

УДК 36.95:28.072

**В.А. Ермолаев, Н.С. Чесноков, Г.А. Масленникова, С.К. Дуйсембаева****ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС ВАКУУМНОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ  
ЖИДКИХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ**

Данная работа посвящена исследованию технологических параметров для вакуумного концентрирования жидких молочных продуктов. Отмечено, что концентрирование является перспективным способом сохранения пищевых продуктов при длительном хранении. Исследовано влияние относительной поверхности испарения на органолептические и физико-химические показатели, плотность и вязкость концентрируемых продуктов, скорость (продолжительность) концентрирования, удельные затраты теплоты, изменение температуры и относительной массы концентрируемых жидких молочных продуктов.

Вакуумное концентрирование, молоко, сыворотка, молочный гидролизат.

**Введение**

Основными и наиболее ценными компонентами молочного сырья являются белки, молочный жир, углеводы, минеральные вещества. Кроме того, в это сырье переходят витамины, ферменты, органические кислоты и другие вещества, содержащиеся в молоке [1, 2].

Белки в обезжиренном молоке, молочной сыворотке и молочных гидролизатах состоят в основном из следующих фракций: казеина, альбумина, глобулина. В молочных белках содержатся все незаменимые аминокислоты, необходимые для нормального роста и развития организма. Некоторые аминокислоты представлены в белках молочной сыворотки (альбумин и глобулин) даже в большем количестве, чем в основной фракции белков молока – казеине.

Важными особенностями обезжиренного молока являются отсутствие в нем холестерина и повышенное по сравнению с цельным молоком содержание холина и сухих веществ.

Отличительной особенностью молочных белков является то, что при их расщеплении образуются пептиды и другие компоненты, которые всасываются непосредственно в кровь. Усвояемость молочных белков человеческим организмом практически полная. Растительные белки таким свойством не обладают.

Наиболее целесообразный и перспективный вид обработки молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата – биологическая обработка. При этом возрастает биологическая и пищевая ценность получаемых продуктов. Продукты биологической обработки (молоко сгущенное, сыворотка сгущенная, гидролизат сгущенный) все шире используются при выработке хлеба и кондитерских изделий, мороженого, плавленых сыров, колбасных изделий, напитков [1]. Выработка концентратов (сухих и сгущенных) позволит получить из молочной сыворотки продукты длительного хранения, которые находят широкое применение в пищевой промышленности и производстве кормов [2].

Консервирующее действие в сгущенном молоке, молочной сыворотке, молочном гидролизате обеспечивается за счет осмотического давления и молочной кислоты. В натуральной молочной сыворотке

осмотическое давление составляет 0,74 мПа. Следовательно, для микроорганизмов, имеющих внутриклеточное давление на уровне 0,6 мПа, создаются осмотические (изотонические) условия для развития. Этим объясняется быстрая порча молочной сыворотки во время хранения. При сгущении сыворотки в 5 раз осмотическое давление повышается до 7,4 мПа, то есть в 10 раз, что создает неблагоприятные (гипертонические) условия для развития микроорганизмов [3].

Целью данной статьи является исследование влияния относительной поверхности концентрирования на качественные показатели концентрируемых продуктов, скорость (продолжительность) концентрирования, удельные затраты теплоты, изменения температуры и относительной массы концентрируемых жидких молочных продуктов от относительной поверхности испарения.

**Материалы и методы**

Объектами исследования являются молоко, молочная сыворотка, молочный гидролизат.

К технологическим параметрам вакуумного концентрирования молока, молочной сыворотки, молочных гидролизатов относится относительная поверхность испарения.

