

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ
ВЛАЖНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ СЫВОРОТОЧНОЙ ПАСТЫ
PRACTICAL JUSTIFICATION OF THE TECHNOLOGY
OF PRODUCTION OF INTERMEDIATE MOISTURE
PRODUCTS BASED ON WHEY PASTE**

Аннотация:

Стремительный рост мирового производства сыров неизбежно приводит к накоплению огромных объемов молочной сыворотки — побочного продукта, который долгое время рассматривался как отход. В условиях растущего осознания острой необходимости ресурсосбережения и появления новых технологий экономическая ценность молочной сыворотки резко возросла. Сегодня уже недостаточно просто утилизировать ее как сточные воды, необходимо извлекать максимальную пользу из этого ценного ресурса. В современном мире концентрат молочной сыворотки активно используется в сфере производства продуктов питания. Его используют как функциональную добавку в хлебопечении, улучшая структуру и вкусовые качества хлебулочных изделий. К сожалению, на сегодняшний день не существует простых и дешевых технологий полной переработки молочной сыворотки, не требующих специального дорогостоящего оборудования. Существующие методы часто сопряжены со значительными затратами энергии и ресурсов, не обеспечивают полного извлечения всех полезных компонентов. Поэтому разработка и внедрение принципиально новых, безотходных технологий переработки молочной сыворотки является насущной задачей для повышения эффективности молочной отрасли и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Успешное решение этой проблемы приведет не только к экономической выгоде, но и к снижению экологической нагрузки, что соответствует современным требованиям устойчивого развития. Поэтому инвестиции в исследования и разработки в этой области являются стратегически важным направлением для развития молочной промышленности.

Ключевые слова: молочная сыворотка, технология, продукты с промежуточной влажностью, выпаривание, кристаллизация.

Abstract:

The rapid growth of global cheese production inevitably leads to the accumulation of huge amounts of whey, a by-product that has long been considered a waste product. With the growing awareness of the urgent need for resource conservation and the advent of new technologies, the economic value of whey has increased dramatically. Today it is no longer enough to simply dispose of it as waste water, it is necessary to make the most of this valuable resource. In the modern world, whey concentrate is actively used in the field of food production. It is used as a functional additive in baking, improving the structure and taste of bakery products. Unfortunately, today there are no simple and cheap technologies for the complete processing of whey that do not require special, expensive equipment. Existing methods often involve significant energy and resource costs, and do not fully extract all useful components. Therefore, the development and implementation of fundamentally new, waste-free technologies for processing whey is an urgent task to increase the efficiency of the dairy industry and minimize the negative impact on the environment. A successful solution to this problem will lead not only to economic benefits, but also to a reduction in the environmental burden, which meets modern requirements for sustainable development. Therefore, investments in research and development in this area are a strategically important area for the development of the dairy industry.

Keywords: whey, technology, intermediate moisture products, evaporation, crystallization.

В последнее время наблюдается растущий интерес к продуктам с длительным сроком хранения, особенно сухим продуктам. Однако их производство связано с высокими капитальными и энергетическими затратами, что делает такую продукцию менее привлекательной с точки зрения экономической эффективности. В этой связи продукты с промежуточной влажностью, в которых активность воды находится в диапазоне 0,6—0,9, представляют собой более приемлемую альтернативу.

Регулирование активности воды в таких продуктах возможно за счет добавления различных растворимых веществ или увлажнителей, таких как соль, сахар и многоатомные спирты. Это позволяет не только продлить срок хранения, но и сохранить органолептические свойства продуктов. Важно отметить, что дрожжи и плесени обладают большей устойчивостью к снижению pH по сравнению с бактериями, что делает их потенциальными загрязнителями продуктов с промежуточной влажностью. Для предотвращения их развития в такие продук-

ты часто вводят микостаты, например, сорбиновую или пропионовую кислоты.

Кроме того, упаковка продуктов в герметичную тару или пакеты, которые не пропускают кислород, является важным шагом для предотвращения преждевременной порчи. Благодаря этому можно существенно продлить срок годности и обеспечить сохранность качественных характеристик продукта.

