – подсырная и творожная, стали не «отходом» для слива в канализацию, а неперенным «резервом» молочной отрасли АПК. На рис. 1 приведена иерархическая схема логистики существующих в настоящее время видов молочного лактозосодержащего сырья (по проф. И. А. Евдокимову). Следует отметить, что схема постоянно пополняется, например, сывороткой овечьего, козьего и «соевого» молока.

Приведем несколько примеров формирования закономерностей мембранной технологии по отдельным направлениям, с их современным аппаратурно-процессовым сопровождением.

Микрофильтрация, рассмотренная нашим совместным аспирантом Е. Р. Абдулиной [7], позволила подтвердить возможность отделения микрофильтрационной обработкой из молочной сыворотки казеиновой пыли, липидов, высокомолекулярных сывороточных белков, микроорганизмов, хлорорганических пестицидов и тяжёлых металлов. Одновременно была показана возможность увеличения проницаемости мембран предварительным обессоливанием и комплексообразованием частиц в ней. Полностью исключается аллергенность молочной сыворотки.

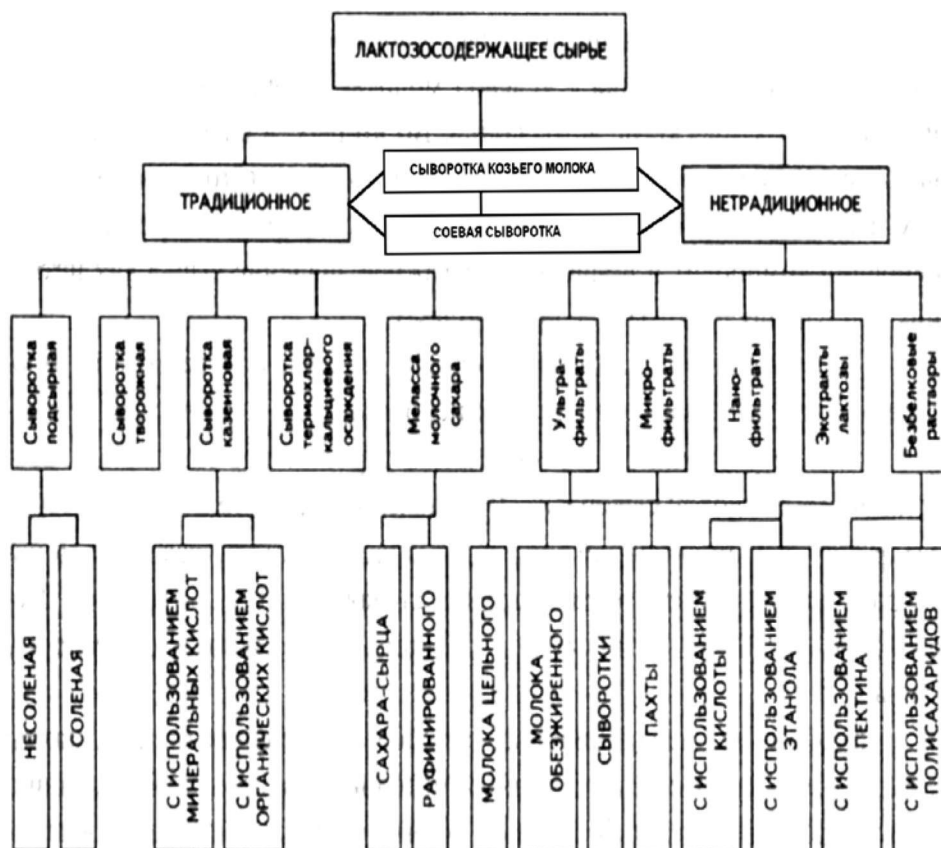


Рис. 1. Системология лактозосодержащего сырья

На рис. 2 приведен общий вид микрофилтративной установки фирмы KIESELMANN [8].