Относительная поверхность испарения  $S_{отн}$  определяется отношением площади открытой поверхности  $S$ , с которой происходит кипение, к полному объему  $V$ , в котором находится концентрируемая жидкость:

$$S_{отн} = S/V. \quad (1)$$

Рассмотрим изменение относительной поверхности испарения  $S_{отн}$  с изменением количества жидкости в емкости. Допустим,  $h_1 = h_2 = h_3$ , следовательно,  $V_1 = V_2 = V_3$ . Например, при  $d_1 = d_2 = d_3 = 20$  см и  $h_1 = 1$  см,  $h_2 = 2$  см,  $h_3 = 3$  см:

$$S_{отн1} = S/V_1 = 314/314 = 1 \text{ см}^2/\text{см}^3;$$

$$S_{отн2} = S/V_2 = 314/628 = 0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3;$$

$$S_{отн3} = S/V_3 = 314/942 = 0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3.$$

То есть при одинаковой площади испарения с увеличением объема жидкости происходит уменьшение относительной площади испарения.

Можно сделать предварительный вывод: чем меньший объем занимает жидкость и чем больше ее поверхность испарения, тем быстрее произойдет концентрирование жидкости. Однако на практике не менее важное значение, кроме скорости концентрирования, имеют качественные показатели концентрируемого продукта.

### Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведена продолжительность концентрирования жидких молочных продуктов до различной массовой доли влаги сухих веществ в зависимости от относительной поверхности испарения. Исследования проводили при температуре в вакуумной камере 70 °С и величине тепловой нагрузки 7,36 кВт/м<sup>2</sup>.

Таблица 1

Продолжительность концентрирования жидких молочных продуктов до различной массовой доли сухих веществ в зависимости от относительной поверхности испарения, минут

Относительная поверхность испарения, см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>	Продукт	Массовая доля влаги, %				
		20	30	40	50	60
1	Обезжиренное молоко	40	90	150	220	280
	Молоко 3 %	35	100	170	230	300
	Молоко 5 %	50	110	150	210	280
	Молочная сыворотка	50	100	160	240	320
	Молочный гидролизат	50	110	160	210	260
2	Обезжиренное молоко	60	120	190	260	320
	Молоко 3 %	55	130	210	270	340
	Молоко 5 %	70	120	200	260	320
	Молочная сыворотка	60	140	210	280	360
	Молочный гидролизат	60	120	180	240	310
3	Обезжиренное молоко	80	160	230	300	390
	Молоко 3 %	90	180	250	330	420
	Молоко 5 %	90	190	260	320	380
	Молочная сыворотка	70	150	240	340	450
	Молочный гидролизат	70	140	230	290	370

С уменьшением относительной поверхности испарения происходит увеличение продолжительности концентрирования до определенной массовой доли сухих веществ. Необходимо отметить, что продолжительность консервирования увеличивается у всех исследуемых продуктов (обезжиренное молоко, молоко с массовой долей жира 3 и 5 %, молочная сыворотка, молочный гидролизат).

Молоко с массовой долей жира 5 % концентрируется при относительной поверхности испарения 1 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> до массовой доли сухих веществ: 40 % за 150 минут; 50 % – 210 минут; 60 % – 280 минут; при

относительной поверхности 0,5 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>: 40 % – 200 минут; 50 % – 260 минут; 60 % – 320 минут; при относительной поверхности 0,33 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>: 40 % – 260 минут; 50 % – 320 минут; 60 % – 380 минут.

В среднем при изменении относительной поверхности испарения от 1 до 0,5 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>, от 0,5 до 0,33 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> время достижения одинаковой массовой доли сухих веществ увеличивается на 40–60 минут.

В табл. 2 приведены удельные затраты теплоты на удаление влаги при концентрировании жидких молочных продуктов при различной относительной поверхности испарения. Концентрирование обезжиренного молока, молока с массовой долей жира 3 и 5 % производили до массовой доли сухих веществ 43–48 %, молочной сыворотки – 58–60 %, молочного гидролизата – 48–52 %.

Таблица 2

Удельные затраты теплоты на удаление влаги при концентрировании жидких молочных продуктов, кВт·ч на кг удаленной влаги

Продукт	Относительная поверхность, см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>		
	1	0,5	0,33
Обезжиренное молоко	1,3	1,39	1,7
Молоко 3 %	1,3	1,4	1,9
Молоко 5 %	1,35	1,45	2,1
Молочная сыворотка	1,4	1,55	2,3
Молочный гидролизат	1,4	1,5	2,3

При уменьшении относительной поверхности испарения от 1 до 0,5 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> удельные затраты теплоты увеличиваются на 6,9–10,7 %; от 0,5 до 0,33 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> удельные затраты теплоты увеличиваются на 22,3–53,3 %.

