

**В.А. Ермолаев, И.В. Кушевский**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПРОЦЕСС ВАКУУМНОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЖИДКИХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ**

Данная работа посвящена исследованию влияния тепловой нагрузки на процесс вакуумного концентрирования жидких молочных продуктов. Отмечено, что плотность теплового потока является не менее важным параметром процесса концентрирования, чем температура и остаточное давление. Исследовано влияние величины тепловой нагрузки на органолептические, физико-химические показатели, плотность и вязкость концентрируемых продуктов, изменение температуры и плотности теплового потока, удельных затрат теплоты при концентрировании жидких молочных продуктов.

Вакуумное концентрирование, тепловая нагрузка, молоко, сыворотка, молочный гидролизат.

### **Введение**

Целью данных исследований является определение рациональной тепловой нагрузки при вакуумном концентрировании молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата.

Плотность теплового потока (тепловая нагрузка) не менее важный параметр процесса концентрирования, чем температура. Плотность теплового потока – это количество теплоты, подведенное от нагревателей к единице площади концентрируемого продукта ( $\text{кВт}/\text{м}^2$ ) [1, 2].

От величины тепловой нагрузки зависит скорость достижения температуры насыщения в вакуумной камере. При малых значениях тепловой нагрузки длительность достижения температуры насыщения молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата увеличивается, что увеличивает общую продолжительность процесса концентрирования. Относительно большие тепловые нагрузки могут привести к ухудшению качества и браку концентрированного продукта. Ухудшение качества проявляется в слабовыраженном вкусе и запахе, изменении цвета и консистенции концентрируемого продукта, на поверхности концентрируемого продукта возможно образование пленки.

Пленка снижает качественные показатели, ухудшает растворимость, замедляет процесс концентрирования. Поэтому при подборе рациональных режимов концентрирования необходимо учитывать величину тепловой нагрузки [3, 4].

Рациональную тепловую нагрузку необходимо подбирать с учетом температуры концентрирования, физико-химических и органолептических показателей концентрируемых продуктов, продолжительности и энергозатрат процесса.

### **Материалы и методы**

Теплоту в процессе концентрирования к молоку, молочной сыворотке и молочному гидролизату можно подводить двумя способами: ступенчатым и импульсным.

Ступенчатый способ подвода теплоты заключается в том, что по достижении в камере требуемой температуры концентрирования производят плавное уменьшение тепловой нагрузки от рациональной до

минимальной. Под требуемой температурой концентрирования понимается температура в вакуумной камере 60–70 °С.

Импульсный способ подвода теплоты характеризуется тем, что, после того как в камере будет достигнута требуемая температура концентрирования, производят выключение нагревателей. При этом температура в камере уменьшается на определенный дифференциал и снова происходит включение нагревателей. При включении нагревателей тепловая нагрузка равна рациональной.

### **Результаты и их обсуждение**

Результаты экспериментальных исследований доказали, что способ подвода теплоты (ступенчатый или импульсный) при одинаковой тепловой нагрузке не влияет на качественные показатели концентрированного продукта. Однако большое влияние способ подвода теплоты оказывает на кинетику и продолжительность процесса вакуумного концентрирования молока, молочной сыворотки и молочного гидролизата. В результате чего было принято решение в зависимости от способа подвода теплоты производить интенсификацию процесса концентрирования.

В данных исследованиях по подбору рациональной тепловой нагрузки для молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата использовали ступенчатый способ подвода теплоты.

Подбор тепловых нагрузок, как и рациональных температур концентрирования, осуществляли по группам продуктов: обезжиренное молоко, молоко с массовой долей жира 3 и 5 %; молочная сыворотка; молочный гидролизат.

Исследования по подбору рациональной тепловой нагрузки для молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата проводили при следующих значениях: 9,2; 8,28; 7,36; 6,44; 5,52; 4,6; 3,68; 2,76; 1,84; 0,92  $\text{кВт}/\text{м}^2$ .

Температура концентрирования в экспериментах по определению рациональной тепловой нагрузки для обезжиренного молока, молока с массовой долей жира 3 и 5 % была равна  $70 \pm 3$  °С, молочной сыворотки и молочного гидролизата –  $80 \pm 3$  °С. Остаточное давление 10–11 кПа, температура поверхно-

сти конденсатора минус 25–30 °С, концентрирование производили в емкости при количестве продукта 20–30 мм от дна емкости.

В табл. 1 приведена суммарная органолептическая оценка концентрированных жидких молочных продуктов в зависимости от величины плотности теплового потока.

