

*Е.В. Беспалова, к.т.н., А.С. Кадыгроб, Г.П. Пинчук  
Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь*

## ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД СНИЖЕНИЯ КИСЛОТНОСТИ ПАХТЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ОТ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОСЛИВОЧНОГО МАСЛА

*E. Bespalova, A. Kadyhrob, G. Pinchuk  
Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Belarus*

## ELECTROKINETIC METHOD OF REDUCING THE ACIDITY OF BUTTERMILK OBTAINED FROM THE PRODUCTION OF SOUR CREAM BUTTER

*e-mail: bespalova-kat@mail.ru*

*Проведены исследования по установлению технологических особенностей корректировки кислотности пахты, полученной от производства кисломолочного масла с помощью электрокинетических методов обработки молочного сырья с использованием анафорезной мембраны под воздействием электрического тока. Установлено, что для стабильного прохождения процесса раскисления необходимо напряжение 9,0 В и сила тока 1,5 – 1,7 А, подаваемая на установку. Данные параметры технологической обработки позволили получить пахту, соответствующую по всем показателям к пахте от производства сладкосливочного масла и пригодную для дальнейшей переработки на различные молочные продукты.*

**Ключевые слова:** пахта от производства кисломолочного масла; электрокинетика; анафорез; мембранная обработка; активная кислотность; раскисление.

*Research has been conducted to establish the technological features of adjusting the acidity of buttermilk obtained from the production of sour-cream butter using electrokinetic methods of processing milk raw materials using an anaphoretic membrane under the influence of electric current. It was found that for the stable deoxidation process to proceed, a voltage of 9.0 V and a current of 1.5–1.7 A supplied to the unit are required. These technological processing parameters made it possible to obtain buttermilk that is suitable for all parameters as buttermilk from sweet cream butter production and is suitable for further processing into various dairy products.*

**Keyword:** sour buttermilk; electrokinetics; anaphoresis; membrane processing; active acidity; deoxidation.

**Введение.** Для молочной промышленности важной задачей остается комплексная переработка всех составных частей молока. Необходимость рационального применения вторичного молочного сырья, в частности, пахты является сущностью безотходного производства, обеспечивающего конкурентоспособность предприятия [1].

Пахта в своем составе имеет большое количество полезных компонентов. Белковый комплекс пахты содержит меньше казеина, но в ней присутствуют ценные белки оболочек жировых шариков, которые включают незаменимые аминокислоты, в том числе триптофан, лизин, метионин. В пахте содержатся комплекс витаминов В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>12</sub>, С, Е и пантотеновая кислота, которые в сочетании с аминокислотами

повышают биологическую ценность белков пахты. Необходимо также отметить, что в пахте содержится относительно высокое содержание фосфолипидов, которые выполняют важную роль в нормализации жирового и холестерина обмена. Так как пахта является биологически ценным сырьем, ее широко используют в качестве питательной среды для микробного синтеза и ферментативного катализа [2].

Кислосливочное масло вырабатывают из сливок с использованием молочнокислых микроорганизмов. Целевой технологической стадией производства кислосливочного масла является биологическое созревание сливок под действием заквасочной микрофлоры. Благодаря присутствию в составе закваски ароматобразующих видов молочнокислых бактерий кислосливочное масло приобретает особый вкус и аромат, но при этом все имеющиеся в масле заквасочные микроорганизмы и образуемая в процессе жизнедеятельности молочная кислота попадает в пахту, которая в следствии имеет кислый вкус и аромат [3].

В промышленности ведется активная переработка пахты, полученной от производства сладкосливочного масла с получением кисломолочных продуктов, мягких сыров, сухой пахты и других молочных продуктов. А переработка пахты, полученной от производства кислосливочного масла затруднена, так как такой вид пахты имеет повышенную кислотность, которая приводит к излишне кислому вкусу готовых продуктов. В связи с этим производство кислосливочного масла ограничено на предприятиях молочной промышленности Республики Беларусь.

