

Кручинин Александр Геннадьевич, зав. лаб., к.т.н., с.н.с.
ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (Россия, г.Москва)

Шилова Екатерина Евгеньевна, магистрант
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Россия, г.Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БАРОМЕМБРАНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДСЫРНОЙ И ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТОК

Аннотация. Возросшие объемы производства сыров и творогов поставили перед молочными предприятиями задачу по разработке и внедрению на производстве технологий комплексной переработки молочной сыворотки на пищевые цели. В данной статье рассмотрен процесс мембранного концентрирования белков подсырной и творожной сывороток. Получены закономерности изменения удельной производительности, от фактора концентрирования и продолжительности процесса. В продуктах мембранного разделения (ретенат и пермеат) исследованы физико-химические показатели и установлена степень потери белка.

Ключевые слова: ультрафильтрация, творожная сыворотка, подсырная сыворотка, фактор концентрирования, удельная производительность.

Kruchinin Alexandr Gennadevich, Laboratory chief, Ph.D., senior researcher
All-Russian Dairy Research Institute (Russia, Moscow)

Shilova Ekaterina Evgenyevna, magistrant
Moscow State University of Technologies and Management
after K. G. Razumovsky (Russia, Moscow)

THE INVESTIGATION OF THE PROCESS OF CHEESE WHEY AND QUARK WHEY BAROMETRIC FILTRATION

Abstract. The increased volumes of cheeses and quarks production set the task for dairy plants to develop and implement the production technology of complex processing of milk whey for food purposes. The present article considers the process of membrane concentration of cheese and quark whey proteins. The regularity of specific productivity changers depending on the concentration factors and duration of the process has been obtained. The physical-chemical indices in the products of membrane separation (retentat and permeat) were investigated and the extent of protein losses was determined.

Key words: ultrafiltration, quark whey, cheese whey, factor of concentration, specific productivity.

В результате введенного продовольственного эмбарго Правительством Российской Федерации в ответ на санкции со стороны стран Евросоюза и США высвободилось около 20% российского внутреннего рынка молочной продукции. Среди молочной продукции под запрет попали прежде всего различные группы сыров, творога и сливочного масла. Переориентация рынка на импортозамещение в условиях санкционной «войны» привела к росту собственного производства молочных продуктов, попавших под запрет ввоза на территорию страны [1]. Подтверждением сказанного являются данные статистики, представленные Национальным союзом производителей молока (Союзмолоко). Соотношение произведенных сыров на территории РФ к чистому импорту в 2013 г. (до санкционный период) составляло 344,8 тыс.т к 392,1 тыс.т соответственно. На сегодняшний день ситуация выглядит несколько иначе: объем сыров, произведенных на территории страны, увеличился до 521,6 тыс. т, а импорт сократился до 218 тыс. т. По творогам и сливочному маслу динамика производства собственной продукции, также позитивная, объем прироста за указанный период составляет 12,7 % и 7,2 % соответственно [2].

Возросшие объемы производства сыров, творога и сливочного масла не могли не сказаться на увеличении объемов вторичных молочных ресурсов, в частности молочной сыворотки и пахты [1]. Если технологии переработки пахты и возврат ее в технологическую цепочку отработаны и активно используются в молочной промышленности, то сложный физико-химический состав молочной сыворотки, особенно кислой, а также устаревший технический парк и отсутствие дорогостоящего высокотехнологичного оборудования сдерживают ее полноценную и эффективную переработку на пищевые цели [1,3].

По данным ВНИИМС (филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН) объем производимой молочной сыворотки на территории РФ приближается к 5 млн.т [4]. Из всего объема производимой молочной сыворотки только 20 % подвергается полной переработке, остальное 80% идет в чистом виде на корм сельскохозяйственным животным или сливаются в канализацию совместно со сточными водами нанося непоправимый вред природе [5].

В молочную сыворотку переходит около 60 % сухих веществ молока, в том числе 30 % белков, обладающих высокой биологической ценностью, поэтому рассматривать ее стоит, прежде всего, как ценное пищевое сырье, а не как отходы производства [6,7]. Сброс такого количества ценных молочных компонентов в канализацию неразумен и крайне убыточен как с экологической точки зрения, так и экономической.

Кроме того, в 2019 году вступили в силу поправки к Федеральному Закону «О водоснабжении и водоотведении», в которых были ужесточены требования к загрязнению сточных вод, передаваемых заводами водоканалам[8].

