

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

**В. А. ТИМКИН,**

кандидат технических наук, профессор, Уральский государственный экономический университет  
(620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62; тел.: 8 (912) 240-70-50; e-mail: ural.membrana@yandex.ru),

**В. А. ЛАЗАРЕВ,**

аспирант,

**Л. А. МИНУХИН,**

доктор технических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет

(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (903) 084-83-77, 8 (902) 870-27-59; e-mail: lazarev.eka@gmail.com, minukhin@list.ru)

**Ключевые слова:** молочная сыворотка, мембранная технология, обратный осмос, осмотическое давление, керамические мембраны, полимерные мембраны.

Приводятся результаты определения осмотического давления молочной сыворотки. Рассмотрены современные задачи молочной промышленности, в частности, рассмотрена проблема утилизации молочной сыворотки, образующейся в больших объемах в процессе переработки молока при производстве творога и сыра. Показана ценность молочной сыворотки, основные способы ее переработки, их достоинства и недостатки. Рассмотрены основные баромембранные технологии как наиболее предпочтительные для переработки молочного сырья: микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос. Раскрыты основные преимущества баромембранных процессов: сохранение питательных веществ в нативном состоянии, низкие энергетические затраты, возможность разделения сложных по составу растворов. Показана актуальность задачи определения осмотического давления молочной сыворотки как критического параметра, определяющего эффективность процесса мембранного разделения сложных по составу растворов. Так как расчет движущей силы процессов обратного осмоса и нанофильтрации напрямую зависит от осмотического давления, то величина данного параметра является определяющей при разработке мембранного оборудования. Предложено авторское решение проблемы определения осмотического давления сложных по составу растворов. Показана связь осмотического давления молочной сыворотки с содержанием в ней растворенных веществ — лактозы и ионов солей. Разработана лабораторная установка для исследования процесса обратного осмоса. Обоснована необходимость предварительной подготовки молочной сыворотки на опытной установке с использованием керамических ультрафильтрационных мембранных элементов, способных эффективно выделять из исходной сыворотки белковую и жировую фракции, наличие которых в эксперименте существенно снижает проницаемость обратноосмотической мембраны за счет образования слоя геля на ее поверхности. Проведены эксперименты с творожной и подсырной сывороткой динамическим методом с использованием обратноосмотической ацетатцеллюлозной мембраны с ассиметричной структурой. Приведены показатели исходного и конечного продуктов после ультрафильтрации. На основании экспериментальных данных построена зависимость осмотического давления молочной сыворотки от концентрации сухих растворенных веществ. Приведено обсуждение полученных результатов.

## DETERMINATION OF THE OSMOTIC PRESSURE OF WHEY

**V. A. TIMKIN,**

candidate of technical sciences, professor, Ural state university of economics

(62, 8 March Str., 620144, Ekaterinburg; tel: +7 (912) 240-70-50; e-mail: ural.membrana@yandex.ru),

**V. A. LAZAREV,**

postgraduate,

**L. A. MINUKHIN,**

doctor of technical sciences, professor, Ural state agrarian university

(42 K. Libknehta Str., 620075, Ekaterinburg; tel: +7 (903) 084-83-77, +7 (902) 870-27-59; e-mail: lazarev.eka@gmail.com, minukhin@list.ru)

**Keywords:** whey, membrane technology, reverse osmosis, osmotic pressure, ceramic membrane, polymeric membrane.

The article gives a definition of the osmotic pressure of whey. It describes the current challenges of the dairy industry, in particular, the problem of whey disposal, produced in large amounts in the processing of milk in the production of curd and cheese. Whey value, the main ways of its processing, its advantages and disadvantages are shown. The main baromembrane technologies are considered as the most preferred for raw milk processing: microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis. The main advantages of the baromembrane processes are shown: retention of nutrients in the native state, low energy costs, the possibility of separating solutions with a complex composition. The urgency of the problem of determining the osmotic pressure of whey is noted as a critical parameter that determines the efficiency of the membrane separation of solutions with a complex composition. Since the calculation of the driving force of reverse osmosis and nanofiltration processes depends on the osmotic pressure, the value of this parameter is decisive in the development of a membrane equipment. The article suggests the author's solution to the problem of determining the osmotic pressure of solutions with a complex composition. The connection is shown between the osmotic pressure of whey with a content in it of dissolved substances — lactose and salt ions. A laboratory device has been developed for studying the process of reverse osmosis. The article justifies the necessity of preconditioning the whey in the pilot device using a ceramic ultrafiltration membrane elements which can effectively isolate protein and fat fractions from the initial whey, the presence of which significantly reduces the permeability of the reverse osmosis membrane by forming a gel layer on its surface. Experiments have been carried out with curd and cheese whey by a dynamic method using a reverse osmosis acetate cellulose membrane with an asymmetric structure. The characteristics of the initial and final products are given after ultrafiltration. Based on the experimental data the dependence of whey osmotic pressure on concentration of dry dissolved substances is plotted. The discussions of the results is given.

