УДК 637.146.4:542.816

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕМБРАННОГО АППАРАТА ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ

А.Е. Стефанкин

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

e-mail: stefankin91@mail.ru

Дата поступления в редакцию: 05.07.2016
Дата принятия в печать: 25.08.2016

Разработка оборудования для производства продуктов питания, содержащих комплекс необходимых для жизнедеятельности организма компонентов (в частности, аминокислот), является достаточно актуальной задачей. Ряд незаменимых аминокислот содержится в молочных и сывороточных белках, которые, находясь в растворенном состоянии, легко усваиваются организмом. Поскольку белковые вещества термолабильны, для их концентрирования в настоящее время успешно применяется мембранная технология. Концентрирование смесей мембранными методами производится без фазовых превращений и обычно при температуре окружающей среды. Молочный белок в процессе концентрирования продукта не претерпевает изменений и сохраняет натуральную форму и, соответственно, полезные свойства, чего нельзя отнести к белковым концентратам, полученным стандартными методами. В ряде случаев мембранные методы оказываются не только более экономичными и менее энергоемкими по сравнению с другими методами, но часто позволяют полнее использовать сырье и энергию, т.е. существует возможность переработки вторичного сырья и отходов. Автором разработана конструкция мембранного аппарата, включающая вставку, на боковой поверхности которой расположены отверстия, в котором снижение толщины слоя задерживаемых веществ на мембране осуществляется гидродинамическим способом. Экспериментальные исследования мембранного аппарата при концентрировании молочной (творожной) сыворотки показали, что конструкция является работоспособной. Полученные регрессионные модели позволили определить рациональные значения конструктивных (L = 2 мм, N = 13 рядов, D = 1 мм) и технологических (T = 60 ºC, P = 0,18 МПа) параметров, при которых достигается максимально возможная производительность, равная $8{,}8 \cdot 10^{-6}$ м^3/(м^2·с). В результате сравнительных экспериментальных исследований новой конструкции мембранного аппарата и прототипа установлено, что использование вставки в составе мембранного аппарата позволяет повысить его производительность по фильтрату в 1,4 раза.

Мембранный аппарат, концентрирование, молочная (творожная) сыворотка, технологические параметры, конструктивные параметры, регрессионный анализ

Введение

С позиции современных воззрений на безотходную переработку молочная сыворотка является полноценным молочным сырьем, которое можно поставить в один ряд с обезжиренным молоком, а в некоторых случаях – и с молоком. Столь стремительное восхождение сыворотки по шкале производственной значимости кроется в экологических проблемах сохранения окружающей среды, экономических аспектах дефицита молочного сырья и в создании нового направления – функционального (здорового) питания. Главенствующую роль при этом сыграли научные исследования в области глубокой переработки сыворотки [6, 7] и динамично развивающиеся мембранные методы фракционирования и концентрирования молочного сырья. Благодаря научным исследованиям и инновационным техническим разработкам нового поколения появилась возможность экономически рентабельной переработки молочной сыворотки с созданием промышленных технологий.

Сейчас аппаратурное оформление мембранных процессов характеризуется большим разнообразием [8, 9, 10]. Однако повышение производительности мембранного оборудования остается актуальной научной задачей.

Целью данной статьи является описание конструкции мембранного аппарата, а также экспериментальные исследования аппарата, позволяющие определить его работоспособность, выявить рациональные значения технологических режимов его работы и провести сравнительный анализ с существующим мембранным оборудованием.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является мембранный аппарат для переработки жидких пищевых сред (рис. 1), новизна которого защищена положительным решением о выдаче патента РФ на полезную модель [4]. Прототипом послужил классический мембранный аппарат [2, 3], который был реализован на базе исследовательской лаборатории ФГБОУ ВО «КемТИПП» для исследования процесса концентрирования жидких пищевых сред. Прототип содержит корпус 1, выполненный в виде цилиндра. С одной стороны корпуса располагается патрубок 2 для подачи исходного потока среды, с другой – патрубок 3 для отвода конечного продукта в виде концентрата,

а также патрубок 4 для отвода фильтрата. Внутри корпуса располагается коаксиально полупроницаемая мембрана 5. Прототип характеризуется низкой производительностью по фильтрату, что обусловлено накоплением слоя задерживаемых веществ на поверхности мембраны. Новая конструкция мембранного аппарата отличается от прототипа тем, что в мембране располагается вставка 6. На боковой поверхности вставки расположены отверстия 7, равноудаленные друг от друга, для выхода исходного раствора в мембранный канал. Каждое отверстие создает направленный поток и увеличивает турбулизацию внутри мембранного канала, что способствует уменьшению слоя задерживаемых веществ на поверхности мембраны и интенсифицирует мембранный процесс.