Таким образом, вопрос комплексной переработки молочной сыворотки, в том числе и с применением наукоемких технологий, таких как мембранное фракционирование биологически ценных белков, ферментативный гидролиз с получение функциональных пептидов, является весьма актуальным.

Целью данной работы являлось исследование закономерностей процесса ультрафильтрации подсырной и творожной сывороток и оценка полученных концентратов для дальнейшей переработки.

Исследования проводились на базе лаборатории технологии молочно-белковых концентратов, пищевых добавок и производства продуктов на их основе ФГАНУ «ВНИМИ».

Объектами исследований являлась:

- подсырная сыворотка, полученная при производстве полутвердых сыров методом кислотно-сычужной коагуляции;

- творожная сыворотка, полученная при производстве творога 9% методом кислотно-сычужной коагуляции.

Полученные образцы молочных сывороток подогревались на водяной бане до температуры (40 ± 5) °С. Подогретые образцы молочных сывороток очищались от жира и казеиновой пыли на сепараторе-сливкоотделителе Ж5-Плава-100. Очищенные образцы сывороток пастеризовались при температуре (72 ± 2) °С с выдержкой 3-5 минут и охлаждались до температуры промежуточного хранения (4 ± 2) °С.

Концентрирование сывороток осуществляли поочередно на пилотной установке AL 362, производства ООО «Альтаир», г. Владимир (рисунок 1).

Для ультрафильтрации молочных сывороток применяли рулонные мембранные элементы РФЭ на основе полиэфирсульфона (ПЭС). Основные характеристики мембраны РФЭ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики рулонного мембранного элемента

Наименование показателя	Предельные значения
Площадь фильтрующей поверхности, м ²	0,24
Диапазон рабочих температур, °С	10-55
Селективность по альбумину, %	98,5
Кислотность, рН	2-11
Давление, МПа (бар)	0,4-0,7 (4-7)
Порог задержки, кДа	1-5
Срок службы, мес.	12

Предварительно подготовленный образец молочной сыворотки подогревали до температуры 20 °С, после чего заливали в исходную емкость Е (рисунок 1).

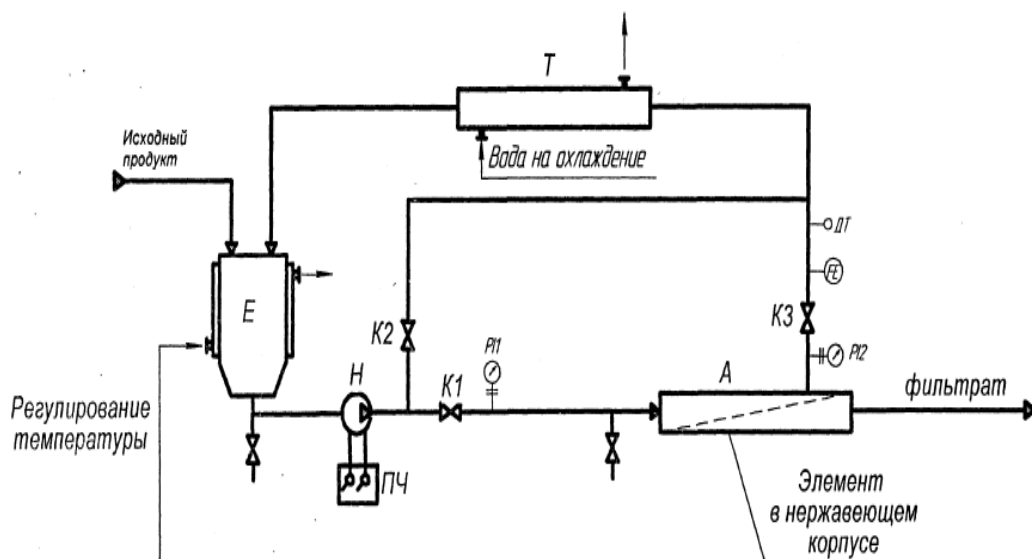


Рисунок 1 – Принципиальная схема пилотной установки AL 362

При полностью открытых шаровых клапанах K1 и K3 включали насос Н на производительность 35-50 % и производили заполнение мембранного аппарата А и трубопроводов до появления рециркуляционного потока по линии Е-Н-А-Т-Е. После заполнения линии плавно регулировали давление на входе в мембранный аппарат по манометру PI 1, поднимая его постепенно до рабочего (0,4-0,7 МПа).

