

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНОГО САХАРА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ**Владимир Алексеевич Шохалов**¹, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологического оборудования**Анна Ивановна Гнездилова**¹, д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры технологического оборудования**Вероника Николаевна Шохалова**², канд. техн. наук, начальник отдела обеспечения лабораторной деятельности¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, с. Молочное²Центр гигиены и эпидемиологии в Вологодской области, г. Вологда

Творожная сыворотка является побочным продуктом при производстве творога. Ее промышленная переработка затруднена по причине высокой кислотности. Целью настоящей работы является дальнейшее совершенствование процесса очистки творожной сыворотки для интенсификации мембранных процессов. В работе обоснован способ очистки творожной сыворотки перед мембранной фильтрацией, включающий ее раскисление и частичное осаждение белков с помощью реагентов. В качестве реагентов предлагается использовать сухой порошок оксида кальция в количестве 0,26 % к массе сыворотки и 20 % раствор карбоната аммония из расчета 0,6 г/л. Применение данного способа обеспечивает осветление и раскисление творожной сыворотки, приводит к снижению содержания белка в ней (по сравнению с исходной) и в целом повышению ее доброкачественности. Активная кислотность в процессе снижается и pH возрастает с 4,53 до 6,03. Разработанный способ очистки творожной сыворотки может быть рекомендован в производственных условиях как подготовительный этап, повышающий эффективность последующей мембранной обработки.

Ключевые слова: творожная сыворотка, творог, оксид кальция, карбонат аммония, раскисление, белки

Для цитирования: Шохалов, В. А. Совершенствование процесса очистки творожной сыворотки в производстве молочного сахара / В. А. Шохалов, А. И. Гнездилова, В. Н. Шохалова // Молочная промышленность. 2026. № 1. С. 30–34. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2026-1-72>

ВВЕДЕНИЕ

Производство молочных продуктов сопровождается образованием вторичного молочного сырья: пахты, обезжиренного молока, молочной сыворотки. Если дальнейшая промышленная переработка пахты и обезжиренного молока реализуется успешно, то переработка молочной сыворотки, особенно творожной, затруднена и связана с ее высокой кислотностью, обусловленной наличием органических кислот. В настоящее время лишь 20–30 % молочной сыворотки в нашей стране идет на промышленную переработку на пищевые цели. Увеличение объемов переработки молока напрямую связано с возрастанием объемов производства сыворотки, и, следовательно, актуальность ее промышленной переработки возрастает. Молочная сыворотка включает в себя около 50 % сухих веществ молока и является источником ценных пищевых нутриентов, в том числе функциональных¹ [1–4].

Промышленная переработка молочной сыворотки требует ее очистки от балластных веществ, так назы-

ваемых несахаров. В последние годы для очистки подсырной сыворотки эффективно используются баро- и электромембранные методы обработки. Это, прежде всего, ультра- и нанофильтрация, обратный осмос и электродиализ. Известны различные химические способы удаления белков из молочной сыворотки: Патент 1214058 РФ «Способ выделения белковых веществ из молочной сыворотки» (А. Г. Храмцов, Г. И. Холодов, В. В. Жидков); Патент 1011101 РФ «Способ выделения белковых веществ из молочной сыворотки» (М. Г. Воронков и др.); Патент 1762862 РФ «Способ очистки молочной сыворотки от белков» (Е. М. Долгушин и др.); Патент 1597154 РФ «Способ получения белкового концентрата из молочного сырья» (А. В. Серов и др.); Патент 2079275 РФ «Способ получения белкового концентрата» (И. А. Рогов и др.); Патент 2031598 РФ «Способ выделения белковых веществ из молочной сыворотки» (А. Г. Храмцов и др.); Патент 2134992 РФ «Способ обработки молочной сыворотки» (А. И. Коновалов и др.); Патент 2025076 РФ «Способ очистки молочной сыворотки» (А. Г. Храмцов, Е. Р. Абдулина, И. А. Евдокимов).

¹Евдокимов И. А. Перспективы и особенности организации переработки сыворотки за рубежом и в России / И. А. Евдокимов [и др.] // Переработка молока. 2011. № 8(142). С. 6–9. <https://elibrary.ru/vxcukx>

Основным недостатком существующих способов очистки сыворотки является их ограниченная эффективность. Это обусловлено тем, что практически все из них направлены на удаление белков, а сыворотка включает в себя еще и различные минералы, кислоты (органические и неорганические) и другие примеси. Кроме того, ни один из указанных способов практически не позволяет эффективно осуществлять нейтрализацию органических кислот из творожной сыворотки. Вместе с тем проведение очистки творожной сыворотки от балластных веществ (органических кислот и минеральных солей) с помощью мембранных методов сопровождается перебоями в работе установок вследствие засорения фильтрующих элементов казеиновой пылью, недокоагулированным белком и др. Предварительная обработка сыворотки перед мембранной фильтрацией позволит продлить срок эксплуатации мембранных фильтрующих элементов, улучшить процесс разделения и концентрирования при сохранении паспортной производительности установок.