Однако при использовании нового метода снижения нежелательной кислотности в молочном сырье возможна дальнейшая переработка кислой пахты. Данный метод относится к электрокинетическим способам обработки под воздействием электрического тока и использованием анафорезной мембраны. Анафорез позволяет сохранить имеющиеся в пахте ценные микро- и макроэлементы, но с удалением необходимого количества кислот и кислых солей пропуская их отрицательно заряженные группы через толщу мембраны, тем самым снизить излишнюю кислотность сырья [4-6].

**Цель работы** – установление технологических параметров обработки пахты, полученной при производстве кислосливочного масла с помощью электрокинетического метода (анафореза) и изменений физико-химических показателей пахты после анафореза.

**Метод или методология проведения работы:** определение характеристик объектов исследований осуществлялось в лаборатории оборудования и технологий молочноконсервного производства и аккредитованной производственно-испытательной лаборатории РУП «Институт мясо-молочной промышленности». При этом использовались стандартные и специальные методы анализа.

**Объектами исследований** являлись анафорезная обработка пахты, полученной при производстве кислосливочного масла.

**Результаты и их обсуждение.** С целью установления режимов анафорезной обработки были предварительно выбраны основные характеристики процесса, такие как сила электрического тока (амперы, А) и величина удельного напряжения (вольт, В), подаваемого на установку электрокинетической обработки. Вариабельность технологических параметров позволит скорректировать активную и титруемую кислотности сырья. Оптимально подобранные показатели процесса анафореза позволят регулировать кислотности пахты, без визуального изменения продукта и с получением вкуса свойственного пахте, выработанной от производства сладкосливочного масла.

По итогам ранее проведенных исследований по обработке кислотных модельных растворов определен диапазон эффективного рабочего напряжения, который составляет 3,0 – 9,0 В, при которых и проводилась анафорезная обработка пахты, полученной при производстве кисломолочного масла. Для проведения сравнительного анализа всех исследуемых образцов фиксировали конечный результат по величине активной и титруемой кислотностей с учетом значений силы электрического тока.

Мониторинг изменения силы электрического тока необходим для предотвращения превышения максимально дозированной величины, которая коррелирует с величиной напряжения. Обработка пахты с помощью анафореза при напряжении более 9,0 В невозможна, так как идет превышение по току (более 2,5 – 3,0 А), что может привести к повреждению мембранного элемента.

Конец процесса электрокинетической обработки (анафореза) установлен по достижении активной кислотности 6,5–6,6 ед. и титруемой кислотности 18°Т, которая свойственна пахте, полученной при производстве сладкомолочного масла.

Анафорезная обработка пахты после производства кисломолочного масла проводилась при следующих показателях напряжения:

- 1 образец – анафорез пахты при напряжении 3,0 В;
- 2 образец – анафорез пахты при напряжении 6,0 В;
- 3 образец – анафорез пахты при напряжении 9,0 В.

Анализ изменения силы тока при обработке пахты, полученной при производстве кисломолочного масла показал, что при увеличении напряжения сила тока возрастает, что свидетельствует о большой силе межмолекулярных связей органических кислот, находящихся в составе пахты, то есть чем больше возрастает сила тока, тем более активно происходит процесс удаления кислот и кислых солей из сырья (рисунок 1).