Таблица 1

Суммарная органолептическая оценка концентрированных жидких молочных продуктов в зависимости от величины плотности теплового потока, баллов

Продукт	Плотность теплового потока, кВт/м <sup>2</sup>				
	9,2	7,36	5,52	3,68	1,84
Обезжиренное молоко	38	39	39	37	37
Молоко 3 %	36	39	38	37	37
Молоко 5 %	37	38	38	38	37
Молочная сыворотка	40	38	37	36	36
Молочный гидролизат	35	37	39	38	36

Концентрированное обезжиренное молоко, молоко с массовой долей жира 3 и 5 % имеют наибольшую органолептическую оценку при тепловой нагрузке 7,36 и 5,52 кВт/м<sup>2</sup>. С увеличением плотности теплового потока до 9,2 кВт/м<sup>2</sup> органолептическая оценка снижается до 36–38 баллов из-за слабовыраженного, а в некоторых случаях кислого и слабовыраженного горького вкуса и запаха, отстоя сливок, желтоватого цвета. Уменьшение тепловой нагрузки до 3,68 и 1,84 кВт/м<sup>2</sup> приводит также к снижению органолептической оценки в основном из-за слабовыраженного вкуса, отстоя сливок, изменений в цвете (он становится белым с желтоватым оттенком).

Концентрированная молочная сыворотка имеет максимальную органолептическую оценку при плотности теплового потока 9,2 кВт/м<sup>2</sup>. Увеличение плотности теплового потока более 9,2 кВт/м<sup>2</sup> приводит к покоричневению в цвете. Уменьшение тепловой нагрузки приводит к потере вкуса и запаха – он становится слабовыраженным, консистенция не однородная.

Молочный гидролизат при плотности теплового потока 5,52 кВт/м<sup>2</sup> имеет максимальную органолептическую оценку – 39 баллов. Увеличение тепловой нагрузки способствует покоричневению и изменению во вкусе и запахе, в результате чего органолептическая оценка снижается до 35–37 баллов. Уменьшение тепловой нагрузки до 3,68 и 1,84 кВт/м<sup>2</sup>, как при концентрировании молока и молочной сыворотки происходит, снижение органолептической оценки до 38–36 баллов.

Физико-химические показатели концентрированного молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата практически не зависят от величины плотности теплового потока. Данный факт доказан тем, что при консервировании жидких молочных продуктов до одинаковой массовой доли сухих ве-

ществ при различных тепловых нагрузках массовые доли белка, лактозы, жира и золы практически одинаковы.

В табл. 2 приведена продолжительность консервирования жидких молочных продуктов в зависимости от величины плотности теплового потока. Концентрирование обезжиренного молока, молока с массовой долей жира 3 и 5 % приводило до массовой доли сухих веществ 48–52 %; молочной сыворотки – 58–60 %; молочного гидролизата – 48–50 %.

Таблица 2

Продолжительность концентрирования жидких молочных продуктов в зависимости от величины плотности теплового потока, минут

Продукт	Плотность теплового потока, кВт/м <sup>2</sup>				
	9,2	7,36	5,52	3,68	1,84
Обезжиренное молоко	250	300	360	420	460
Молоко 3 %	270	320	380	450	520
Молоко 5 %	260	320	390	440	510
Молочная сыворотка	350	420	480	540	600
Молочный гидролизат	240	300	350	400	470

Из анализа данных табл. 2 следует, что с уменьшением плотности теплового потока происходит резкое увеличение продолжительности концентрирования. При уменьшении тепловой нагрузки от 9,2 до 5,52 кВт/м<sup>2</sup> продолжительность процесса увеличивается на 110–130 минут; от 5,52 до 1,84 кВт/м<sup>2</sup> – на 100–140 минут. Продолжительность концентрирования увеличивается из-за того, что при меньших тепловых нагрузках прогрев продукта менее интенсивный и для возникновения интенсивного кипения продукта требуется больший промежуток времени. Данный факт доказывается графиками изменения плотности теплового потока при его максимальных начальных значениях.

На рис. 1, 2 и 3 приведены графики изменения температуры и плотности теплового потока при концентрировании молочной сыворотки при тепловых нагрузках 9,2; 5,52 и 1,84 кВт/м<sup>2</sup>.