Основными конструктивными параметрами являются диаметр отверстий перфорированной вставки (D, мм), расстояние между отверстиями (L, мм), количество рядов отверстий (N). К основным технологическим параметрам процесса концентрирования относят температуру перерабатываемой среды (T, ºC), давление во внутреннем канале мембраны (P, МПа).

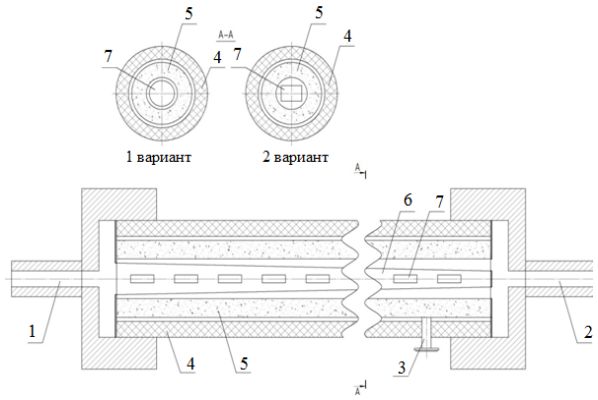

Рис. 1. Мембранный аппарат:
1 – ввод исходной среды; 2 – вывод концентрата продукта; 3 – вывод фильтрата; 4 – корпус; 5 – фильтрующий элемент (мембрана); 6 – перфорированная коническая вставка; 7 – отверстия

В качестве перерабатываемой среды выбрана молочная (творожная) сыворотка с концентрацией задерживаемых веществ C = 6 % масс.

Результаты и их обсуждение

На начальном этапе проведены исследования влияния расстояния между отверстиями перфорированной вставки (L, мм) на производительность мембраны по фильтрату (G, м^3/(м^2·с)). При этом отверстия диаметром 1 мм располагались на конической поверхности вставки в 12 рядов. Исследования проводились при температуре творожной сыворотки 20 ºC и давлении в канале мембраны 0,15 МПа. Результаты исследований приведены на рис. 2.

При увеличении расстояния между отверстиями вставки наблюдается снижение производительности мембраны по фильтрату. Поскольку каждое отверстие является областью очистки мембраны от слоя отложений, то увеличение расстояния между отверстиями и, соответственно, уменьшение количества отверстий приводит к сохранению этого слоя на поверхности мембраны.

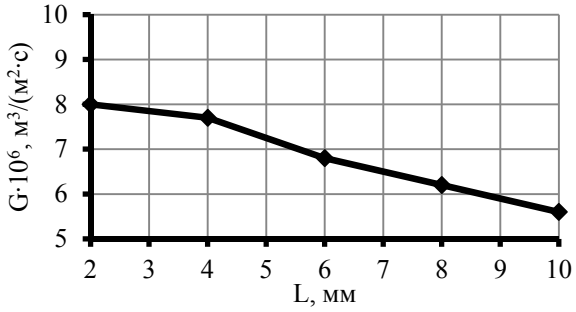

Рис. 2. Влияние расстояния между отверстиями конической перфорированной вставки (L) на производительность мембраны по фильтрату (G) при T = 20 ºC; P = 0,15 МПа

На следующем этапе проведены исследования влияния количества рядов отверстий на боковой поверхности вставки (N) на производительность мембраны по фильтрату (G, м^3/(м^2·с)). При этом отверстия диаметром 1 мм располагались на конической поверхности вставки на расстоянии 2 мм.

Исследования проводились при температуре творожной сыворотки 20 ºC и давлении в канале мембраны 0,15 МПа. Результаты исследований приведены на рис. 3.