Весьма перспективным в этой связи является комплексный метод осветления молочной сыворотки растительными экстрактами с последующим использованием мембранных методов. С. П. Бабенышевым и др. доказано, что эффективность переработки молочной сыворотки повышается в результате ее предварительного осветления путем добавления экстракта растительного сырья (*Stevia rebaudiana Bertoni*) и последующего ультрафильтрационного разделения полученной смеси [5].

Предварительная экстракция основных компонентов из подсырной сыворотки с помощью водно-дисперсионных двухфазных систем в качестве предварительного этапа для интенсификации мембранной фильтрации исследована и подтверждена в работе [6].

Творожная сыворотка имеет свои особенности по составу и свойствам: более низкий pH и более низкое содержание лактозы, чем в подсырной, содержание белка в них примерно одинаковое [7–9]. Более высокая концентрация кальция и фосфатов и значительно более высокая концентрация молочной кислоты по сравнению с подсырной сывороткой являются основными ограничениями для переработки творожной сыворотки.

Наличие кальция и молочной кислоты негативно влияет на кристаллизацию лактозы. J. Chandrapala



Источник изображения: freepik.com

& T. Vasiljevic установили, что для нормальной работы распылительной сушилки и хорошего выхода при кристаллизации лактозы отношение кальция к молочной кислоте (г/г) должно составлять 1,5–2 к 13–14 г соответственно [10].

Различные варианты максимального удаления молочной кислоты и минералов путем применения электродиализа были изучены в работах [11–13], однако это достаточно энергозатратный процесс. В работе [14] показана возможность деминерализации и подщелачивания растворов лактозы, полученных из предварительно обработанной кислой сыворотки с помощью нанофильтрации.



Источник изображения: freepik.com

Таким образом, несмотря на имеющиеся в этой области разработки, задача интенсификации мембранных процессов, в том числе ультра- и нанофильтрации молочной сыворотки, до сих пор полностью не решена.

Целью настоящей работы являлось дальнейшее совершенствование процесса очистки творожной сыворотки для интенсификации мембранных процессов.

Задачи исследования:

- подбор химических реагентов для осветления и нейтрализации творожной сыворотки;
- разработка физико-химических основ проведения предварительной обработки творожной сыворотки перед ее очисткой мембранными методами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований в данной работе послужили: творожная сыворотка (ГОСТ 33957-2016 «Сыворотка молочная и напитки на ее основе»), оксид кальция (ГОСТ 8677-76 «Реактивы. Кальций оксид. Техниче-

ские условия»), карбонат аммония (ГОСТ 3770-75 «Реактивы. Аммоний углекислый. Технические условия»), осветленная сыворотка после добавления оксида кальция, осветленная сыворотка после добавления карбоната аммония, осадок после осветления.

Разработанный метод предусматривает: раскисление творожной сыворотки, нагрев, выдержку, перемешивание, охлаждение, центрифугирование. Раскисление проводят сухим реагентом – оксидом кальция, а выдержку осуществляют при температуре осветления 95 °С в течение 15 мин. Затем осветленную жидкость отделяют декантацией и в нее вносят 20 % раствор карбоната аммония. После этого сыворотку охлаждают до 30 °С и центрифугируют.

Объекты исследований анализировались по методикам, приведенным в таблице 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Творожную сыворотку после сепарирования раскисляли сухим реагентом оксида кальция до pH = 8,20 и подвергали тепловой обработке при 95 °С в течение 15 мин, затем отделяли осветленную жидкость декантацией, в нее вносили 20 % раствор карбоната аммония из расчета 0,6 г/л.

Для определения количества вносимого оксида кальция проведено потенциометрическое титрование. Результаты показали, что необходимое количество вносимого оксида кальция составляет 1,3 г/500 мл, или 0,26 % к массе сыворотки при pH 8,20 (табл. 2).

Таблица 1. Методы исследования физико-химических показателей

Показатель	Метод	Нормативный документ на метод
Отбор образцов (проб)	–	ГОСТ 26809.1-2014
Активная кислотность, ед. pH	Потенциометрический	ГОСТ 32892-2014
Массовая доля лактозы	Поляриметрический	ГОСТ 33957-2016 п. 6.7
Массовая доля сухих веществ	Рефрактометрический	ГОСТ 33957-2016 п. 6.4
Оптическая плотность, ед.	Колориметрический	ГОСТ 25179-2014
Массовая доля белка	Метод Кьельдаля	ГОСТ 23327-98
Массовая доля золы	Метод минерализации	ГОСТ 35005-2023 п. 8.22
Массовая доля кальция	Комплексонометрический	Меркулова Н. Г. и др. «Производственный контроль в молочной промышленности» (2009 г.)