Чем меньше максимальное значение плотности теплового потока, тем больше продолжительность его действия. При тепловом потоке 9,2 кВт/м<sup>2</sup> время его действия составляет 70 минут; 5,52 кВт/м<sup>2</sup> – 60 минут; 1,84 кВт/м<sup>2</sup> – 140 минут. То есть чем меньше величина плотности теплового потока, тем медленнее происходит прогрев продукта. При плотности теплового потока 9,2 кВт/м<sup>2</sup> время воздействия больше, чем при 5,52 кВт/м<sup>2</sup>, так как при плотности теплового потока 9,2 кВт/м<sup>2</sup> наблюдается наиболее интенсивное испарение.

Плотность теплового потока уменьшается по достижении в камере требуемой температуры концентрирования (при концентрировании молочной сыворотки 80 °С). Уменьшение плотности теплового потока производят на такую величину, чтобы температура концентрирования на протяжении всего процесса была равна требуемой.

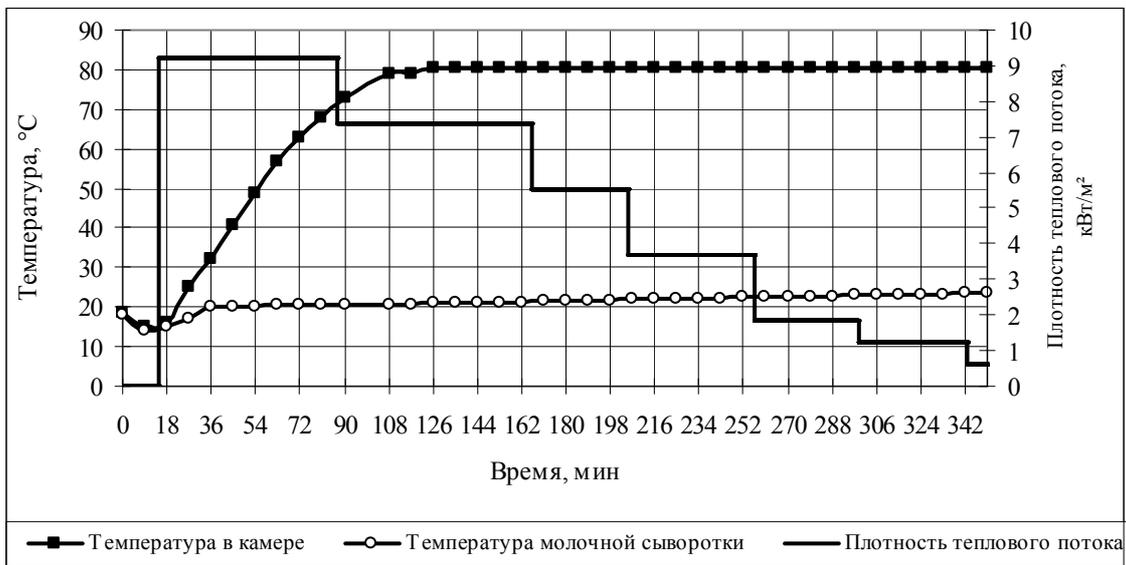


Рис. 1. Кривые вакуумного консервирования молочной сыворотки при тепловой нагрузке 9,2 кВт/м<sup>2</sup>