Максимальная производительность мембраны по фильтрату наблюдается при значении N = 12. При меньшем количестве рядов отверстий на боковой поверхности вставки снижается и количество областей очистки поверхности мембраны от накопившегося слоя. Поэтому производительность падает. При количестве рядов, большем 12, падение производительности может объясняться следующим. При достаточном количестве областей очистки падает энергия отдельной струи, выходящей из отверстия, соответственно, слой задерживаемых веществ с поверхности мембраны смывается частично и препятствует образованию фильтрата.

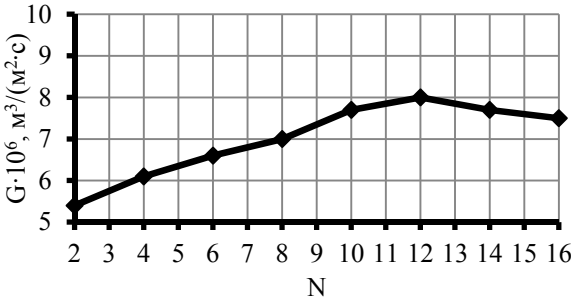

Рис. 3. Влияние количества рядов отверстий на боковой поверхности вставки (N) на производительность мембраны по фильтрату (G) при T = 20 ºC; P = 0,15 МПа

На следующем этапе проведены исследования влияния диаметра отверстий перфорированной вставки (D, мм) на производительность мембраны по фильтрату (G, м^3/(м^2·с)). При этом отверстия рас-

полагались на конической поверхности вставки в 12 рядов на расстоянии 2 мм. Исследования проводились при температуре творожной сыворотки 20 ºС и давлении в канале мембраны 0,15 МПа. Результаты исследований приведены на рис. 4.

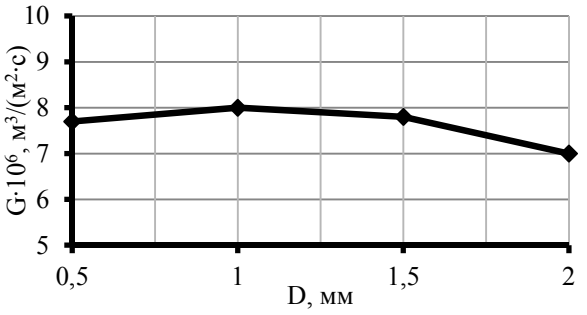

Рис. 4. Влияние диаметра отверстий (D) на производительность мембраны по фильтрату (G) при T = 20 ºС; P = 0,15 МПа

Максимальная производительность мембраны по фильтрату наблюдается при диаметре отверстий 1 мм. При меньшем диаметре производительность падает незначительно, что может быть обусловлено бóльшими значениями затрат энергии истечения жидкости из отверстия. При диаметрах отверстий, больших 1 мм, создается недостаточный напор, т.е. энергия струи падает и воздействие на слой осадка на мембране ослабляется.

Для оценки совокупного воздействия конструктивных параметров аппарата на производительность мембраны по фильтрату получено уравнение регрессии в форме полинома второго порядка:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^{k} b_j \cdot X_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u \neq j}}^{k} b_{uj} \cdot X_u \cdot X_j + \sum_{j=1}^{k} b_{jj} \cdot X_j^2 . \quad (1)$$

Таблица 1

Матрица планирования ортогонального плана второго порядка

№ опыта	Факторы			Производительность
	L, мм	N	D, мм	$G \cdot 10^6$, м³/(м²·с)
1	2	3	0,5	5,513
2	10	3	0,5	3,194
3	2	15	0,5	7,655
4	10	15	0,5	5,336
5	2	3	2	4,928
6	10	3	2	2,609
7	2	15	2	7,070
8	10	15	2	4,751
9	0,6	9	1,25	7,654
10	11,4	9	1,25	4,516
11	6	1	1,25	3,750
12	6	17	1,25	6,648
13	6	9	0,25	6,205
14	6	9	2,25	5,412
15	6	9	1,25	6,583
16	6	9	1,25	6,585
17	6	9	1,25	6,585

Для построения регрессионной модели проведен активный эксперимент на основе матрицы планирования центрального композиционного ортогонального двухуровнего трехфакторного плана (табл. 1), составленного в соответствии со стандартной методикой [1, 5]. Результаты параметрической идентификации и статистической оценки параметров уравнения регрессии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты параметрической идентификации и статистической оценки параметров уравнения регрессии