Целью данной работы является повышение безотходности и экологической безопасности производства продуктов с промежуточной влажностью (ППВ) на основе подсырной сыворотки при сохранении ее нативных свойств, что позволит не только улучшить качество конечного продукта, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Известно, что страны Европы производят переработку молочной сыворотки, сгущенной до уровня содержания сухих веществ 50 %, со сроком хранения около 3 мес. Такой большой срок годности достигается наличием хлористого натрия, глицерина, снижением pH, добавлением пищевых кислот или консервантов⁶. Также производятся сладкие пасты, в состав которых входят растительный или молочный жир, сухое молоко, сыворотка, эмульгаторы и вкусоароматические добавки. При этом сыворотку концентрируют мембранными методами, высушивают и смешивают с жидкой, концентрированной или сухой сывороткой, получая полуфабрикат для производства ряда пищевых продуктов.

В указанной статье⁷ описывается метод получения кормового продукта, состав которого аналогичен составу обезжиренного молока. При этом технологический процесс его производства состоит из мембранного концентрирования сыворотки, сушки и смешивания со сгущенной сывороткой в соотношении 4:5 по сухим веществам (СВ).

Профессор С.М. Петров⁸ предложил способ получения пасты из молочной сыворотки, предусматривающий проведение процессов пастеризации сыворотки, сгущения, последующего принудительного

⁶ *Нестеренко П.Г.* Производство сгущенных концентратов на основе молочной сыворотки // *Известия вузов. Пищевая технология.* 1992. № 2. С. 5—10.

⁷ *Паладий И.В., Врабие Е.Г., Спринчан К.Г., Болога М.К.* Молочная сыворотка: Обзор работ. Ч. 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение. Ч. 2. Процессы и методы обработки // *ЭОМ.* 2021. № 1. С. 52—69; № 3. С. 83—101.

⁸ Патент РФ № 2063142 МПК А23С 21/00(2006.01). Способ получения пасты из молочной сыворотки / С.М. Петров, А.Г. Шестов, К.К. Полянский, Н.М. Подгорнова; заявитель и патентообладатель С.М. Петров; заявл. № 93033122/13 от 24.06.1993; опубл. 10.07.1997.

охлаждения при перемешивании, выгрузки и выдержки. Когда сироп достигает уровня 65—70 % сухих веществ, процесс превращения сыворотки в сироп считается завершенным.

А.Г. Храмов⁹ исследовал возможность получения концентрата молочной сыворотки путем ее сгущения до содержания сухих веществ не выше 62 %, с последующим внесением водоудерживающего вещества для формирования требуемой структуры и стабильной мягкой консистенции.

Значительное количество исследований посвящено переработке молочной сыворотки с использованием мембранных методов. Рассматриваются технологии концентрирования с помощью ультра-, нанофильтрации и обратного осмоса. В частности, наиболее экономичным способом переработки сыворотки является ее концентрирование нанофильтрацией до уровня 25 % СВ. Используя метод диафильтрации, можно увеличить концентрацию СВ до 30 %, при этом деминерализация составит до 50 % от исходного уровня содержания минеральных солей. Для более глубокой переработки (удаления избыточной лактозы) концентрат сыворотки сгущают, выкристаллизовывают избыточную лактозу и отделяют ее от мелассы, чтобы полученный продукт по соотношению количества белков и лактозы был приближен к исходному молоку. В этом случае появляется возможность его использования в технологии получения кисломолочных продуктов.

Также изучено влияние процесса сгущения подсырной молочной сыворотки в вакуум-выпарной установке на выход и качество готовой продукции¹⁰. Было выявлено, что белки в сгусток переходят в следующих пропорциях: 32 % — в натуральной сыворотке; 35 % — в сгущенной сыворотке, полученной методом обратного осмоса и вакуумного выпаривания. В ходе экспериментов было выявлено, что выход сгустков термокислотной сыворотки после сгущения с использованием метода обратного осмоса и вакуумного способа оказался практически одинаков.