Давление на выходе из аппарата по манометру PI2 должно быть на 0,02- 0,06 МПа меньше давления на входе в аппарат. Фильтрат в соответствии с поставленной задачей отводился за пределы фильтрационной системы, в то время как сыворотка постоянно пополняла буферную емкость Е. Процесс проводили непрерывно до объемного фактора концентрирования $\Phi_k=15$.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы использовались стандартизованные методы исследований:

- отбор проб и подготовку их к испытаниям проводили в соответствии с ГОСТ 3622-68;
- массовую долю влаги и сухих веществ определяли по ГОСТ 3626-73;
- массовую долю жира определяли кислотным методом Гербера по ГОСТ 5867-90;
- массовую долю белка измеряли по методу Кьельдаля ГОСТ Р 53951-2010;
- массовую долю лактозы измеряли по ГОСТ 51259-99;
- определение титруемой кислотности проводились титриметрическим методом по ГОСТ 54669-2011.

Обработку массивов экспериментальных данных проводили при помощи прикладных сервисных программ Microsoft Office Excel 2019.

На первом этапе исследований были установлены закономерности изменения фактора концентрирования процесса ультрафильтрации подсырной сыворотки от удельной производительности и продолжительности процесса (рисунок 2).

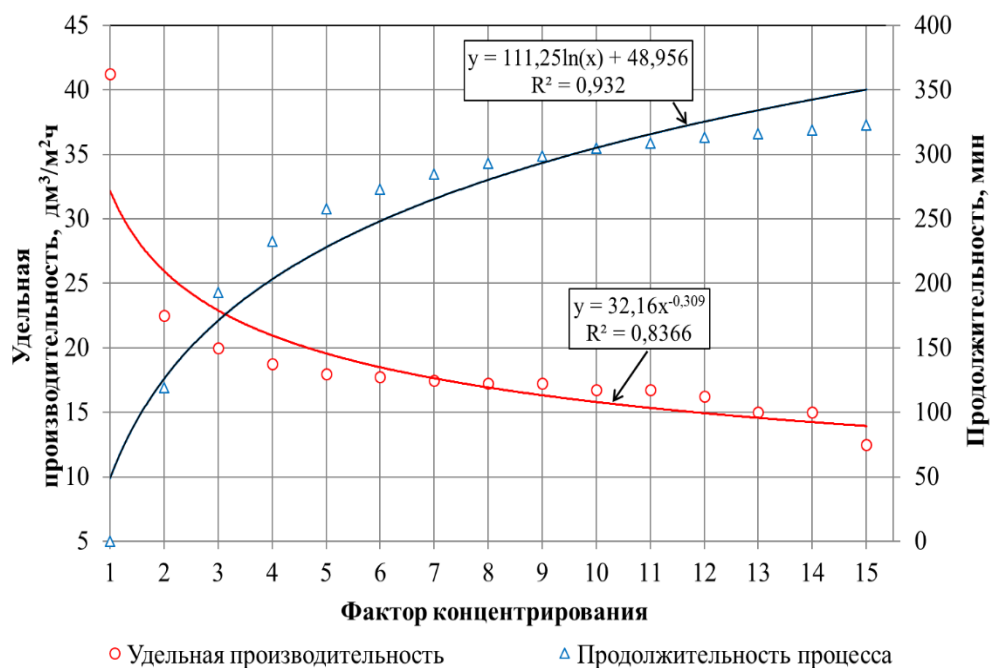


Рисунок 2 – Динамика процесса концентрирования подсырной сыворотки

Процесс ультраfiltrации подсырной сыворотки на рулонной мембране с порогом задержки 5 кДа протекал при начальной скорости filtration 41,2 дм³/м²ч при давлении на входе в мембранный модуль 0,56 МПа и температуре 20°С. По достижению Фк=2 (спустя 119 мин. от начала процесса) скорость filtration снизилась до 22,5 дм³/м²ч. Дальнейшее снижение производительности происходило более равномерно. Так при Фк=3 скорость filtration составляла 20 дм³/м²ч, а при Фк=14-15 дм³/м²ч. В конце процесса концентрирования скорость filtration уменьшилась до 12,5 дм³/м²ч при факторе концентрирования 15 и давлении на входе 0,51 МПа. Общая продолжительность концентрирования составила 323 минуты.

После мойки и регенерации мембран ультраfiltrационной установки был проведен второй этап исследований по концентрированию творожной сыворотки (рисунок 3).

