УДК 664;66.081.6

БАРОМЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. А. ТИМКИН,
кандидат технических наук, доцент, профессор,
Уральский государственный аграрный университет
(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42)

Ключевые слова: *микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация, калье, молочная сыворотка, лактоза, концентрат, пермеат, мембранные элементы.*

В статье представлены результаты исследования процессов микро-, ультра- и нанофильтрации при производстве ультрафильтрационного творога, переработке молочной сыворотки и концентрирования обезжиренного молока. Исследования проводились в лабораторных условиях Уральского ГАУ и в условиях производства на ООО «Юговской комбинат молочных продуктов», Крестьянское хозяйство Аникьева А. В. и ОАО «Полевской молочный комбинат». Установлено, что процесс ультрафильтрации целесообразно осуществлять с применением керамических мембран, которые значительно проще регенерируются, при этом срок эксплуатации керамических мембран в 3–5 раз больше по сравнению с полимерными мембранами. Определена целесообразность применения процесса микрофильтрации в производстве ультрафильтрационного творога. Показано, что при микрофильтрационной пастеризации обезжиренного молока в пермеате сохраняются все ценные компоненты. Количество пермеата составляет 92–96 %. Эффективность микробиологической очистки молока методом микрофильтрационной пастеризации составляет 99,9 %, а тепловой пастеризацией – 90,9 %. Проведены микробиологические исследования ультрафильтрационного творога на предмет установления срока его годности, в зависимости от вида исходного молока, применяемого для заквашивания калье. Установлено, что срок годности ультрафильтрационного творога, полученного из молока, обработанного методом микрофильтрационной пастеризации, практически в 3 раза превышает срок годности УФ творога, полученного из термически пастеризованного молока. Разработано оборудование для производства ультрафильтрационного творога, концентрирования молочной сыворотки и обезжиренного молока баромембранными методами. Получены результаты, которые позволяют внедрять высокотехнологичное, конкурентоспособное оборудование, как на крупных молочных предприятиях, так и на предприятиях малой мощности. При этом обеспечиваются асептические условия производства продукта, различная производительность и уровень автоматизации. Автором разработаны рекомендации по внедрению в производство технологии, использующей мембраны отечественного производства.

BAROMEMBRANE PROCESSES IN THE DAIRY INDUSTRY

V. A. TIMKIN,
candidate of technical sciences, associate professor, professor,
Ural State Agrarian University
(42 K. Liebknechta Str., 620075, Ekaterinburg)

Keywords: *microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, Calle, whey, lactose, concentrate, permeate, membrane elements.*

The article presents the results of a study of the processes of micro-, ultra- and nanofiltration of ultrafiltration in the manufacture of cheese, processing of whey concentrate and skim milk. The studies were conducted in the laboratory of the Ural State Agrarian University and in production on “Yugovskoy dairy plant”, farm of Anikev A. V. and “Polevskoy dairy plant”. It is established that the ultrafiltration process is advantageously carried out with the use of ceramic membranes, which are much easier to regenerate, while the lifetime of the ceramic membranes is 3 to 5 times more in comparison with polymeric membranes. The expedience of the application of microfiltration in the production of ultrafiltration cheese is proved. It is shown that, with pasteurization microfiltration of skim milk permeate retains all the valuable components. The amount of permeate is 92–96 %. The efficacy of microbiological purification by the method of microfiltration of milk pasteurization is 99.9 %, and the heat pasteurization – 90.9 %. Conducted microbiological studies of ultrafiltration of cottage cheese to determine validity, depending on the source of milk used for fermentation of caille. It is established that the shelf life of ultrafiltration of cottage cheese obtained from milk treated by microfiltration pasteurization, almost 3 times longer than the shelf life of UV cheese obtained from heat-pasteurized milk. Designed equipment for the production of ultrafiltration of cheese, concentration of whey and skim milk baromembrane methods. The results obtained allow us to introduce high–tech, competitive for large dairy enterprises and enterprises of small capacity. It provides aseptic conditions for the production of the product, different performance and level of automation. The author developed recommendations on introduction in manufacture of technology that uses a membrane of domestic production.