В данной работе были использованы стандартные и общепринятые в молочной отрасли методы, применяемые в физико-химических исследованиях. Проводились исследования по определению сле-

⁹ Храмов А.Г. Инновационные разработки в использовании молочной сыворотки // Техника и технология пищевых производств. 2018. № 3. С. 5—15; Он же. Новации молочной сыворотки. СПб.: «Профессия», 2016. 490 с.

¹⁰ Бузверов С.Ю., Сурай Н.М. Исследование влияния процесса сгущения подсырной сыворотки на выход готовой продукции // Вестник АГАУ. 2016. № 5 (139). С. 157—162.

дующих показателей: температуры, плотности, массовой доли сухих веществ, титруемой кислотности, массовой доли лактозы, массовой доли хлористого натрия (для молочной сыворотки — ГОСТ 33957-2016; для концентратов молочной сыворотки — ГОСТ 26809.1-2014, ГОСТ 8764-73). Микробиологические исследования осуществлялись по ГОСТ 32901-2014.

Для получения концентрата молочной сыворотки использовали двухэтапный процесс. На первом этапе происходило сгущение до необходимой концентрации сухих веществ, на втором — образование пастообразного продукта из сгущенного сиропа. Концентрирование молочной сыворотки проводили в лабораторном вакуум-выпарном аппарате 1 (Рис. 1) с электронагревательными спиральными элементами 2. С использованием крана 3 производилась загрузка продукта в вакуумную установку. Для мониторинга температуры сиропа и вторичного пара применялись термометры 4 и 5. Для определения вязкости использовался цифровой прибор 7, оснащенный датчиком 6. В конструкции была реализована функция регулирования температуры с применением автотрансформатора 8 и вольтметра 9. Отбор проб в процессе концентрирования осуществлялся с помощью пробоотборника 10 и соответствующих кранов 11, 12 и 13.

Требуемое остаточное давление в аппарате контролировали при помощи электроконтактного вакуумметра 14, электрический сигнал от которого через реле 15 подавался на катушку магнитного пускателя вакуум-насоса (на Рис. 1 условно не показан), обеспечивая тем самым его периодическое включение и выключение.

Образовавшийся при уваривании вторичный пар конденсировали в конденсаторе 16, конденсат собирали в мерном цилиндре 17. Развязку вакуумных коммуникаций осуществляли через стеклянную колбу 18.

Образование пастообразного продукта осуществляли в кристаллизаторе 19 с внешней теплообменной рубашкой, соединенной входным и выходным патрубками с циркуляционной системой термостата 20. Виброперемешивающее устройство кристаллизатора было выполнено в виде вертикального штока 21 и ярусно укрепленных на нем четырех дисков с коническими отверстиями, ориентированными суживающейся частью вверх. Шток мешалки прикрепляется к штоку эксцентричного механизма 22 вибропривода 23. Вибропривод приводится в движение посредством электродвигателя 24. Частоту колебаний штока с мешалкой измеряли стробоскопом 25, используя частотомер 26. Температуру кристаллизующегося сиропа измеряли с помощью термометра 27. Температуру снижения температуры в термостате устанавливали приводом 28 с вариатором скорости и электроконтактным термометром 29.