Положительная рецензия представлена Ю. С. Рыбаковым, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.



Известно, что проблема утилизации сыворотки является актуальной задачей для многих молочных предприятий — производителей сыра и творога. Так как молочная сыворотка богата многими ценными компонентами [1], то во всем цивилизованном мире принято ее перерабатывать, организуя безотходное производство. Например, сывороточный ретентат, с содержанием 20 % и более сухих растворенных веществ, может использоваться как самостоятельный продукт во многих отраслях пищевой промышленности, а также непосредственно на молокоперерабатывающем предприятии [2]. В настоящее время для концентрирования молочной сыворотки предпочтительными являются баромембранные технологии. Обратный осмос, нанофильтрация и ультрафильтрация позволяют получать качественный продукт, при этом, в ретентате остаются в нативном состоянии все белковые и витаминные вещества, так как процесс протекает без нагрева сыворотки. Пермеат, как правило, представляет собой воду или водный раствор солей [3]. При разработке промышленных баромембранных установок для концентрирования молочной сыворотки необходимо знание параметров, определяющих эффективность процесса разделения сложного по составу продукта. Так, для расчета движущей силы процессов обратного осмоса и нанофильтрации необходимо знать значение осмотического давления молочной сыворотки. Опубликованных данных по осмотическому давлению жидких пищевых продуктов мало [4], а для молочной сыворотки они практически отсутствуют.

Нами проведены эксперименты по определению осмотического давления молочной сыворотки по специально разработанной методике [4]. Эксперименты

осуществлялись на лабораторной установке (рис. 1) динамическим методом с использованием обратно-осмотической мембраны МГА-100П (ацетатцеллюлозная с асимметричной структурой) производства ЗАО НТЦ «Владипор», при температуре 20 °С. В качестве исследуемых сред использовали свежую творожную и подсырную сыворотку (табл. 1).

Так как осмотическое давление растворов зависит от концентрации низкомолекулярных веществ [5], то можно утверждать, что осмотическое давление молочной сыворотки обусловлено веществами, находящимися в ней в состоянии истинного раствора — это лактоза и ионы солей (хлориды и фосфаты натрия, калия и т. д.). В связи с этим, для успешного проведения эксперимента, осуществлялась предварительная подготовка сыворотки на опытной установке с использованием керамических ультрафильтрационных мембран КУФЭ-19 (0,02) производства ООО «НПО «Керамикфильтр».

Как отмечалось нами ранее [3], эти мембраны позволяют эффективно выделить из исходной сыворотки белковую и жировую фракции, наличие которых в эксперименте существенно снижает проницаемость обратноосмотической мембраны за счет образования слоя геля на ее поверхности.

Определение осмотического давления осуществлялось в экспериментах с пермеатом (табл. 2).

Для получения корректных результатов, при проведении экспериментов выполнялись необходимые условия [6], позволяющие организовать процесс с оптимальными режимными параметрами.

Анализируя полученные результаты (рис. 2, табл. 3) можно отметить, что осмотическое давление молочной сыворотки имеет тенденцию значительного роста

Таблица 1  
Состав молочной сыворотки (средние значения)

Параметр	Сыворотка творожная	Сыворотка подсырная
Белок общий, %	0,93	0,71
Лактоза, %	4,27	4,93
Жир, %	0,35	0,12
Минеральные вещества, %	0,65	0,61
СВ, %	6,20	6,37

Таблица 2  
Показатели исходного и конечного продуктов после ультрафильтрации

Параметр	Сыворотка творожная		Сыворотка подсырная	
	ретентат	пермеат	ретентат	пермеат
Белок общий, %	8,45	0,01	6,82	0,01
Лактоза, %	4,27	4,25	4,92	4,95
Жир, %	3,30	0,00	1,04	0,00
Минеральные вещества, %	0,70	0,65	0,67	0,61
СВ, %	16,72	4,91	13,45	5,57

Таблица 3  
Зависимость осмотического давления молочной сыворотки от концентрации сухих веществ

Концентрация молочной сыворотки, % СВ	Осмотическое давление, МПа
5,0	0,42
10,0	1,21
15,0	2,21
20,0	3,43
25,0	5,29
30,0	7,41