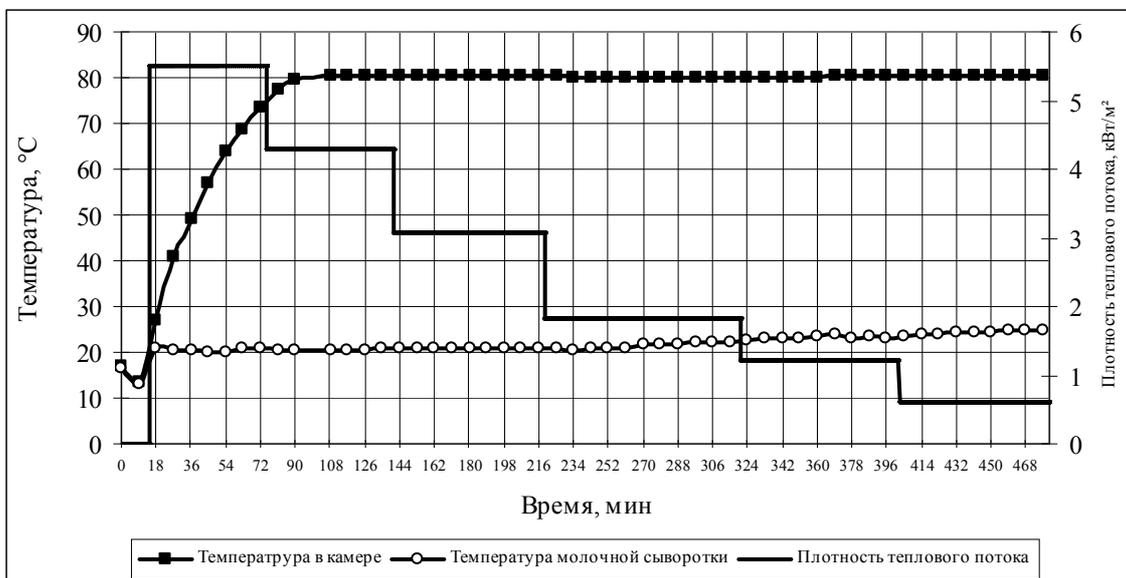


Рис. 2. Кривые вакуумного концентрирования молочной сыворотки при тепловой нагрузке 5,52 кВт/м<sup>2</sup>

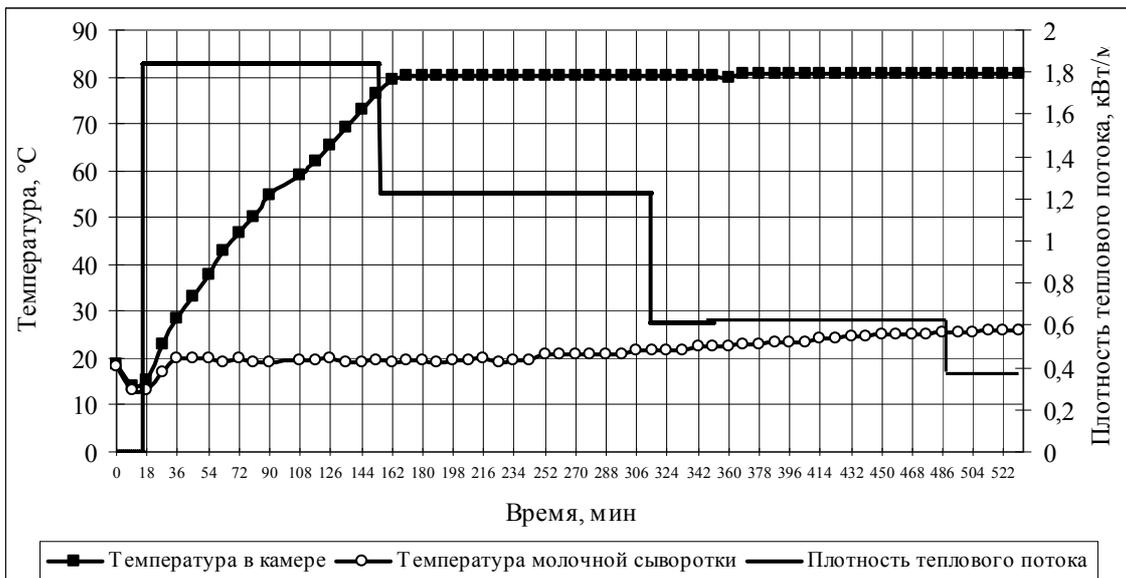


Рис. 3. Кривые вакуумного концентрирования молочной сыворотки при тепловой нагрузке 1,84 кВт/м<sup>2</sup>

Температура молочной сыворотки в процессе концентрирования находится в пределах 20–25 °С. Повышение температуры молочной сыворотки не происходило за счет интенсивного кипения при остаточном давлении 10–11 кПа.

Рациональная величина тепловой нагрузки должна обеспечивать не только высокие качественные показатели концентрированных жидких молочных продуктов, минимальную продолжительность

процесса концентрирования, но и высокую экономичность процесса. Экономичность процесса вакуумного концентрирования молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата оценивали с помощью удельных затрат теплоты на 1 кг удаленной влаги. Удельные затраты теплоты в зависимости от величины тепловой нагрузки при вакуумном концентрировании жидких молочных продуктов приведены на рис. 4.