Положительная рецензия представлена Г. Б. Пищиковым, доктором технических наук, профессором Уральского государственного экономического университета.

Известно, что ультрафильтрационный творог (УФ творог) – это незаменимый продукт полноценного и здорового рациона современного человека. Этот продукт содержит бифидобактерии и незаменимые аминокислоты, легко усваивается организмом и поэтому больше всего ценен для детей, пожилых людей и спортсменов [1–3]. Так же не секрет, что проблема утилизации сыворотки является актуальной задачей для многих молочных предприятий – производителей сыра и творога [4–8]. Так как молочная сыворотка богата многими ценными компонентами, то во всем цивилизованном мире принято ее перерабатывать, организуя безотходное производство. Практика показывает, что даже такая не сложная переработка как концентрирование молочной сыворотки может привести к быстрой окупаемости вложений и получению прибыли предприятием. Сывороточный концентрат, с содержанием 15 % и более сухих растворенных веществ, может использоваться как самостоятельный продукт во многих отраслях пищевой промышленности, а также непосредственно на молокоперерабатывающем предприятии. Из него можно получить сухую сыворотку, организовав процесс сушки у себя, или отправляя концентрат на централизованную сушку. Концентрирование обезжиренного молока позволяет организовать на предприятии нормализацию молока по белку (что практически не осуществляется в настоящее время), а также производить высокобелковые молочные продукты для диетического и спортивного питания [9, 10].

Цель и методика исследований. Баромембранная технология производства УФ творога, основанная на процессе ультрафильтрации, позволяет сохранить в получаемом продукте сывороточные белки, а также примерно в 2 раза увеличить выход творога по сравнению с традиционной технологией. Для концентрирования молочной сыворотки предпочтительной является баромембранная технология [6]. Обратный осмос, нанофильтрация и ультрафильтрация позволяют получать качественный продукт. При этом, в концентрате остаются в нативном состоянии все белковые вещества, так как процесс протекает без нагрева сыворотки. Минимальны и затраты энергии по сравнению с концентрированием методом выпаривания. На рынке мембранного оборудования, на сегодняшний день, лидируют зарубежные фирмы GEA, APV, Tetra Pak, Alfa Laval. Их продукция имеет высокое качество, интересный дизайн, высокий уровень автоматизации и, как следствие, высокие цены, недоступные для молочных предприятий небольшой мощности. В связи с этим, разработка технологии для производства УФ творога, концентрирования молочной сыворотки и обезжиренного молока с применением отечественного оборудования, на наш взгляд, является актуальной задачей.

Как показывает практика, существенной проблемой при производстве УФ творога является достаточно быстрый износ мембран. Проблемой при переработке молочной сыворотки баромембранными методами, является необходимость ее тщательной подготовки перед подачей в мембранный блок. Подготовка заключается в осветлении сыворотки (отделение остатков жира и казеина) на центробежном сепараторе-сливкоотделителе или сепараторе – очистителе, пастеризации осветленной сыворотки (подавление заквасочных культур), выдержке пастеризованной сыворотки с целью осаждения фосфата кальция и других технологических операциях. Обе проблемы обусловлены конструкцией мембранных элементов рулонного или спирального типа, применяемых зарубежными и отечественными разработчиками мембранного оборудования. Эти мембранные элементы очень чувствительны к механическим включениям в перерабатываемом продукте, а также содержанию в нем жира, особенно растительного происхождения, что приводит к необходимости частой замены мембранных элементов. Занимаясь решением задачи, связанной с быстрым износом мембран, мы пришли к выводу, что процесс ультрафильтрации необходимо осуществлять с применением керамических мембран, которые значительно проще регенерируются, при этом срок эксплуатации керамических мембран в 3–5 раз больше по сравнению с полимерными мембранами.