Следовательно, при уменьшении относительной поверхности (увеличении слоя концентрируемой жидкости) происходит увеличение удельных затрат теплоты на удаление влаги при концентрировании. Особенно сильно удельные затраты теплоты увеличиваются при относительной поверхности испарения 0,33 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>, которая соответствует толщине слоя 30 мм.

При уменьшении относительной поверхности от 1 до 0,5 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> (увеличение толщины слоя концентрирования от 10 до 20 мм) удельные затраты теплоты увеличиваются на 6,9–10,7 % при увеличении продолжительности концентрирования на 14,3–23,8 %. Однако при относительной поверхности испарения 0,5 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> (толщине слоя концентрирования 20 мм) концентрируется в два раза больше жидкого молочного продукта, чем при относительной поверхности испарения 1 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> (толщине слоя 10 мм).

Таким образом, при относительной поверхности испарения 0,5 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> процесс концентрирования проводить более выгодно, чем при относительной поверхности испарения 1 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>. Увеличение удельных затрат теплоты на удаление влаги при уменьшении относительной поверхности (увеличении слоя концентрируемого продукта – массы) испарения связано с возрастанием коэффициентов рабочего времени десублиматора (холодильной машины) и вакуумных насосов. Коэффициенты рабочего

времени холодильной машины и вакуумных насосов при относительной поверхности испарения  $1 \text{ см}^2/\text{см}^3$  равны 0,55–0,7, при  $0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$  – 0,7–0,8 соответственно. Коэффициенты рабочего времени с уменьшением относительной поверхности испарения возрастают из-за увеличения количества испаренной влаги, которую необходимо удалить из камеры концентрирования.

На рис. 1, 2 и 3 представлены зависимости плотности и вязкости от массовой доли сухих веществ обезжиренного молока, молочной сыворотки и молочного гидролизата.

Плотность молочных продуктов зависит от температуры (понижается с ее повышением) и химического состава (понижается при увеличении содержания жира и повышается при увеличении количества белков, лактозы и солей). Вязкость концентрированных молочных продуктов зависит от содержания сухого вещества и белка в растворе, величины и формы молекул.

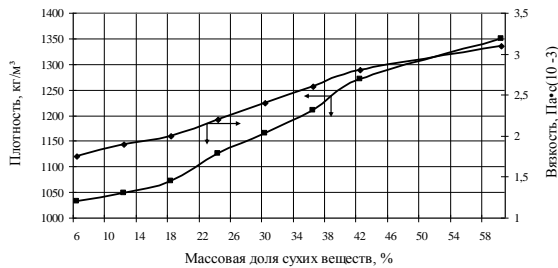


Рис. 1. Зависимости плотности и вязкости обезжиренного молока от массовой доли сухих веществ

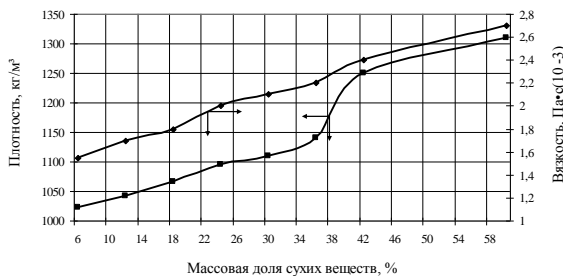


Рис. 2. Зависимости плотности и вязкости молочной сыворотки от массовой доли сухих веществ

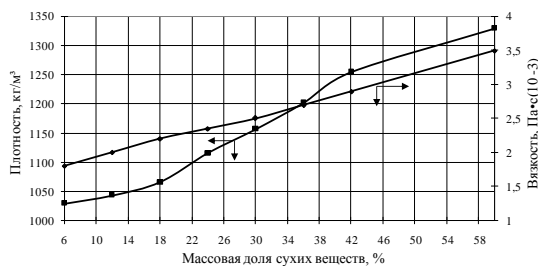


Рис. 3. Зависимости плотности и вязкости молочного гидролизата от массовой доли сухих веществ

Из графиков, представленных на рисунках 1, 2 и 3, следует, что с увеличением массовой доли сухих веществ концентрируемых продуктов происходит увеличение плотности и вязкости.