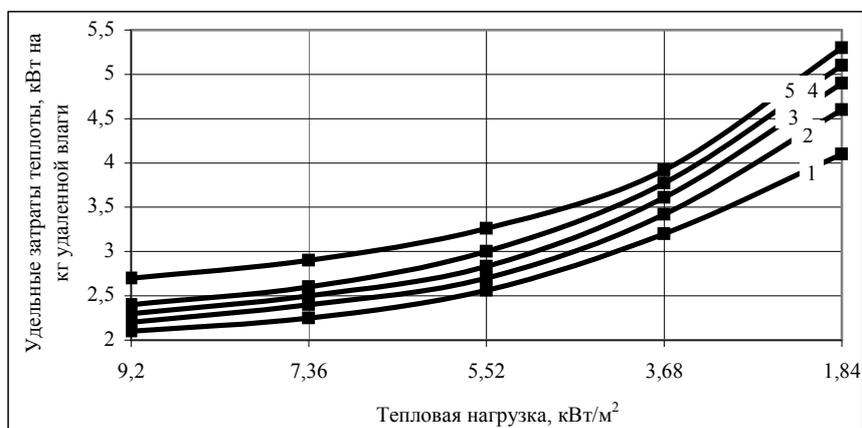


Рис. 4. Удельные затраты теплоты в зависимости от тепловой нагрузки: 1 – обезжиренное молоко; 2 – молоко 3 %; 3 – молоко 5 %; 4 – молочный гидролизат; 5 – молочная сыворотка

С уменьшением тепловой нагрузки происходит увеличение удельных затрат теплоты. Увеличение удельных затрат теплоты с уменьшением тепловой нагрузки происходит из-за увеличения продолжительности процесса концентрирования (см. табл. 2). Чтобы сконцентрировать жидкий молочный продукт до требуемой массовой доли сухих веществ при минимальных значениях тепловой нагрузки, происходит увеличение продолжительности процесса, что приводит к повышенному расходу удельных затрат теплоты.

При уменьшении тепловой нагрузки от 9,2 до 1,84 кВт/м² удельные затраты теплоты увеличиваются при концентрировании обезжиренного молока на 95,2 %, молока 3 % – 109,1 %, молока 5 % – 113,0 %, молочной сыворотки – 96,3 %, молочного гидролизата – 112,5 %; продолжительность процесса концентрирования увеличивается при концентрировании обезжиренного молока на 84 %, молока 3 % – 92,6 %, молока 5 % – 96,2 %, молочной сыворотки – 71,4 %, молочного гидролизата – 95,8 %.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено: максимальную органолептическую оценку обезжиренное молоко, молоко с массовой долей жира 3 и 5 % имеют при тепловой нагрузке 7,36 и 5,52 кВт/м²; молочная сыворотка при 9,2 кВт/м²; молочный гидролизат при 5,52 кВт/м². С уменьшением тепловой нагрузки от 9,2 до 5,52 кВт/м² продолжительность консервирования увеличивается на 110–130 минут; от 5,52 до 1,84 кВт/м² – на 100–140 минут. Тепловая нагрузка уменьшается по достижении в камере требуемой температуры концентрирования. Температура молока, молочной сыворотки, молочного гидролизата в процессе концентри-

рования при различных значениях тепловой нагрузки находится в пределах 20–25 °С.

При уменьшении тепловой нагрузки происходит увеличение удельных затрат теплоты из-за увеличения продолжительности процесса концентрирования. При максимальных значениях тепловой нагрузки продолжительность и удельные затраты теплоты минимальны, однако качественные показатели сконцентрированных молочных продуктов при этом не всегда имеют максимальную качественную оценку. Поэтому выбор рациональной тепловой нагрузки проводили с учетом органолептической оценки концентрированных жидких молочных продуктов.

Рациональными тепловыми нагрузками при вакуумном концентрировании обезжиренного молока, молока с массовой долей жира 3 и 5 % являются 7,36 кВт/м²; молочной сыворотки – 9,2 кВт/м²; молочного гидролизата – 5,52 кВт/м².

## Список литературы

1. Гинзбург, А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
2. Крашенинин, П.Ф. Сухие концентраты и гидролизаты молочных белков / П.Ф. Крашенинин, Г.Ю. Сажинов, В.И. Круглик // Молочная промышленность. – 1993. – № 3. – С. 4–5.
3. 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.
4. Храмцов, А.Г. Использование сгущенной творожной сыворотки: обзорная информация / А.Г. Храмцов, В.В. Василисина, 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, I.V. Kushevskyi**

### **The effect of heat application on vacuum concentration of liquid dairy products**

The research is devoted to the study of the effect of heat application on vacuum concentration of liquid dairy products. It has been noticed that the density of a heat flow is not a less important factor for liquid dairy products concentration than temperature and residual pressure. The effect of heat quantity on organoleptic, physico-chemical characteristics, density and viscosity of concentrated products, heat flow temperature and density change, heat specific expenses during concentration of liquid dairy products has been investigated.

Vacuum concentration, heat application, milk, whey, milk hydrolyzate.

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