Параметр		Значение параметра
Безразмерные коэффициенты	b_0	6,584
	b_1	-1,159
	b_2	1,071
	b_3	-0,292
	b_{12}	0
	b_{13}	0
	b_{23}	0
	b_{11}	-0,272
	b_{22}	-0,756
	b_{33}	-0,423
Дисперсия воспроизводимости	$S^2_{восп}$	0,00000046
	$f_{восп}$	2
Расчетный критерий Стьюдента	t_0	39799
	t_1	5805
	t_2	5361
	t_3	1465
	t_{12}	0
	t_{13}	0
	t_{23}	0
	t_{11}	876
	t_{22}	2434
	t_{33}	1363
Критический критерий Стьюдента	$t_{кр}$	4,3
Дисперсия адекватности	$S^2_{ад}$	0,00000012
	$f_{ад}$	10
Критерий Фишера	$F_{расч}$	4,04
	$F_{кр}$	4,1

Статистически установлено, что коэффициенты уравнения b_{12}, b_{13}, b_{23} являются незначимыми, поэтому исключаются. Регрессионная модель адекватна экспериментальным данным, что подтверждается оценкой по критерию Фишера ($F_{крит}$ = 4,3; $F_{расч}$ = 4,04; $F_{крит} > F_{расч}$). Уравнение регрессии в натуральном масштабе имеет вид:

$$G \cdot 10^6 = 3{,}715 - 0{,}086 \cdot L + 0{,}557 \cdot N + 1{,}492 \cdot D - \\ -0{,}0017 \cdot L^2 - 0{,}0021 \cdot N^2 - 0{,}7531 \cdot D^2. \quad (2)$$

Анализ регрессионной модели (2) в диапазоне варьирования параметров L ∈ [2; 10], N ∈ [2; 16] и D ∈ [0,5; 2] показал, что рациональными значениями являются L = 2 мм, N = 13 рядов, D = 1 мм, при это наблюдается максимальная производительность аппарата, составляющая $7{,}9 \cdot 10^{-6}$ м³/(м²·с).

На следующем этапе проведены исследования влияния температуры концентрируемой молочной (творожной) сыворотки (T, °C) на производительность мембраны по фильтрату (G, м³/(м²·с)). При

этом использовались рациональные значения конструктивных параметров L = 2 мм, N = 13 рядов, D = 1 мм. Результаты экспериментального исследования представлены на рис. 5.

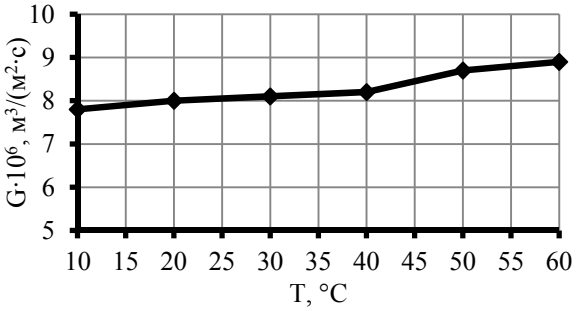

Рис. 5. Влияние температуры перерабатываемой сыворотки (T) на производительность мембраны по фильтрату (G) при P = 0,15 МПа

При увеличении температуры концентрируемой молочной (творожной) сыворотки производительность мембраны по фильтрату возрастает. Это связано с уменьшением вязкости сыворотки и, соответственно, со снижением плотности слоя задерживаемых веществ на мембране, т.е. сопротивление слоя с увеличением температуры падает. При температуре выше 60 °С происходит денатурация сывороточных белков. Поэтому исследования при данных температурах не проводились.

В качестве рационального значения температуры следует выбрать T = 20 °С, поскольку данная температура не требует дополнительных энергозатрат на охлаждение или нагревание сыворотки, так как совпадает с температурой производственных помещений.

На следующем этапе проведены исследования влияния давления в канале мембраны (P, МПа) на производительность мембраны по фильтрату (G, $м^3/(м^2 \cdot с)$). При этом также использовались рациональные значения конструктивных параметров L = 2 мм, N = 13 рядов, D = 1 мм. Результаты экспериментального исследования представлены на рис. 6.