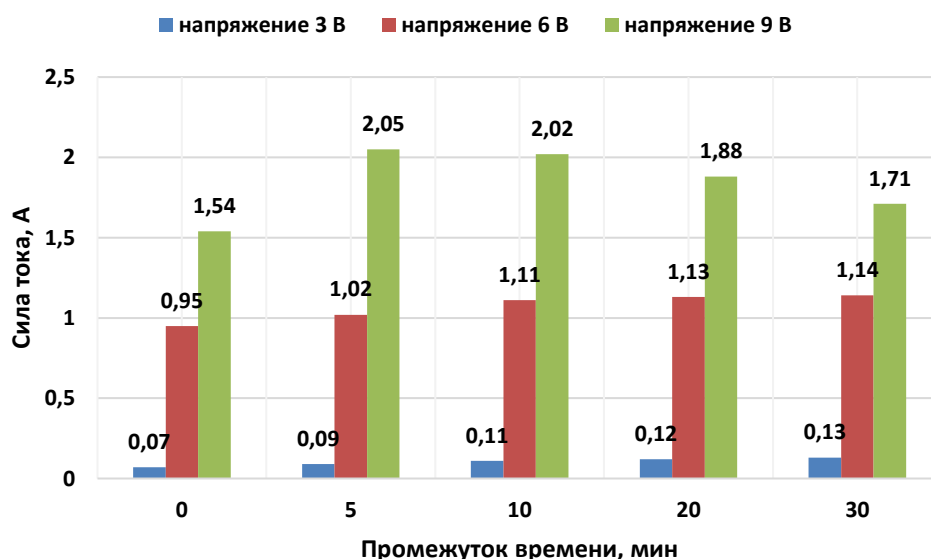


Рисунок 1 – Динамика изменения силы тока во времени при анафорезе пахты  
 Источник данных: собственная разработка.

Из рисунка 1 также видно, что при напряжении 9,0 В сила электрического тока возрастает только на первых минутах работы анафорезной обработки, далее происходит спад величины силы тока, что указывает на возрастание омического

сопротивления при условии неизменной величины напряжения выдаваемого блоком питания анафорезной установки.

Графические зависимости титруемой кислотностей образцов пахты, обработанных при напряжениях 3,0 В, 6,0 В и 9,0 В представлены на рисунке 2.

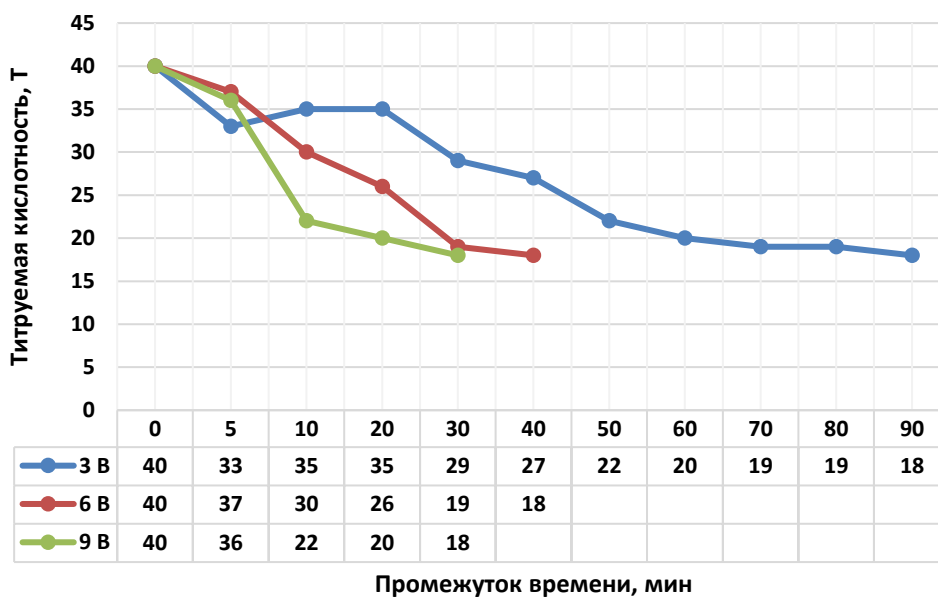


Рисунок 2 – Зависимость изменения титруемой кислотности пахты от длительности обработки  
Источник данных: собственная разработка.

Исходя из графика титруемой кислотности (рисунок 2) видно, что более интенсивное уменьшение кислотности происходит в первые 5 мин. работы анафорезной установки со скоростью  $1,4^{\circ}\text{T}/\text{мин.}$ , что может быть связано с влиянием собственной ионной емкости мембраны. В продолжении обработки скорость процесса снижается до  $2,43^{\circ}\text{T}/\text{мин.}$  Раскисление пахты достигает 45,0% (до  $22^{\circ}\text{T}$ ), относительно исходной кислотности за промежуток времени 90 мин. при напряжении 3,0 В, 40 мин. при напряжении 6,0 В и 30 мин. при напряжении 9,0 В.