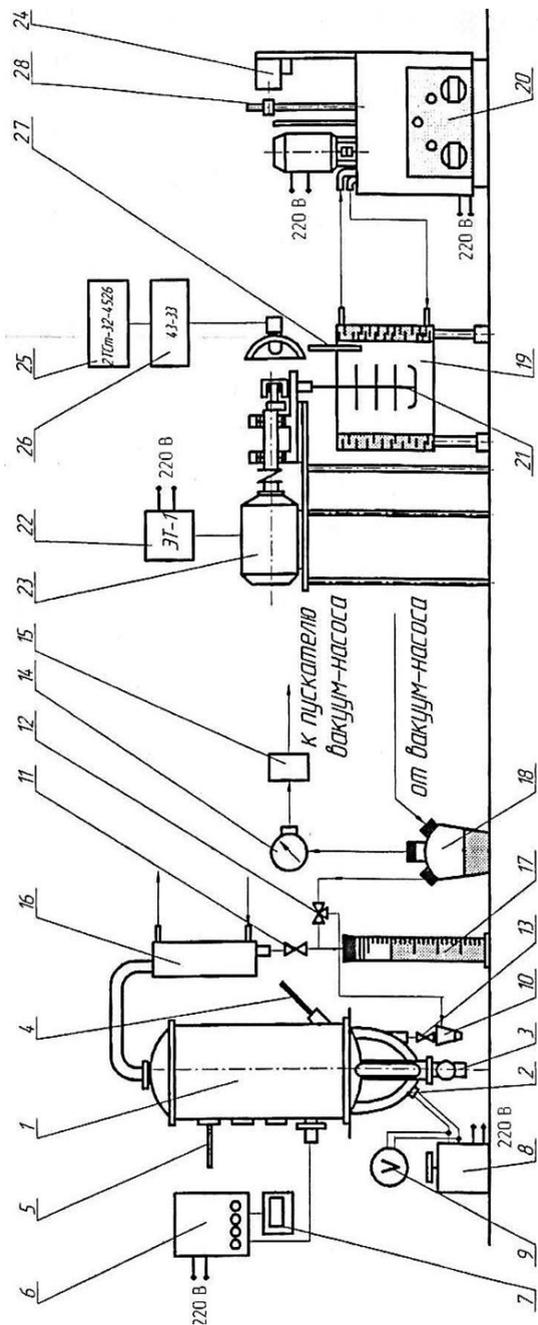


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для получения сывороточной пасты.

В процессе разработки технологии производства подсырной сывороточной пасты были рассмотрены различные способы производства этого продукта.

По первому варианту пасту получали следующим образом: молочная сыворотка, полученная после производства сыра, с содержанием сухих веществ 6 % и лактозы 3,6 % (чистота 60 %), была подвергнута пастеризации при температуре 65—70 °С. Затем ее направили в вакуум-выпарной аппарат, где сгустили до содержания сухих веществ 70 ± 2 % при температуре 45—50 °С. Чтобы уменьшить образование пены, в сыворотку, которую направляли на сгущение, добавляли пеногаситель — олеиновую кислоту. Ее концентрация составляла 0,1 % от общего объема. В процессе сгущения при пересыщении раствора происходило формирование центров кристаллизации, которые впоследствии инициировали рост кристаллов лактозы. По окончании сгущения их размер составлял 15—25 мкм. Завершение процесса сгущения контролировали по плотности сыворотки при температуре 65 °С; плотность находилась в диапазоне от 1350 до 1410 кг/м³. Затем продукт упаковывали в короба из картона, герметичность которых обеспечивалась полиэтиленовыми вкладышами. Охлаждение происходило естественным образом до температуры помещения, т. е. около 15—20 °С. Уже через 12 ч завершался процесс образования пастообразного продукта.

По второму варианту молочную подсырную сыворотку с исходной доброкачественностью 65 % пастеризовали при температуре 60—65 °С и направляли в вакуум-выпарной аппарат для сгущения при температуре 50—55 °С и разрежении $(680-660)10^2$ Па до массовой доли сухих веществ 70 ± 2 %. Затем все последующие процессы проводили аналогично описанным выше.

В результате исследования условий структурообразования при помощи различных способов получения концентратов подсырной сыворотки был разработан технологический режим получения пасты.

Экспериментально установлено, что определяющими факторами получения пасты являются: щадящий температурный режим сгущения, наличие достаточных компонентов — белковой фракции, сухих веществ, кристаллической лактозы.

Технологическая схема производства подсырной сывороточной пасты представлена на Рис. 2.