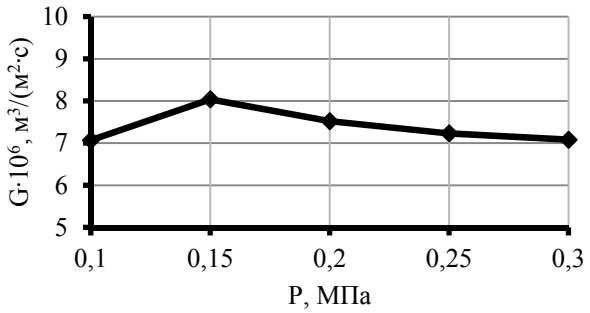

Рис. 6. Влияние давления в канале мембраны (P) на производительность мембраны по фильтрату (G) при T = 20 ºС

Максимальная производительность наблюдается при P = 0,15 МПа. При меньших значениях создается меньшая движущая сила процесса (разность давлений внутри и снаружи мембраны), поэтому скорость образования фильтрата невелика. При больших значениях слой задерживаемых веществ на мембране уплотняется, что создает препятствие образованию фильтрата. Поэтому производительность процесса падает.

Для оценки совокупного воздействия технологических параметров процесса концентрирования на производительность мембраны по фильтрату получено уравнение регрессии в форме полинома второго порядка (1).

Для построения регрессионной модели проведен активный эксперимент на основе матрицы планирования центрального композиционного ортогонального двухуровнего двухфакторного плана (табл. 3), составленного в соответствии со стандартной методикой [1]. Результаты параметрической идентификации и статистической оценки параметров уравнения регрессии приведены в табл. 4.

Таблица 3

Матрица планирования ортогонального плана второго порядка

№ опыта	Факторы		Производительность
	T, °C	P, МПа	$G \cdot 10^6$, $м^3/(м^2 \cdot с)$
1	20	0,15	7,80135
2	50	0,15	8,59335
3	20	0,25	7,54045
4	50	0,25	8,33245
5	17	0,2	7,772
6	53	0,2	8,7224
7	35	0,14	8,144108
8	35	0,26	7,831028
9	35	0,2	8,294
10	35	0,2	8,2472
11	35	0,2	8,156

Таблица 4

Результаты параметрической идентификации и статистической оценки параметров уравнения регрессии

Параметр		Значение параметра
Безразмерные коэффициенты	b_0	8,23064
	b_1	0,40318
	b_2	-0,13281
	b_{12}	$4,44 \cdot 10^{-16}$
	b_{11}	0,0155
	b_{22}	-0,1817
Дисперсия воспроизводимости	$S^2_{восп}$	0,00493
	$f_{восп}$	2
Расчетный критерий Стьюдента	t_0	384,23
	t_1	14,79
	t_2	4,87
	t_{12}	$1,26 \cdot 10^{-14}$
	t_{11}	0,36
	t_{22}	4,28
Критический критерий Стьюдента	$t_{кр}$	4,3
Дисперсия адекватности	$S^2_{ад}$	0,02071
	$f_{ад}$	7
Критерий Фишера	$F_{расч}$	4,2049
	$F_{кр}$	4,7

Статистически установлено, что коэффициенты уравнения b_{12}, b_{11} являются незначимыми, поэтому исключаются. Регрессионная модель адекватна экспериментальным данным, что подтверждается оценкой по критерию Фишера ($F_{крит}$ = 4,7; $F_{расч}$ = 4,2049; $F_{крит} > F_{расч}$).

Уравнение регрессии в натуральном масштабе имеет вид:

$$G \cdot 10^6 = 4{,}7114 + 0{,}0268 \cdot T - \\ -75{,}32 \cdot P^2 + 27{,}472 \cdot P\,. \qquad (3)$$

Анализ регрессионной модели (3) в диапазоне варьирования параметров T ∈ [20; 60] и P ∈ [0,1; 0,3] показал, что рациональными значениями являются T = 60 ºС, P = 0,18 МПа, при этом наблюдается максимальная производительность аппарата, составляющая $8{,}8 \cdot 10^{-6}$ м^3/(м^2·с).