Результаты исследований. Ниже приведены результаты исследований по производству УФ творога, концентрирования подсырной сыворотки и обезжиренного молока. Исследования проводились в лабораторных условиях Уральского ГАУ и в условиях производства на ООО «Юговской комбинат молочных продуктов» (пос. Юг Пермского края), Крестьянское хозяйство Аникьева А. В. и ОАО «Полевской молочный комбинат» (г. Полевской Свердловской области).

С целью исследования целесообразности применения процесса микрофильтрации в производстве УФ творога был проведен ряд экспериментов. Определено, что при микрофильтрационной пастеризации обезжиренного молока в пермеате сохраняются все ценные компоненты. Количество пермеата составило 92–96 %. Эффективность микробиологической очистки молока методом микрофильтрационной пастеризации составляет 99,9 %, а тепловой пастеризацией – 90,9 % (табл. 1).

Производство УФ творога осуществлялось на пилотной установке, изготовленной НПФ «Мембрана» (г. Екатеринбург) (рис. 1), которая включает в себя мембраны КУФЭ – 19 (0,01) производства НПО «Керамикфильтр» (г. Москва) (рис. 2) . Творожное калье подавалось в установку из емкости для заквашивания молока при температуре 55–60 °С. Получаемый

Таблица 1

Микробиологическая обсемененность исходного обезжиренного молока, после микрофильтрационной пастеризации и после тепловой пастеризации (средние значения)

Table 1

Microbiological bacterial content of initial skim milk, after microfiltrational pasteurization and after thermal pasteurization (average values)

Параметры *Parameters*	Исходное обезжиренное молоко	После микрофильтрационной пастеризации *After microfiltrational pasteurization*	После тепловой пастеризации *After thermal pasteurization*
КМАФАнМ, КОЕ/см^3 *QMA&OAMO, CFU/cm^3*	$2,3 \times 10^5$	$1,5 \times 10^2$	$2,1 \times 10^4$
Эффективность очистки ($Э_ф$), % *Efficiency of cleaning, %*	–	99,9	90,9

Таблица 2

Показатели исходного и конечного продуктов

Table 2

Indicators of initial and final products

Параметры *Parameters*	Калье *Caille*	Концентрат (УФ творог) *Concentrate (UV cottage cheese)*	Пермеат *Permeate*
Белок общий, % *Total protein, %*	2,5	7,5	0,0
Лактоза, % *Lactose, %*	4,8	5,2	4,5
Жир, % *Fat, %*	2,5	7,5	0,0
Минеральные вещества, % *Minerals, %*	0,5	0,5	0,5
СВ, % *Dry matter, %*	10,3	20,7	5,0
Кислотность, °Т *Acidity, °T*	75	120	50

Рис. 1. Пилотная мембранная установка
Fig. 1. Pilot membrane installation

в процессе разделения концентрат представлял собой раствор сливочной структуры, с содержанием сухих растворенных веществ около 20 %. Пермеат представлял собой прозрачный раствор со слабым по окраске желто-зеленым цветом (рис. 3).

Основным компонентом пермеата является лактоза. Показатели исходного и конечного продуктов приведены в таблице 2.

Также проведены микробиологические исследования УФ творога на предмет установления срока его годности, в зависимости от вида исходного молока, применяемого для заквашивания калье (табл. 3).

Образцы творога хранились в одинаковых условиях в холодильной камере при t = 4 ± 2 °С. Как видно из результатов исследования, срок годности УФ творога, полученного из молока, обработанного методом микрофильтрационной пастеризации, практически в 3 раза превышает срок годности УФ творога, полученного из термически пастеризованного молока.