Процесс производства подсырной сывороточной пасты реализовывали по следующим технологическим этапам. Соленую подсырную сыворотку, содержащую 6,0—6,5 % сухих веществ и имеющую чистоту 65—70 %, пастеризовали при 60—65 °С в течение 20—25 мин. В предварительно разогретом до 45—50 °С вакуум-аппарате проводили сгущение сыворотки в сироп при 45—55 °С до содержания сухих веществ 70—72

%. Чтобы избежать резкого перепада температуры между пастеризованной сывороткой и стенками выпарного аппарата, который мог бы привести к быстрому образованию центров кристаллизации и ускоренному росту кристаллов лактозы, что нежелательно на начальной стадии процесса выпаривания, было решено подавать сыворотку в предварительно нагретый аппарат. Для того чтобы сохранить в продукте исходные качественные показатели молочной сыворотки, в том числе нативный белок, и предотвратить карамелизацию лактозы, что влияет на качество готового продукта, были использованы более низкие температуры в процессе пастеризации и сгущения. Для снижения пенообразования в сыворотку, предназначенную для сгущения, добавляли олеиновую кислоту в количестве от 0,1 % до 0,2 % от общего объема.

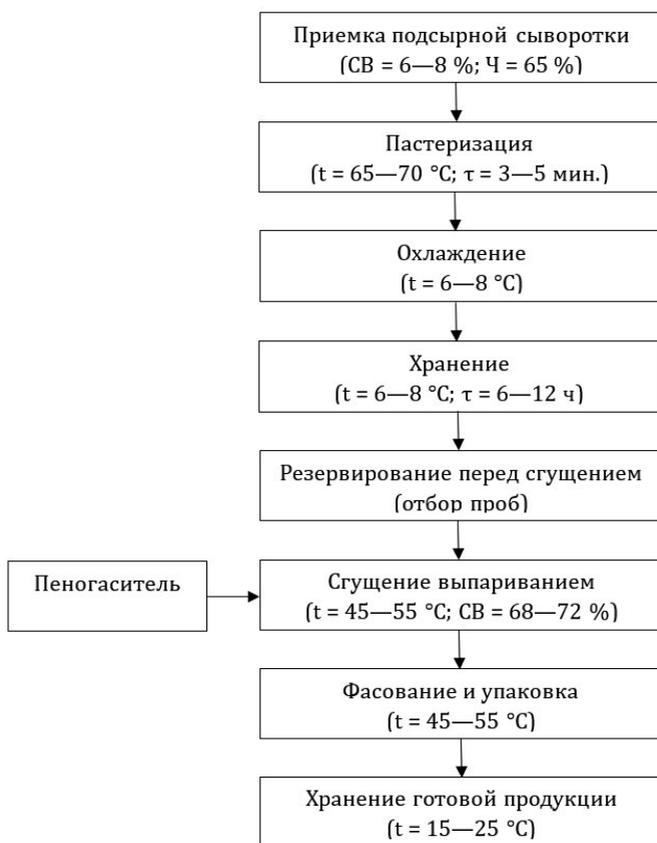


Рис. 2. Технологическая схема производства сывороточной пасты.

По мере того как сироп становился все более насыщенным, раствор достигал состояния перенасыщения. Это приводило к образованию центров кристаллизации, а затем к формированию кристаллов лактозы и их росту. Далее сгущенный продукт был расфасован в герметичную тару при температуре выпаривания. Чтобы избежать попадания в продукт конденсата, который образуется при охлаждении, герметизацию тары осуществляли после того, как продукт естественным образом остыл до температуры окружающей среды. В ходе естественного охлаждения происходил процесс докристаллизации лактозы, который способствовал формированию структуры сывороточной пасты. Полученный продукт имел плотную структуру и обладал пластичностью.

Технологический процесс сгущения сиропа подсырной сыворотки представлен в Табл. 1.

Табл. 1. Технологический процесс сгущения сиропа подсырной сыворотки.