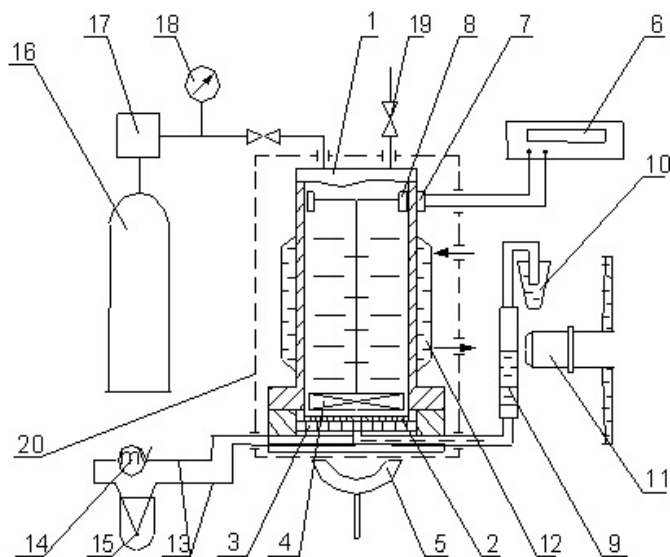


Рисунок 1

Схема лабораторной мембранной установки для исследования процесса обратного осмоса: 1 — обратноосмотическая ячейка; 2 — мембрана; 3 — подложка; 4 — перемешивающий стержень; 5 — магнитная мешалка; 6 — частотомер; 7 — индукционный датчик; 8 — магнит; 9 — стеклянная трубка; 10 — сборник пермеата; 11 — микроскоп; 12 — рубашка; 13 — термопара; 14 — милливольтметр; 15 — сосуд Дьюара; 16 — баллон; 17 — редуктор; 18 — манометр; 19 — штуцер; 20 — термостат

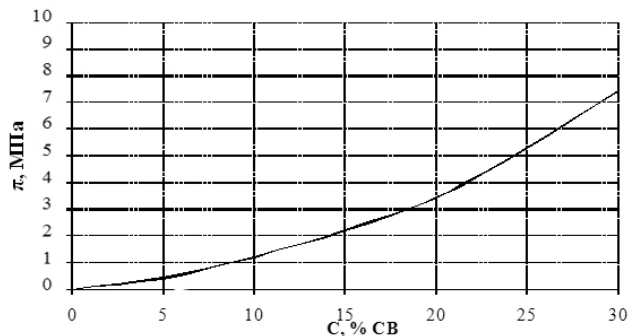


Рисунок 2

Зависимость осмотического давления молочной сыворотки от концентрации сухих растворенных веществ

при концентрации выше 20 % СВ. Этот фактор, на наш взгляд, необходимо учитывать при разработке промышленного мембранного оборудования.

Естественное отклонение состава молочной сыворотки, зависящее от многочисленных природных и производственных факторов, приводит к изменению осмотического давления на 2–5 %, что позволяет, по нашему мнению, использовать на практике полученные результаты.

#### Литература

1. Храмов А. Г., Нестеренко П. Г. Безотходная переработка молочного сырья. М. : КолосС, 2008. 200 с.
2. Тимкин В. А., Минухин Л. А., Гальчак И. П., Лазарев В. А. Разработка баромембранной технологии переработки молочной сыворотки // Аграрный вестник Урала. 2013. № 7 (113).
3. Тимкин В. А., Лазарев В. А., Минухин Л. А. Баромембранная технология молочной сыворотки как фактор продовольственной безопасности региона // Известия Уральского государственного экономического университета. 2013. № 3–4 (47–48).
4. Минухин Л. А., Тимкин В. А. Определение осмотического давления плодовоовощных соков // Хранение и переработка сельхозсырья. 1997. № 3.
5. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М. : Химия, 1978.
6. Тимкин В. А. Влияние гидродинамических условий при обратноосмотическом концентрировании плодовоовощных соков // Хранение и переработка сельхозсырья. 2000. № 6.

#### References

1. Hramtsov A. G., Nesterenko P. G. Waste-free processing of raw milk. M. : KolosS, 2008.
2. Timkin V. A., Minukhin L. A., Galchak I. P., Lazarev V. A. The development of baromembrane technology for milk whey processing // Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. № 7 (113).
3. Timkin V. A., Lazarev V. A., Minukhin L. A. Pressure-membrane whey processing technology as a factor of regional food security // News of the Ural State University of Economics. 2013. № 3–4 (47–48).
4. Minukhin L. A., Timkin V. A. Determination of the osmotic pressure of fruit and vegetable juices. // Storage and Processing of Farm Products. 1997. № 3.
5. Dytnerky Yu. I. Reverse osmosis and ultrafiltration. M. : Himiya, 1978.
6. Timkin V. A. Effect of hydrodynamic conditions in reverse osmosis concentration of fruit and vegetable juices // Storage and Processing of Farm Products. 2000. № 6.