Концентрирование подсырной сыворотки осуществлялось на пилотной установке, изготовленной НПФ «Мембрана» (г. Екатеринбург). Установка состоит из ультрафильтрационного и нанофильтрационного модулей. В ультрафильтрационном модуле применялись мембраны КУФЭ – 19 (0,02) НПО Керамикфильтр (Россия, Москва). В нанофильтраци-

Таблица 3
Срок годности образцов УФ творога
Table 3
Shelf life of UV cottage cheese samples

Срок хранения образцов, сут. *Storage time, days*	Показатель КМАФАнМ, КОЕ/см³ *QMA&OAMO, CFU/cm³*	
	После микрофильтрационной пастеризации *After microfiltrational pasteurization*	После тепловой пастеризации *After thermal pasteurization*
1	$4{,}0 \times 10^2$	$1{,}1 \times 10^3$
3	$5{,}1 \times 10^2$	$1{,}9 \times 10^3$
5	$8{,}5 \times 10^2$	$3{,}5 \times 10^3$
7	$1{,}0 \times 10^3$	$\geq 5{,}0 \times 10^3$
9	$1{,}5 \times 10^3$	–
11	$2{,}0 \times 10^3$	–
13	$2{,}5 \times 10^3$	–
15	$3{,}1 \times 10^3$	–
17	$3{,}7 \times 10^3$	–
19	$4{,}4 \times 10^3$	–
21	$\geq 5{,}0 \times 10^3$	–

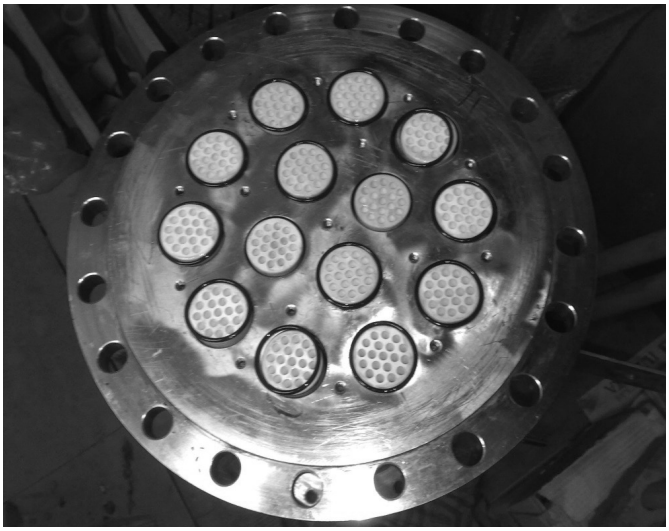

Рис. 2. Мембранный аппарат
Fig. 2. Membrane apparatus

онном модуле применялись мембраны НПО «Владипор» (Россия, г. Владимир). Сыворотка по своим характеристикам соответствовала ГОСТ Р 53438–2009.

Ультрафильтрационный модуль предназначен для разделения сыворотки путем ультрафильтрации на белковый концентрат (альбумин) и пермеат (лактозно-солевой водный раствор). Сыворотка подавалась в ультрафильтрационный модуль из сыроизготовителя без какой либо подготовки. Получаемый в процессе разделения концентрат представлял собой раствор сливочной структуры, с содержанием сухих растворенных веществ около 13 %. Пермеат представлял собой прозрачный раствор со слабым по окраске желто-зеленым цветом. Основным компонентом пермеата является лактоза (рис. 4). Показатели исходного и конечного продуктов после модуля ультрафильтрации приведены в табл. 4.

Рис. 3. УФ творог (слева) и пермеат
Fig. 3. UV cottage cheese (left) and permeate

Таблица 4

Показатели исходного и конечного продуктов после модуля ультрафильтрации

Table 4

Indicators of initial and final products after the ultrafiltration module

Параметры *Parameters*	Сыворотка *Whey*	Концентрат *Concentrate*	Пермеат *Permeate*
Белок общий, % *Total protein, %*	0,71	6,82	0,01
Лактоза, % *Lactose, %*	4,93	4,92	4,95
Жир, % *Fat, %*	0,12	1,04	0,00
Минеральные вещества, % *Minerals. %*	0,61	0,67	0,61
СВ, % *Dry matter, %*	6,37	13,45	5,57