Продолжительность уваривания, ч	Остаточное давление, кПа	Температура		Объем образовавшегося конденсата, см ³	Массовая доля сухих веществ в сиропе, %
		сиропа, °С	вторичного пара, °С		
0	75	65,0	65	0	43,0
0,5	90	60,0	60	350	44,9
1,0	95	55,0	55	1000	51,7
1,5	95	50,0	49	1200	55,2
2,0	95	50,3	49	1600	57,8
2,5	95	50,5	49	2000	58,5
3,0	95	50,7	49	2500	60,9
3,5	95	51,1	49	2850	66,1
4,0	95	51,6	49	3600	71,5

Предлагаемая технология производства сывороточной пасты характеризуется рядом преимуществ по сравнению с существующими технологиями.

Во-первых, она обеспечивает улучшение качественных характеристик продукта за счет применения щадящих режимов сгущения и пастеризации, что позволяет сохранить нативную структуру белка.

Во-вторых, метод повышает стойкость пасты в процессе хранения благодаря увеличению осмотического давления, ингибирующему действию молочной кислоты и консервирующему эффекту поваренной соли, присутствующей в подсырной сыворотке.

В-третьих, технология упрощается за счет сокращения количества производственных этапов (отсутствие доохлаждения и выдержки), что приводит к снижению себестоимости продукта.

Применение данного метода позволяет решать проблему сезонности подсырной сыворотки, используемой, например, в качестве компонента-обогапителя в производстве кондитерских изделий, плавящихся сыров и комбикормов, благодаря увеличению срока хранения пасты.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что совокупность перечисленных признаков разработанной технологии является инновационной и позволяет существенно улучшить качество, стойкость и экономическую эффективность производства сывороточной пасты.

Список литературы

1. Бузоверов С.Ю., Сурай Н.М. Исследование влияния процесса сгущения подсырной сыворотки на выход готовой продукции // Вестник АГАУ. 2016. № 5 (139). С. 157—162.

2. Евдокимов И.А., Володин Д.Н. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Переработка молока. 2016. № 8. С. 10—13.

3. Матвеева Н.О., Новокишанова А.Л., Шохалов В.А. Исследование состава и физико-химических свойств концентрата творожной сыворотки, полученного нанофильтрацией // Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 3 (39). С. 120—128.

4. Нестеренко П.Г. Производство сгущенных концентратов на основе молочной сыворотки // Известия вузов. Пищевая технология. 1992. № 2. С. 5—10.

5. Паладий И.В., Врабие Е.Г., Спринчан К.Г., Болога М.К. Молочная сыворотка: Обзор работ. Ч. 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение; Ч. 2. Процессы и методы обработки // ЭОМ. 2021. № 1. С. 52—69; № 3. С. 83—101.

6. Патент РФ № 2063142 МПК А23С 21/00 (2006.01). Способ получения пасты из молочной сыворотки / С.М. Петров, А.Г. Шестов, К.К. Полянский, Н.М. Подгорнова; заявитель и патентообладатель С.М. Петров; заявл. № 93033122/13 от 24.06.1993; опубл. 10.07.1997.

7. Славоросова Е.В., Куленко В.Г., Шевчук В.Б., Фиалкова Е.А. Экспериментальные исследования процесса сгущения нанофильтрата молочной сыворотки с сопутствующей кристаллизацией лактозы // Молочнохозяйственный вестник. 2016. № 3 (23). С. 84—90.

8. Храмов А.Г. Инновационные разработки в использовании молочной сыворотки // Техника и технология пищевых производств. 2018. № 3. С. 5—15.

9. Храмов А.Г. Новации молочной сыворотки. СПб.: «Профессия», 2016. 490 с.

Сведения об авторах

Ключникова Дина Васильевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий и биоинженерии Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. E-mail: *klyuchnikova.dv@rea.ru*

Ключников Андрей Иванович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии виноделия, бродильных производств и химии им. Г.Г. Агабалыянца Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: *kaivanov@mail.ru*

Information about the authors

Klyuchnikova Dina Vasilyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technologies and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics. E-mail: *klyuchnikova.dv@rea.ru*

Klyuchnikov Andrey Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Winemaking, Fermentation and Chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: *kaivanov@mail.ru*