Рис. 2. Микрофилтративная установка производительностью 300 т молочной сыворотки в сутки

Ультрафильтрация жиросодержащих высокомолекулярных полидисперсных систем (ЖВПС – феноменология автора), на примере несепарированной подсырной сыворотки, подробно исследована в кандидатской и докторской диссертациях С. П. Бабенышева [9] – научный наставник (руководитель и консультант – полный цикл, проф. И.А. Евдокимов). По данной проблематике выполнено еще нескольких кандидатских диссертаций (руководитель он же), применительно к различным ассортиментным группам молочных продуктов нового поколения: сыры творожные [10], десерты [11], кисломолочные продукты [12] и др.

На рис. 3 приведен исключительно для информации уровня исследований С. П. Бабенышева и творческого коллектива юбиляра, механизм формирования закономерностей процесса – персептрон множественности нейросетевого моделирования.

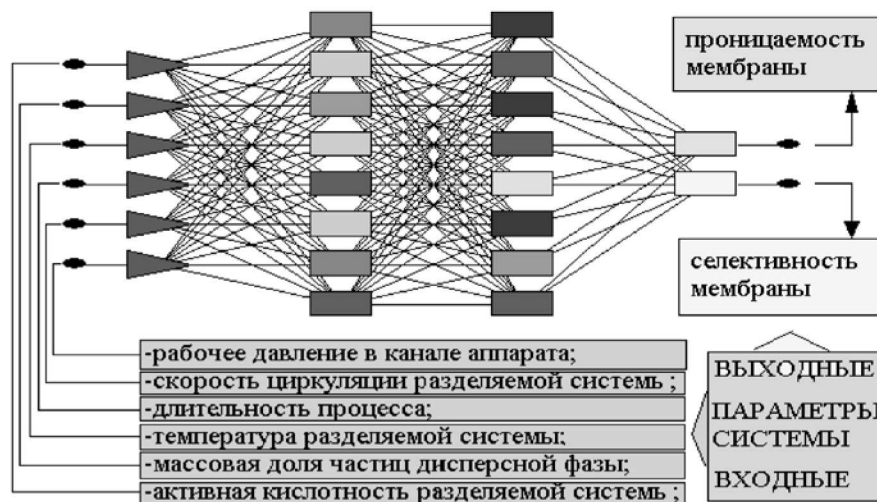


Рис. 3. Условная схема многослойного персептрона

Математическая обработка экспериментальных данных позволила с достаточной достоверностью определить закономерность – на проницаемость и селективность мембран влияние оказывают следующие факторы:

- давление в канале аппарата, скорость циркуляции разделяемой системы;
- длительность процесса разделения; температура разделяемой системы;
- массовая доля частиц дисперсной фазы в потоке, активная кислотность разделяемой системы.

Область оптимальных значений параметров процесса баромембранного разделения несепарированной молочной сыворотки (НМС) оказывается шире, чем это показывает расчет, проведенный традиционным способом.

В результате проведенных исследований, основное содержание которых опубликовано в 82 открытых работах, подтверждено патентами и «ноу-хау» сформирован и предложен комплексный подход в методологии изучения системы «объект баромембранного разделения – мембрана – процесс – технология разделения», создана классификация ЖВПС пищевой промышленности, разработаны конструкции и изготовлены опытные образцы баромембранных установок.

В кандидатской диссертации А. Г. Скороходова [13] изучено ультрафильтрационное разделение самой сложной системы молочного лактозосодержащего сырья – творожной сыворотки. Широкомасштабные исследования позволили установить, что скорость снижения проницаемости dQ/dt испытанных мембран в начальный период ультрафильтрации (1–1,5 часа) составляет около 8–10 кг/м²час². Затем значение этого показателя устанавливается на среднем уровне 2–3 кг/м²час² и после 7,5–8 часов работы аппарата приближается к нулю. Такой характер изменения параметра dQ/dt обусловлен тем, что в начале процесса на мембранной поверхности происходит активное