Анализируя данные рисунка 3, следует отметить, что процесс концентрирования творожной сыворотки на рулонной мембране с порогом задержки 5 кДа протекал при более низких скоростях filtration. Так на начальном этапе скорость filtration находилась в диапазоне от 38 дм³/м²ч (Фк=1) до 19 дм³/м²ч (Фк=3) при давлении на входе в мембранный модуль 0,56 МПа и температуре 20 °С. При Фк=12 скорость filtration начала резко снижаться и к окончанию процесса снизилась до 5 дм³/м²ч, что свидетельствует о загрязнении мембранного элемента высокомолекулярными белковыми соединениями и неорганическими солями, характерными для кислой сыворотки. Общая продолжительность процесса концентрирования составила 376 минут.

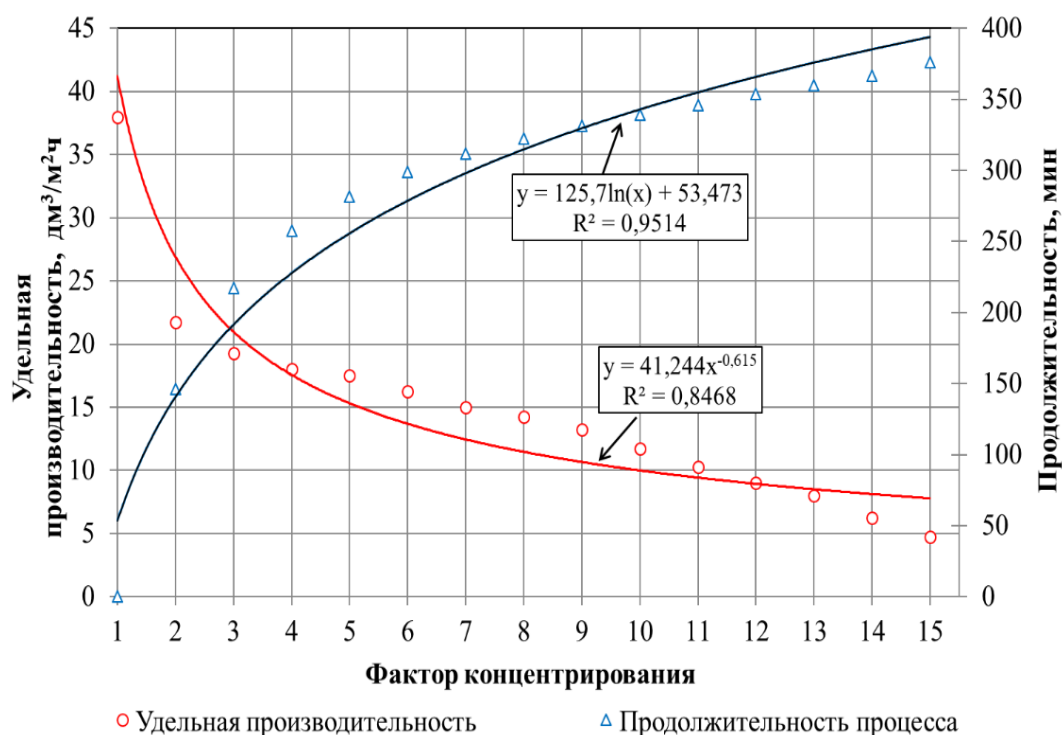


Рисунок 3 – Динамика процесса концентрирования творожной сыворотки

Для изучения эффективности мембранного концентрирования сывороток были отобраны пробы исходного сырья, пермеата и концентрата для физико-химических исследований. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели молочных сывороток и продуктов концентрирования

Наименование показателя	Подсырная сыворотка	Творожная сыворотка	Пермеат подсырной сыворотки	Концентрат подсырной сыворотки	Пермеат творожной сыворотки	Концентрат творожной сыворотки
М. д. сухих веществ, %	6,51	5,74	5,57	18,67	5,03	14,68
М. д. жира, %	0,1	0,05	0	1,5	0	0,8
М. д. белка, %	0,98	0,66	0,25	10,76	0,21	7,25
М. д. лактозы, %	4,52	4,96	4,27	6,27	4,88	5,95
Титруемая кислотность, °Т	19	58,9	22	26	66,0	110,7

Из представленных в таблице 2 данных видно, что при концентрировании подсырной сыворотки в пермеат переходит порядка 20 % белковых веществ, представленных в основном низкомолекулярными соединениями и свободными аминокислотами, а также порядка 82 % лактозы. Так как жир в данном случае не является целевым компонентом и не должен проходить через поры используемых мембран, то его полный переход в концентрат является