При массовой доле сухих веществ 6 % плотность и вязкость: молочной сыворотки –  $1023 \text{ кг/м}^3$  и  $1,55 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; обезжиренного молока –  $1032 \text{ кг/м}^3$  и

$1,75 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; молочного гидролизата –  $1029 \text{ кг/м}^3$  и  $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ .

При массовой доле сухих веществ 30 % плотность и вязкость: молочной сыворотки –  $1140 \text{ кг/м}^3$  и  $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; обезжиренного молока –  $1165 \text{ кг/м}^3$  и  $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; молочного гидролизата –  $1157 \text{ кг/м}^3$  и  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ .

При массовой доле сухих веществ 60 % плотность и вязкость: молочной сыворотки –  $1310 \text{ кг/м}^3$  и  $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; обезжиренного молока –  $1350 \text{ кг/м}^3$  и  $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; молочного гидролизата –  $1330 \text{ кг/м}^3$  и  $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ .

При увеличении массовой доли сухих веществ концентрируемых продуктов от 6 до 30 % плотность изменяется на  $87\text{--}133 \text{ кг/м}^3$ , вязкость – на  $0,55 \cdot 10^{-3}\text{--}0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; от 30 до 60 % плотность изменяется на  $173\text{--}200 \text{ кг/м}^3$ , вязкость – на  $0,6 \cdot 10^{-3}\text{--}1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ .

Резкий скачок вязкости на промежутке от 38 до 42 % сухих веществ при концентрировании сыворотки (см. рис. 2) вызван удалением свободно связанной влаги и, как следствие, переходом продукта из жидкого состояния в гигроскопическое.

Таким образом, при увеличении концентрации массовой доли сухих веществ от 30 до 60 % происходит более сильное увеличение плотности и вязкости, чем при концентрации массовой доли сухих веществ от 6 до 30 %.

Плотность и вязкость концентрированных продуктов от относительной поверхности испарения зависят косвенно. На плотность и вязкость концентрированных продуктов первостепенное влияние оказывает массовая доля сухих веществ. При различных относительных поверхностях (1; 0,5;  $0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3$ ) испарения можно добиться одинаковой массовой доли сухих веществ только при различной продолжительности процесса.

В табл. 3 приведена суммарная органолептическая оценка концентрированных жидких молочных продуктов в зависимости от относительной поверхности испарения.

Таблица 3

Суммарная органолептическая оценка концентрированных жидких молочных продуктов, баллов

Продукт	Относительная поверхность испарения, $\text{см}^2/\text{см}^3$		
	1	0,5	0,33
Обезжиренное молоко	39	39	38
Молоко 3 %	38	39	37
Молоко 5 %	39	39	38
Молочная сыворотка	39	38	38
Молочный гидролизат	39	39	38

Концентрированные продукты имеют достаточно высокую органолептическую оценку 37–39 баллов. Высокая органолептическая оценка объясняется тем, что концентрирование проводят при рациональных режимных параметрах (температура, тепловая нагрузка, остаточное давление, температура конденсатора).

При относительной поверхности испарения  $0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3$  наблюдается незначительное снижение органолептической оценки концентрированных продуктов (на 1–2 балла) по сравнению с относительной поверхностью испарения 1 и  $0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$ . Органолептическая оценка снижается из-за слабо-выраженного вкуса и запаха, появления небольшого осадка, изменений в цвете.

Исследования физико-химических показателей концентрированных жидких молочных продуктов позволяют сделать вывод о том, что относительная поверхность испарения не оказывает влияния на качественный и количественный состав физико-химических показателей. Физико-химические показатели в основном зависят от массовой доли сухих веществ в концентрируемом продукте, которые, в свою очередь, зависят от режимных параметров процесса и продолжительности процесса концентрирования.