Экспериментально установлена максимально возможная производительность прототипа при концентрировании молочной (творожной) сыворотки, которая составляет в среднем $5{,}6 \cdot 10^{-6}$ м^3/(м^2·с).

На рис. 7 приведены экспериментальные кривые производительности по фильтрату новой конструкции мембранного аппарата и прототипа при рациональных значениях конструктивных и технологических параметров, наглядно подтверждающие преимущество разработанной конструкции.

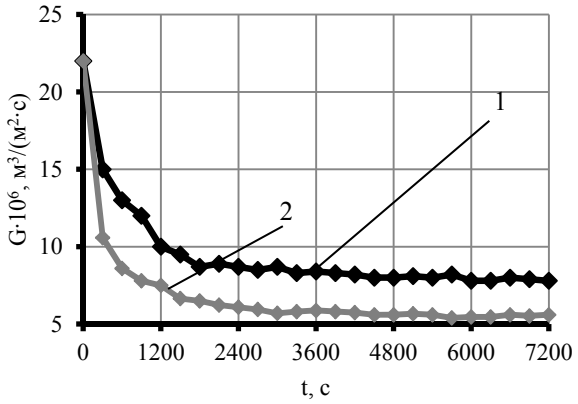

Рис. 7. Производительность разработанной конструкции (1) и прототипа (2) при переработке молочной (творожной) сыворотки при L = 2 мм, N = 13 рядов, D = 1 мм, T = 20 ºС, P = 0,18 МПа

Таким образом, использование перфорированной вставки в составе мембранного аппарата позволило повысить его производительность в 1,4 раза. Это можно объяснить тем, что направленный поток раствора, проходящий через отверстия вставки, увеличивает турбулизацию внутри мембранного канала, что способствует снижению толщины слоя осадка, образованию фильтрата и интенсификации мембранного процесса.

Список литературы

1. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.

2. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2 ч. Ч. 2: Массообменные процессы и аппараты / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1995. – 368 с.

3.Котляров, Р.В. Моделирование процесса мембранного концентрирования молочных сред и разработка аппаратурных схем установок: дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Котляров Роман Витальевич. – Кемерово, 2009. – 161 с.

4. Патент РФ на полезную модель № 152198, МПК B01D 63/06 от 21.01.2014. Аппарат для мембранной фильтрации / А.Е. Стефанкин, Р.В. Котляров; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». – заявл. 24.01.2014. – М.: Роспатент, 2014.

5.Хачатрян, Л.Р. Исследование технологических режимов работы мембранного аппарата при концентрировании крахмального молока / Л.Р. Хачатрян, Р.В. Котляров, Б.А. Лобасенко // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 2(37). – С. 61-66.

6. Храмцов, А.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с.

7. Anil K. Pabby, Syed S.H. Rizvi, Ana Maria Sastre Requena / Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnologi-cal Applications - CRC Press, 2008. – 1184 p.

8. Hinkova, A. Potentials of separation membranes in the sugar industry / A. Hinkova, Z. Bubnik, P. Kadlec, J. Pridal // Separation and Purification Technology, 2002. – № 1 (26). – P. 101–110.

9. Nath Kaushik / Membrane Separation Processes - PHI, 2008. – 589 p.

10. Chota, Y. Advanced reverse osmosis process with automatic sponge ball cleaning for the reclamation of municipal seawage / Y. Chota, M. Kenji // Water life: Proc. Int. Congr. Desalin. and Water Re-Use K. C. Channalasappa Mem. – 1980. – V. 3. – P. 391–398.

RESEARCH ON CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MEMBRANE APPARATUS FOR COTTAGE CHEESE WHEY CONCENTRATION