Таблица 5

Показатели исходного и конечного продуктов после модуля нанофильтрации

Table 5

Indicators of initial and final products after the nanofiltration module

Параметры *Parameters*	Лактозно-солевой раствор *Lactose and salt solution*	Концентрат *Concentrate*	Пермеат *Permeate*
Белок общий, % *Total protein, %*	0,01	0,04	0,00
Лактоза, % *Lactose, %*	4,95	19,75	0,10
Жир, % *Fat, %*	0,00	0,00	0,00
Минеральные вещества, % *Minerals. %*	0,61	0,67	0,55
СВ, % *Dry matter, %*	5,57	20,46	0,66

Рис. 4. Молочная сыворотка (справа) и продукты ее переработки
Fig. 4. Milk whey (right) and the products of its processing

Нанофильтрационный модуль предназначен для разделения лактозно-солевого водного раствора на концентрат лактозы и пермеат. Раствор подавался в нанофильтрационный модуль без какой либо подготовки. Получаемый в процессе разделения концентрат представлял собой прозрачный раствор с интенсивным по окраске желто-зеленым цветом, с содержанием сухих растворенных веществ более 20 %. Пермеат, представлял собой практически чистую воду, с небольшим количеством солей. Показатели исходного и конечного продуктов после модуля нанофильтрации приведены в табл. 5.

Концентрат из обоих модулей смешивался в смесителе, в результате получился продукт, имеющий

Рис. 5. Концентрированное обезжиренное молоко (справа) и пермеат
Fig. 5. Concentrated skim milk (right) and permeate

Таблица 6
Показатели конечного продукта
Table 6
Parameters of final product

Параметры *Parameters*	Продукт *Product*
Белок общий, % *Total protein, %*	2,15
Лактоза, % *Lactose, %*	14,95
Жир, % *Fat, %*	0,20
Минеральные вещества, % *Minerals, %*	0,67
СВ, % *Dry matter, %*	17,97
Кислотность, °Т *Acidity, °T*	19,5

Таблица 7
Показатели исходного и конечного продуктов
Table 7
Parameters of the initial and final product

Параметры *Parameters*	Обезжиренное молоко *Skim milk*	Концентрат *Concentrate*	Пермеат *Permeate*
Белок общий, % *Total protein, %*	3,16	10,71	0,0
Лактоза, % *Lactose, %*	4,6	4,6	4,6
Жир, % *Fat, %*	0,05	0,17	0,0
Минеральные вещества, % *Minerals, %*	0,8	0,8	0,8
СВ, % *Dry matter, %*	8,61	16,28	5,4
Кислотность, °Т *Acidity, °T*	17,5	20,5	16,0

сливочную структуру, содержание сухих веществ более 17 %, в том числе около 2 % белка (табл. 6).

Производство концентрированного обезжиренного молока осуществлялось на пилотной установке (рис.1), которая включает в себя мембраны КУФЭ – 19 (0,01) производства НПО «Керамикфильтр» (г. Москва). Молоко подавалось в установку при температуре 35–40 °С. Получаемый в процессе разделения концентрат представлял собой раствор сливочной структуры, с содержанием сухих растворенных веществ около 16 %. Пермеат представлял собой прозрачный раствор со слабым по окраске желтым цветом (рис. 5). Основным компонентом пермеата является лактоза. Показатели исходного и конечного продуктов приведены в таблице 7.

Выводы. Таким образом, проведенные исследования дали возможность разработать технологию и оборудование для производства УФ творога, а также концентрирования молочной сыворотки и обезжиренного молока баромембранными методами. Полученные результаты позволяют, на наш взгляд, внедрять высокотехнологичное, конкурентоспособное оборудование как на крупных молочных предприятиях, так и на предприятиях небольшой мощности. ООО НПФ «Мембрана» предлагает линии по производству творога, а также установки для концентрирования молочной сыворотки и молока, при этом обеспечиваются асептические условия производства продукта, различная производительность и уровень автоматизации.