адсорбционное взаимодействие в системе «белок – мембрана». В результате этого формируется слой так называемых «первичных» отложений. Причем он находится в состоянии близком к динамическому равновесию и дальнейшее увеличение его толщины и плотности происходит с меньшей интенсивностью. Об этом косвенно свидетельствует монотонное снижение линии тренда графика функции $Q = f(\tau)$. Это объясняется также тем, что сложный физико-химический состав разделяемой системы обуславливает постепенное уплотнение отложений на мембране. Анализ литературных данных и результатов экспериментальных исследований позволил выдвинуть гипотезу о возможности повышения эффективности процесса ультрафильтрации за счет снижения интенсивности адсорбционного взаимодействия в системе «белок – мембрана» путем модификации мембранной поверхности частицами молочного жира.

На основе проведенной работы предложена логистическая схема централизованной обработки творожной сыворотки с использованием ультрафильтрации, показанная на рис. 4.



Рис. 4. Логистика замкнутой технологической блок-схемы централизованной переработки творожной сыворотки

Результаты реализации приведенной на рис. 3 схемы представлены в табл.

Таблица

Составы творожной сыворотки и продуктов ее ультрафильтрационного разделения на аппарате с керамическими мембранами трубчатого типа

Наименование	Белок, %	Жир, %	Лактоза, %	Соли, %	Сухие вещества, %
Сыворотка	0,6–0,8	0,1–0,2	4,5–5,1	0,5–0,6	5,7–6,7
Ретентат	3,6–4,8	0,6–0,9	4,5–5,1	0,5–0,6	12–14
Пермеат	0,2–0,25	0	4,5–5,1	0,5–0,6	5–5,5

Полученные продукты используются полностью на принципах безотходной технологии: ретентат для напитка белкового бренда «Экстра»; пермеат может быть обработан на обратноосмотической установке в целях выделения технологической воды. А концентрат пермеата рекомендуется для изготовления молочного сахара, выработки особо чистых дрожжей, этилового спирта или молочной кислоты. При этом реализуются процессы нанофильтрации и обратного осмоса.

Современная промышленная ультрафильтрационная установка фирмы KIESELMANN приведена на рис. 5 [8].



Рис. 5. Ультрафильтрационная установка производительностью 180 т молочной сыворотки в сутки

Современная промышленная установка для нанофильтрации фирмы KIESELMANN приведена на рис. 6 [8].

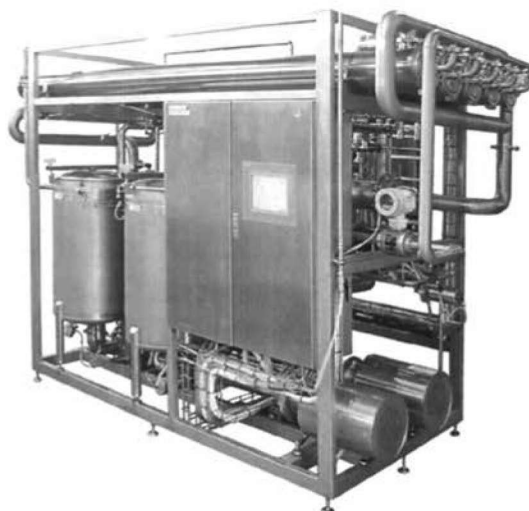


Рис. 6. Нанофильтрационная установка производительностью 50 т молочной сыворотки в сутки

Современная промышленная установка для обратного осмоса фирмы KIESELMANN приведена на рис. 7 [8].