Таблица 2. Результаты потенциометрического титрования творожной сыворотки

Оксид кальция	0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Активная кислотность, ед. pH	4,53	5,46	5,57	5,81	5,93	6,04	6,20	6,43	6,88	8,20

Таблица 3. Физико-химические показатели

Образцы сыворотки	Активная кислотность, ед. pH	Оптическая плотность, ед.
Исходная сыворотка после сепарирования	4,53 ± 0,05	0,568
Сыворотка после добавления оксида кальция	8,20 ± 0,05	0,073
Сыворотка после добавления карбоната аммония	6,03 ± 0,05	0,031

Таблица 4. Состав исходной, осветленной сыворотки и осадка

Показатели	Исходная сыворотка	Осветленная сыворотка	Осадок
Массовая доля сухих веществ, СВ, %	6,13 ± 0,10	5,87 ± 0,10	13,13 ± 0,10
Массовая доля лактозы, %	4,59 ± 0,10	4,50 ± 0,10	4,28 ± 0,10
Массовая доля белка, %	0,33 ± 0,06	0,28 ± 0,06	1,05 ± 0,06
Массовая доля белка, %, в пересчете на 100 частей сухого вещества	5,38	4,77	8,00
Массовая доля золы, %	0,69 ± 0,04	0,71 ± 0,04	7,07 ± 0,04
Содержание кальция, мг/100 г	137,67 ± 5	112,95 ± 5	326,11 ± 5
Содержание кальция, мг/100 г на 100 частей сухого вещества	2246	1925	2483
Доброкачественность, %	74,9	76,7	32,6

После этого сыворотку охлаждали до 30 °С, центрифугировали и анализировали надосадочную жидкость и осадок (табл. 3 и 4).

Как следует из таблицы 3, эффективность осветления, оцениваемая оптической плотностью, в разработанном способе очистки достаточно высокая и обусловлена тем, что происходит одновременное раскисление и осаждение белков за счет внесения оксида кальция и тепловой обработки. Кроме того, внесение карбоната аммония позволяет удалять остатки растворимого кальция из осветленной жидкости за счет его перевода в нерастворимое состояние в виде углекислого кальция. В результате установлено, что содержание кальция в осветленной жидкости снижается на 14,3 % (табл. 4).

По данным таблицы 4 проведен пересчет содержания белка на 100 частей сухих веществ. В результате установлено, что содержание белка в осветленной сыворотке по сравнению с исходной уменьшается на 11,3 %. Массовая доля золы остается в пределах погрешности, т. к. вводимый кальций практически весь уходит в осадок. Наблюдается повышение доброкачественности осветленной сыворотки в целом.

Оксид кальция оказывает сильное свертывающее воздействие на белок с образованием довольно плотных хлопьев. Кроме того, оксид кальция реагирует с молочной кислотой с образованием нерастворимых соединений. Кальций взаимодействует

также с фосфорнокислыми солями сыворотки, образуя нерастворимые соединения.

При раскислении главную роль играют гидроксильные группы. В щелочной среде pH = 8–10 в силу ионизации карбоксильной группы амфотерные молекулы белка превращаются в анион белка $\text{CH-NH}_2\text{-COO}^-$, который вступает в реакцию с катионом кальция, образуя нерастворимые соединения. Наряду с этим гидроксильные ионы OH⁻, действуя на гидратную оболочку гидрофильных частиц, вызывают их дегидратацию и уплотнение. Повышение pH свыше 10, как было установлено, вызывает потемнение растворов.

Осветленная таким образом сыворотка направляется на мембранную обработку и затем на производство молочного сахара. Образующийся белковый осадок, содержащий минеральные соли сыворотки, является ценной белково-минеральной кормовой добавкой.

ВЫВОДЫ

Разработанный способ предлагает эффективное решение проблемы неполноценной очистки творожной сыворотки от несхаров, обеспечивает ее глубокое осветление и раскисление. В отличие от традиционных подходов, преимущественно направленных на удаление белков, данный метод комплексно устраняет широкий спектр примесей, включая минеральные и органические кислоты, что значительно

повышает качество сыворотки для дальнейшей мембранной обработки и производства молочного сахара. Образующийся в процессе белковый осадок представляет собой ценную кормовую добавку.