A.E. Stefankin

Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

e-mail: stefankin91@mail.ru

Received: 05.07.2016
Accepted: 25.08.2016

The development of equipment for food production containing a set of necessary components for the life of the body (amino acids, in particular) is quite an urgent problem. Milk and whey proteins contain a number of essential amino acids which the body easily assimilates when they are in the dissolved state. As proteins are thermolabile, membrane technology is successfully applied for their concentration now. Mixture concentration by membrane methods is performed without phase transformations and usually at ambient temperature. During concentration of a product, milk protein undergoes no changes and keeps its natural form and its useful properties, respectively. This cannot be related to the protein concentrates obtained by standard methods. Moreover, in some cases, membrane methods are not only economic and less power-intensive in comparison with other methods, but they often allow using more raw materials and energy to be used, i.e. there is a possibility of secondary raw materials and waste processing. The construction of membrane apparatus including a cylindrical element with holes on the side surface has been developed, in which the decrease of layer thickness of the detained substances on the membrane is carried out in the hydrodynamic way. Experimental studies on the membrane apparatus used for the cottage cheese whey concentration showed the efficiency of the new construction. The created regression models allowed us to define the rational values of constructive (L = 2 mm, N = 13 rows, D = 1 mm) and technological (T = 60°C, P = 0.18 MPa) parameters of the membrane apparatus, at which the greatest possible productivity ($8.8 \cdot 10^{-6}$ $m^3/(m^2 \cdot s)$) is observed. It is experimentally determined that the productivity of the developed membrane apparatus is 1.4^{th} more than that of the prototype.

Membrane apparatus, concentration, cottage cheese whey, constructive parameters, technological parameters, regression analysis

References

1. Grachev Yu.P., Plaksin Yu.M. *Matematicheskie metody planirovaniya eksperimentov* [Mathematical methods of planning of experiments]. Moscow, DeLi Print Publ., 2005. 296 p.

2. Dytnerskiy Yu.I. *Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. V 2 ch. Ch. 2. Massoobmennye protsessy i apparaty* [Processes and apparatus of chemical technology. In 2 part. Part 2. Mass transfer processes and apparatus]. Moscow, Khimiya Publ., 1995. 368 p.

3. Kotlyarov R.V. Modelirovanie protsessa membrannogo kontsentrirovaniya molochnykh sred i razrabotka apparaturnykh skhem ustanovok. Diss. kand. tekhn. nauk [Modeling of process of membrane concentration of dairy and development of apparatus schemes of equipment. Cand. eng. sci. diss.]. Kemerovo, 2009. 161 p.

4. Stefankin A.E., Kotlyarov R.V. *Apparat dlya membrannoy fil'tratsii* [The apparatus for membrane filtration]. Patent RF no. 152198, 2014.

5. Khachatryan L.R., Kotlyarov R.V., Lobasenko B.A. Issledovanie tekhnologicheskikh rezhimov raboty membrannogo apparata pri kontsentrirovanii krakhmal'nogo moloka [Research on technological modes of operatingof membrane apparatus for starch milk concentration]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2015, vol. 37, no. 2, pp. 61–66.

6. Khramtsov A.G., Nesterenko P.G. *Tekhnologiya produktov iz molochnoy syvorotki* [Technology of whey products]. Moscow, DeLi Print Publ., 2004. 587 p.

7. Anil K. Pabby, Syed S.H. Rizvi, Ana Maria Sastre Requena. *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*. CRC Press, 2008. 1184 p.

8. Hinkova A., Bubnik Z., Kadlec P., Pridal J. Potentials of separation membranes in the sugar industry. *Separation and Purification Technology*, 2002, no. 1 (26), pp. 101–110.

9. Kaushik N. *Membrane Separation Processes*. PHI, 2008. 589 p.

10. Chota Y., Kenji M. Advanced reverse osmosis process with automatic sponge ball cleaning for the reclamation of municipal seawage. *Water life: Proc. Int. Congr. Desalin. and Water Re-Use K. C. Channalasappa Mem.*, 1980, vol. 3, pp. 391–398.

Дополнительная информация / Additional Information

Стефанкин, А.Е. Исследование конструктивных и технологических параметров мембранного аппарата при концентрировании творожной сыворотки / А.Е. Стефанкин // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 42. – № 3. – С. 133–139.

Stefankin A.E. Research on constructive and technological parameters of membrane apparatus for cottage cheese whey concentration. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2016, vol. 42, no. 3, pp. 133–139. (in Russ.).

Стефанкин Антон Евгеньевич
аспирант кафедры автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47,
тел.: +7 (3842) 39-68-35

Anton E. Stefankin
Postgraduate of the Department of Production Processes Automation and Automation Systems, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-35