Графические зависимости активной кислотностей образцов пахты, обработанных при напряжениях 3,0 В, 6,0 В и 9,0 В представлены на рисунке 3.

Проанализировав результаты анафореза пахты, полученной в результате производства кисломолочного масла, при различных напряжениях, можно сказать, что для перехода анионов оптимальным напряжением является 9 В. При данном напряжении за меньший промежуток времени (30-40 мин.) достигается требуемая активная кислотность 6,50-6,70 ед., характерная для пахты, полученной в результате производства сладкомолочного масла со скоростью 0,27-0,33 ед. рН в течение 10 мин, это же также подтверждается удельной скоростью протекания процесса анафореза при изученных напряжениях.

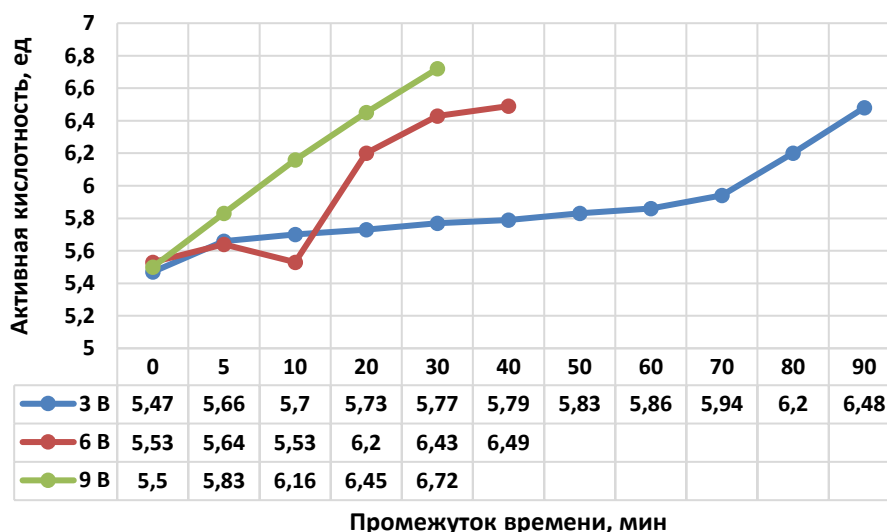


Рисунок 3 – Зависимость изменения активной кислотности пахты от длительности обработки  
 Источник данных: собственная разработка.

Анализ условной скорости протекания процесса анафореза пахты показывает, что при напряжении 9 В процесс протекает более интенсивно, со скоростью 14,25 л/мин., при напряжении 6 В – 12,90 л/мин. и при 3 В – 4,74 л/мин. Повышение напряжения способствует ускорению процесса ионообразования, что приводит к увеличению производительности электрокинетической установки. Количественный состав катионов пахты, полученной при производстве кисломолочного масла, до и после проведения процесса анафореза представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели перехода анионов в процессе анафорезной обработки пахты

Наименование образцов	Массовая доля нитратов, мг/100 г	Массовая доля фосфора, мг/100 г	Массовая доля хлора, мг/100 г
Пахта	15,83±28,5	55,7	840,0
Пахта раскисленная с применением анафорезной мембраны при напряжении 3 В	1,02±1,8	72,0	980,0
Пахта раскисленная с применением анафорезной мембраны при напряжении 9 В	отс.	63,5	880,0

Источник данных: собственная разработка.

В результате исследований установлено, что при обработке пахты, переход анионов увеличивается прямо пропорционально напряжению, т.е. при напряжении 9 В переход нитрат-ионов составляет 99,9%, хлор-ионов – 7,2%, однако переход фосфат-ионов при напряжении 9 В составил всего 7,9%, что на 17,4% меньше, по сравнению с переходом фосфат-ионов при напряжении 3 В – 25,3%. При напряжении 3 В переход нитрат-ионов составляет 93,6%, хлор-ионов – 2,9%. Общий переход анионов из пахты при 9 В составил 38,3%, при 3 В – 37,6%.