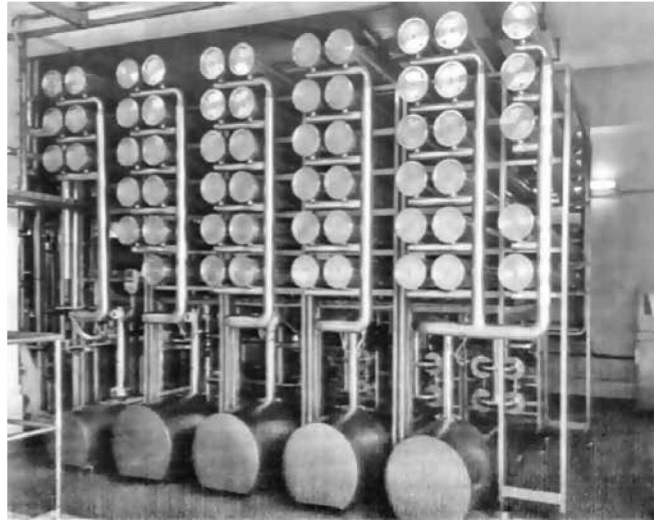


Рис. 7. Обратноосмотическая установка для сгущения УФ-пермеата производительностью 600 т исходного сырья в сутки

Промышленное внедрение показанных выше установок известной в мире [8] германской фирмы KIESELMANN с реализацией на российском уровне ее дочерним предприятием «KIESELMANN-ПУС», как, кстати, аналогичные аппараты и технологии бароэлектромембранных установок других зарубежных (например, чешская фирма МЕГА) и отечественных («Исток», г. Шостка), делает честь отрасли – высокие технологии пятого технологического уклада.

В целом масштабирование мембранных технологий творческого коллектива проф. И. А. Евдокимова позволяет реализовать в молочной отрасли АПК безотходное производство продуктов нового поколения функционального назначения.

Литература

1. Липатов Н. Н. Молочная промышленность в XXI веке // Вопросы питания. 1994. № 6. С. 39–42.
2. Липатов Н. Н., Марьин В. А., Фетисов Е. А. Мембранные методы разделения молока и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1976. 168 с.
3. Евдокимов И. А. Научно-технические основы интенсивной технологии молочного сахара: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Евдокимов Иван Алексеевич. Ставрополь, 1997. 399 с.
4. Гаврилова Н. Б., Щетинин М. П. Технология молока и молочных продуктов: традиции и инновации. М.: КолосС, 2012. 544 с.
5. Храмцов А. Г. Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2011. 804 с.
6. Синельников Б. М. Лактоза и ее производные / Б. М. Синельников, А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов, С. А. Рябцева, А. В. Серов. СПб.: Изд-во «Профессия», 2007. 768 с.
7. Абдулина Е. Р. Микрофильтрация молочной сыворотки: дис... канд. техн. наук: 05.18.04 / Абдулина Елена Рафаэлевна. М: Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности, 1992. 184 с.
8. Гаврилов Г. Б. Справочник по переработке молочной сыворотки. Технологии, процессы и аппараты, мембранное оборудование / Г. Б. Гаврилов, А. Ю. Просеков, Э. Ф. Кравченко, Б. Г. Гаврилов. СПб: ИД Профессия, 2015. 176 с.
9. Бабеньшев С. П. Научно-технические аспекты совершенствования процесса баромембранного разделения жидких высокомолекулярных полидисперсных систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12 / Бабеньшев Сергей Петрович. Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. 307 с.

10. Гнездилова А. И. Развитие научных основ кристаллизации лактозы и сахарозы в многокомпонентных водных растворах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Гнездилова Анна Ивановна. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности, 2000. 321 с.
11. Михнева В. А. Разработка технологии синбиотических сывороточных десертов: дис.... канд. техн. наук: 05.18.04. Ставрополь: СКФУ, 2013. 22 с.
12. Золотарёва М. С. Технология концентрирования белков творожной сыворотки и их использование в производстве кисломолочных напитков: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Золотарёва М. С. Ставрополь: СевКавГТУ, 2006. 127 с.
13. Скороходов А. Г. Ультрафильтрационное разделение творожной сыворотки на аппаратах трубчатого типа: дис.... канд. техн. наук: 05.18.04 / А. Г. Скороходов. Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. 24 с.