закономерным. Высокое содержание белка (10,76 %) в полученном концентрате при относительно низкой кислотности, открывает широкие возможности для его дальнейшей переработки, в том числе и с использованием принципов биотехнологии. Что касается переработки творожной сыворотки, то она отличается в 1,5 раза меньшим содержанием белка, по сравнению с подсырной, а, следовательно, при схожем факторе концентрирования в конечном ретентате творожной сыворотки массовая доля белка на 32 % меньше, чем в ретентате подсырной сыворотки. Потери белка в пермеат составили порядка 28 %, что может быть обусловлено протеканием неконтролируемого процесса кислотного гидролиза сывороточных белков. Кроме того, высокая кислотность концентрата творожной сыворотки осложняет его дальнейшую переработку на пищевые цели.

Выводы. Проведенные исследования показали относительную простоту переработки подсырной сыворотки и сложность переработки творожной сыворотки. Ввиду повышенной кислотности последней, процесс концентрирования протекал со средней удельной производительностью $14,5 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{ч}$, в то время как при концентрировании подсырной сыворотки средняя производительность составляла $18,8 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{ч}$.

Полученные концентраты сывороточных белков также значительно отличались по физико-химическим показателям. Содержание сухих веществ в конечном концентрате белков подсырной сыворотки составило 18,67 %, белка 10,76 %, (58 % КСБ по отношению к сухим веществам), лактозы – 6,27 %, кислотность – 26 °Т при факторе концентрирования 15. Потери белка в пермеат составили порядка 20 %. Полученный концентрат ввиду высокого содержания белковых соединений идеально подходит для создания на его основе продуктов с повышенной биологической ценностью, а при использовании направленной биологической конверсии и продуктов с доказанными функциональными свойствами.

Анализ концентрата белков творожной сыворотки показал, что массовая доля сухих веществ в нем составила 14,68 %, белка 7,25 %, (49 % КСБ по отношению к сухим веществам), массовая доля лактозы – 5,95%, кислотность – 110,7 °Т, при схожем факторе концентрирования ($\Phi_k=15$). Потери белка в пермеат составили порядка 28 %. Высокая кислотность и низкая массовая доля белка, а также быстрое загрязнение мембран не позволяют на данный момент в полной мере раскрыть потенциал переработки творожной сыворотки на пищевые цели.

Так как переработка творожной сыворотки является весьма актуальным направлением, то следует продолжить исследования, направленные на изыскание подходов к облегчению ее переработки, а именно: снижению кислотности, повышению термоустойчивости совокупно с повышением удельной производительности мембранных установок.

Список литературы

1. Золоторева М.С., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Чаблин Б.В. О переработке молочной сыворотки и внедрении наилучших доступных технологий // Переработка молока. 2016. № 7. С. 17-19.
2. Молоко и молокопродукты Российской Федерации: внутреннее производство, внешняя торговля, ценовая конъюнктура // Национальный союз производителей молока: Информационно-аналитический отчет о ситуации в молочной отрасли 2019. URL: <http://www.souzmoloko.ru/materiali/Predvaritelnye-itogi-2019> (дата обращения: 06.04.2020).
3. Агаркова Е.Ю., Кручинин А.Г. Исследование процесса концентрирования различных видов подсырной сыворотки // Переработка молока. 2019. № 3. С. 20-22.
4. Волкова Т.А. Перспективные направления переработки молочной сыворотки // Переработка молока. 2014. № 5. С. 6-9.
5. Харитонов В.Д., Пономарева Н.В., Мельникова Е.И., Богданова Е.В. Низкоаллергенные молочные продукты // Издательство Профессия: Санкт-Петербург. 2019. С. 108.
6. Гуца Ю.М. Переработка творожной сыворотки на предприятии // Молочная промышленность. 2015. № 4. С. 48-49.
7. Асафов В.А., Танькова Н.Л., Исакова Е.Л., Борисов А.Т. Напитки молочносодержащие с низкой гипоаллергенностью на основе сыворотки // СФЕРА: Молочная промышленность. 2017. № 2. С. 51-52.
8. Антонова Н. Разбор: как заработать на молочной сыворотке // Milknews: сетевой журн. 2019. URL: <https://milknews.ru/longridy/kak-zarabotat-na-syvorotke.html> (дата обращения: 06.04.2020).