Скорость перехода нитрат-ионов самая большая, что связано со строением иона. Наименьший переход анионов через анафорезную мембрану из пахты наблюдается у хлор-ионов, это может быть связано с тем, что ионы хлора имеют

сильные молекулярные связи с составными компонентами сырья, этим и затруднена диссоциация хлорсодержащих молекул.

Увеличение массовых долей фосфат-ионов и хлор-ионов в пахте связано с уменьшением массы сырья в процессе анафореза, за счет чего растет концентрация катионов.

**Заключение.** В результате проведения процесса анафореза пахты, полученной при производстве кисломолочного масла установлено, что требуется напряжение 9,0 В и сила тока 1,5 – 1,7 А, подаваемая на установку. При указанных параметрах технологической обработки получаем пахту соответствующую установленным требованиям к пахте, полученной при производстве сладкомолочного масла и пригодную для дальнейшей переработки на различные молочные продукты.

### Список использованных источников

1. Боброва, А. В. Исследование физико-химических свойств продуктов разделения пахты яблочным пектином / А. В. Боброва, А. Л. Новокшанова, А. Д. Шибарева – Молочнохозяйственный вестник, – 2024. – №2 (54). – С. 141 – 152.
1. Bobrova, A. V. Issledovanie fiziko-himicheskikh svoystv produktov razdeleniya pahty yablochnym pektinom [Study of physicochemical properties of buttermilk separation products with apple pectin] / A. V. Bobrova, A. L. Novokshanova, A. D. Shibareva – Molochnohozyajstvennyj vestnik, – 2024. – №2 (54). – S. 141 – 152.
2. Гетманец, В. Н., Технология производства кисломолочного напитка на основе вторичного молочного сырья / В. Н. Гетманец – Сурский вестник, – 2024. – №1 (26). – С. 52 – 55.
2. Getmanec, V. N., Tekhnologiya proizvodstva kislomolochnogo napitka na osnove vtorichnogo molochnogo syr'ya [Technology of production of fermented milk drink based on secondary milk raw materials] / V. N. Getmanec – Surskij vestnik, – 2024. – №1 (26). – S. 52 – 55.
3. Павлова, Т. А. Продукты здорового питания кисломолочного профиля: масло и пред / Т. А. Павлова, Е. В. Топникова, Е. С. Данилова – Сыроделие и маслоделие, – 2020. – №2. – С. 40 – 43.
3. Pavlova, T. A. Produkty zdorovogo pitaniya kisloslivochnogo profilya: maslo i pred [Healthy food products of sour cream profile: butter and pre] / T. A. Pavlova, E. V. Topnikova, E. S. Danilova – Syrodellie i maslodellie, – 2020. – №2. – S. 40 – 43.
4. Анафорез [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kartaslov.ru/meaning-words/anaphoresis>. – Дата доступа: 19.09.2024.
4. Anaforez [Anaphoresis] [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://kartaslov.ru/meaning-words/anaphoresis>. – Data dostupa: 19.09.2024.
5. Tsermoula, P., Khakimov, B., Nielsen, J. H. and Engelsen, S. B., Whey – The waste-stream that became more valuable than the food product, Trends Food Sci. Technol., 2021, vol. 118, p. 230.
6. Дымар, О. В. Монография. Опыт научно-технологического сопровождения переработки молока и сыворотки в Республике Беларусь / О. В. Дымар, И. В. Миклух, Л. Н. Соколовская, Е. Ф. Ефимова, Е. В. Беспалова; под общ. ред. О. В. Дымара. – Минск; Колорград, 2021. – 352 с.
6. Dymar, O. V. Monografiya. Opyt nauchno-tekhnologicheskogo soprovozhdeniya pererabotki moloka i syvorotki v Respublike Belarus' [Experience of scientific and technological support for milk and whey processing in the Republic of Belarus] / O. V. Dymar, I. V. Mikluh, L. N. Sokolovskaya, E. F. Efimova, E. V. Bepalova; pod obshch. red. O. V. Dymara. – Minsk; Kolorgrad, 2021. – 352 s.