Разработанный способ очистки творожной сыворотки может быть рекомендован в производ-

ственных условиях как дополнение мембранной обработки. Способ прошел производственную проверку в экспериментальном цехе АО «Учебно-опытный молочный завод» Вологодской государственной молочнохозяйственной академии имени Н. В. Верещагина. На способ очистки молочной сыворотки получен Патент РФ № 2845453. ■

Поступила в редакцию: 02.09.2025
Принята в печать: 15.01.2026

ADVANCED CURD WHEY PURIFICATION IN MILK SUGAR PRODUCTION

V. A. Shokhalov¹, A. I. Gnezdilova¹, V. N. Shokhalova²

¹Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin, Molochnoe

²Vologda Regional Centre for Hygiene and Epidemiology, Vologda

ORIGINAL ARTICLE

Cottage cheese whey is a highly acidic by-product of curd production. As a result, its industrial processing is quite complex. If intensified, membrane processes can improve the quality of curd whey purification. This article introduces a new method for purifying curd whey before membrane filtration. It included deoxidation and partial precipitation of proteins by reagents. The reagents were represented by calcium oxide powder (0.26% whey weight) and a 20% ammonium carbonate solution (0.6 g/L). The method made it possible to clarify and deoxidize curd whey, increasing its quality and reducing the protein content. The active acidity decreased while the pH rose from 4.53 to 6.03. The new method proved commercially feasible as a preparatory stage to increase the efficiency of membrane processing.

Keywords: curd whey, curd, calcium oxide, ammonium carbonate, deoxidation, proteins

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храмцов, А. Г. Информационное обеспечение наилучших доступных технологий пищевой промышленности: монография / А. Г. Храмцов [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2019. – 312 с. <https://www.elibrary.ru/lhovle>
2. Храмцов, А. Г. Лактоомика – наука о молоке: модернизация наших представлений / А. Г. Храмцов // Молочная промышленность. 2011. № 6. С. 45–48. <https://elibrary.ru/nxomll>
3. Храмцов, А. Г. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1) / А. Г. Храмцов [и др.] // Современная наука и инновации. 2021. № 2(34). С. 129–139. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.2.12>; <https://elibrary.ru/cckoaj>
4. Евдокимов, И. А. Реальные мембранные технологии / И. А. Евдокимов [и др.] // Молочная промышленность. 2010. № 1. С. 49–50. <https://elibrary.ru/kzmkll>
5. Бабенышев, С. П. Комплексный метод осветления молочной сыворотки / С. П. Бабенышев [и др.] // Молочная промышленность. 2017. № 4. С. 59–60. <https://elibrary.ru/yhxajb>
6. González-Amado, M. Recovery of lactose and proteins from cheese whey with poly(ethylene)glycol/sulfate aqueous two-phase systems / M. González-Amado [et al.] // Separation and Purification Technology. 2021. Vol. 255. 117686. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117686>
7. Nielsen, E. N. The effect of acid whey composition on the removal of calcium and lactate during electrodialysis / E. N. Nielsen [et al.] // International Dairy Journal. 2021. Vol. 117. 104985. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.104985>
8. Talebi, S. Pilot study on the removal of lactic acid and minerals from acid whey using membrane technology / S. Talebi [et al.] // ACS Sustainable Chemistry and Engineering. 2020. Vol. 8(7). P. 2742–2752. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06561>
9. Merkel, A. The impact of integrated nanofiltration and electrodialytic processes on the chemical composition of sweet and acid whey streams / A. Merkel, D. Voropaeva, M. Ondrušek // Journal of Food Engineering. 2021. Vol. 298. 110500. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110500>
10. Chandrapala, J. Properties of spray dried lactose powders influenced by presence of lactic acid and calcium / J. Chandrapala, T. Vasiljevic // Journal of Food Engineering. 2017. Vol. 198. P. 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.017>
11. Chandrapala, J. Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature / J. Chandrapala [et al.] // Separation and Purification Technology. 2016. Vol. 160. P. 18–27. <https://doi.org/10.1016/J.SEPUR.2015.12.046>
12. Chandrapala, J. Strategies for maximizing removal of lactic acid from acid whey – Addressing the un-processability issue / J. Chandrapala [et al.] // Separation and Purification Technology. 2017. Vol. 172. P. 489–497. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.09.004>
13. Chandrapala, J. Removal of lactate from acid whey using nanofiltration / J. Chandrapala [et al.] // Journal of Food Engineering. 2016. Vol. 177. P. 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.019>
14. Roselli, M. Recovery of lactose from acid whey by nanofiltration: An experimental study / M. Roselli [et al.] // Separation and Purification Technology. 2025. Vol. 353, Part B. 128303. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128303>

**СЫРОДЕЛИЕ
МАСЛОДЕЛИЕ**

**Подписка
на журнал**

podpiska.kemsu@mail.ru