На основании проведенных исследований установлено, что при уменьшении относительной поверхности испарения происходит увеличение продолжительности концентрирования.

Исследованы кривые изменения тепловой нагрузки, температуры в камере и продукте, относительной массы в зависимости от относительной поверхности испарения (1; 0,5;  $0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3$ ). При уменьшении относительной поверхности испарения от 1 до  $0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$  удельные затраты теплоты увеличиваются на 6,9–10,7 %; от 0,5 до  $0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3$  удельные затраты теплоты увеличиваются на 22,3–53,3 %. Особенно сильно удельные затраты теплоты увеличиваются при относительной поверхности испарения  $0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3$ , которая соответствует толщине слоя 30 мм. Плотность и вязкость концентрированных жидких молочных продуктов практически не зависят от относительной поверхности испарения. При относительной поверхности испарения  $0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3$  наблюдается незначительное снижение органолептической оценки концентрированных продуктов. Незначительное снижение органолептической оценки происходит из-за изменений в цвете (он становится кремовым), что вызвано денатураци-

ей сывороточных белков и карамелизацией лактозы. В целом можно сделать вывод, что относительная поверхность испарения не оказывает влияния на качественный и количественный состав физико-химических показателей.

Таким образом, на основании исследований по влиянию относительной поверхности концентрирования на органолептические и физико-химические показатели, плотность и вязкость концентрируемых продуктов, скорость (продолжительность) концентрирования, удельные затраты теплоты, изменение температуры и относительной массы концентрируемых жидких молочных продуктов в качестве рациональной относительной поверхности испарения при концентрировании обезжиренного молока, молока с массовой долей жира 3 и 5 %, молочной сыворотки, молочного гидролизата считаем  $0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$ , которая соответствует толщине слоя 20 мм.

Вследствие того что качественные показатели концентратов практически не зависят от относительной поверхности испарения, основополагающим критерием выбора рациональной поверхности испарения были удельные затраты теплоты. Как уже упоминалось выше, при уменьшении относительной поверхности от 1 до  $0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$  удельные затраты теплоты увеличиваются на 6,9–10,7 % при увеличении продолжительности концентрирования на 14,3–23,8 %. Однако при относительной поверхности испарения  $0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$  (толщине слоя концентрирования 20 мм) концентрируется в два раза больше жидкого молочного продукта, чем при относительной поверхности испарения  $1 \text{ см}^2/\text{см}^3$  (толщине слоя 10 мм). Таким образом, при относительной поверхности испарения  $0,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$  процесс концентрирования проводить более выгодно, чем при относительной поверхности испарения  $1 \text{ см}^2/\text{см}^3$ . При уменьшении относительной поверхности испарения от 0,5 до  $0,33 \text{ см}^2/\text{см}^3$  удельные затраты теплоты увеличиваются на 22,3–53,3 %, к тому же происходит снижение органолептической оценки концентрированных жидких молочных продуктов.

#### Список литературы

1. Храмцов, А.Г. Молочная сыворотка / А.Г. Храмцов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.
2. Храмцов, А.Г. К вопросу ресурсосберегающей и экологощадящей переработки молочного сырья / А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 10. – С. 12–13.
3. Храмцов, А.Г. Использование сгущенной творожной сыворотки: обзорная информация / А.Г. Храмцов, В.В. Василлина, А.С. Тихомирова, А.Н. Баха. – М.: ЦНИТЭИ, 1977. – 19 с.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

#### SUMMARY

V.A. Yermolaev, N.S. Chesnocov, G.A. Maslennicova, S.K. Duisembayeva

**The Effect of Specific Concentrating Surface Size on Vacuum Liquid Dairy Products Concentration**

The given work is devoted to the investigation of technological parameters for vacuum concentration of liquid dairy products. It is noticed that concentration is a perspective way of foodstuff preservation at long-time storage. The effect of relative evaporation surface on organoleptic, physical and chemical characteristics, density and viscosity of products being concentrated, the rate of concentration, specific heat expenses, change of temperature and relative weight of concentrated liquid dairy products has been investigated.

Vacuum concentration, milk, whey, dairy hydrolysate.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