Литература

1. Вотинцев Ю. П., Гаврилова Н. Б., Чернопольская Н. Л. Ультрафильтрация в производстве функционального творожного продукта // Переработка молока. 2014. № 7. С. 28–29.

2. Тимкин В. А., Горбунова Ю. А. Исследование процессов микро- и ультрафильтрации в производстве творога // Пища. Экология. Качество : мат. XIII междунар. науч.-практ. конф.. 2016.
3. Пищиков Г. Б., Тимкин В. А., Горбунова Ю. А. Разработка баромембранной технологии производства УФ биотворога // Аграрный вестник Урала. 2015. № 5. С. 47–49.
4. Лазарев В. А., Тимкин В. А. Разработка ресурсосберегающей технологии переработки молочной сыворотки // Пища. Экология. Качество : мат. XIII междунар. науч.-практ. конф. 2016.
5. Лазарев В. А., Тимкин В. А., Пищиков Г. Б., Мазина О. А. Концентрирование аминокислот молочной сыворотки баромембранными методами // Аграрный вестник Урала. 2016. № 1. С. 33–36.
6. Тимкин В. А., Гальчак И. П., Лазарев В. А., Минухин Л. А. Разработка баромембранной технологии переработки молочной сыворотки // Аграрный вестник Урала. 2013. № 7. С. 35–37.
7. Храмцов А. Г., Нестеренко П. Г. Безотходная переработка молочного сырья. М. : КолосС, 2008. 279 с.
8. Тимкин В. А., Лазарев В. А. Производство концентрата молочной сыворотки баромембранными методами // Переработка молока. 2014. № 5. С. 32–34.
9. Тимкин В. А. Исследование процесса ультрафильтрации в производстве концентрата сывороточных белков // Пища. Экология. Качество : мат. XIII междунар. науч.-практ. конф. 2016.
10. Горбунова Ю. А., Тимкин В. А. Гидродинамика процессов микро- и ультрафильтрационного разделения молока и творожного калье // Аграрный вестник Урала. 2016. № 6. С. 70–75.

References

1. Votintsev Yu. P., Gavrilova N. B., Chernopolskaya N. L. Ultrafiltration in production of a functional cottage cheese product // Milk Processing. 2014. № 7. P. 28–29.
2. Timkin V. A., Gorbunova Yu. A. The study of processes micro and ultrafiltrations in production of cottage cheese // Food. Ecology. Quality : proc. of XIII intern. scient. and pract. symp. 2016.
3. Pishchikov G. B., Timkin V. A., Gorbunova Yu. A. Development of the baromembrane production technology of UV biocottage cheese // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. № 5. P. 47–49.
4. Lazarev V. A., Timkin V. A. Development of resource-saving technology of processing of whey // Food. Ecology. Quality : proc. of XIII intern. scient. and pract. symp. 2016.
5. Lazarev V. A., Timkin V. A., Pishchikov G. B., Mazina O. A. Concoction of amino acids of whey by baromembranny methods // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 1. P. 33–36.
6. Timkin V. A., Galchak I. P., Lazarev V. A., Minukhin L. A. Development of baromembrane technology of whey processing // Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. № 7. P. 35–37.
7. Khramtsov A. G., Nesterenko P. G. Waste-free processing of dairy raw materials. M.: Colossus, 2008. 279 p.
8. Timkin V. A., Lazarev V. A. Production of a whey concentrate by baromembrane methods // milk Processing. 2014. № 5. P. 32–34.
9. Timkin V. A. A research of process of ultrafiltration in production of a concentrate of serumal proteins // Food. Ecology. Quality : proc. of XIII intern. scient. and pract. symp. 2016.
10. Gorbunova Yu. A., Timkin V. A. Hydrodynamics of processes of micro and ultrafiltrational division of milk and cottage cheese and caille // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 6. P. 70–75.