

АНАЛИЗ СТУПЕНЧАТОГО И ИМПУЛЬСНОГО СПОСОБОВ ПОДВОДА ТЕПЛОТЫ ПРИ ВАКУУМНОМ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

В статье представлены результаты исследования ступенчатого и импульсного способов подвода теплоты при вакуумном концентрировании молочных продуктов. Приведены кривые концентрирования молочной сыворотки. Описан сравнительный анализ данных методов и сделан вывод, что импульсный способ подвода теплоты можно использовать для интенсификации процесса вакуумного концентрирования.

Ключевые слова: вакуум, концентрирование, молочные продукты, импульсный, ступенчатый.

V.A. Ermolaev, D.A. Bashkov, M.A. Brukhanov

THE ANALYSIS OF THE STEP AND THE IMPULSE METHODS OF THE HEAT SUPPLY IN THE VACUUM CONCENTRATION OF THE DAIRY PRODUCTS

The results of studying the step and the impulse methods of the heat supply in the vacuum concentration of the dairy products are given in the article. The curves of the dairy whey concentration are given. The comparative analysis of these methods is given and the conclusion is made that the impulse method of the heat supply can be used to intensify the vacuum concentration process.

Key words: vacuum, concentration, dairy products, impulse, step.

Введение. Молочные продукты необходимо концентрировать при низкой температуре, так как незначительное ее повышение вызывает резкое ухудшение их технологических свойств. Сушка при низких температурах и атмосферном давлении происходит очень медленно. Поэтому с целью интенсификации процесса применяют сушку в вакууме. Уменьшение давления резко увеличивает интенсивность испарения за счет повышения коэффициента массообмена. При вакуумном способе концентрирования жидких молочных продуктов их температура не превышает температуры насыщения на протяжении всего процесса концентрирования при определенном остаточном давлении. Так как концентрирование происходит в герметически закрытом аппарате, то передача тепла конвекцией невелика, поэтому тепло к концентрируемому продукту подводится путем теплопроводности от нагретых поверхностей [2, 3]. Вопросами концентрирования молочных продуктов занимались М.С. Коваленко, С.Ф. Кивенко, В.В. Страхов, И.А. Радаева [4].

Цель исследований. Провести исследование по интенсификации процесса вакуумного концентрирования жидких молочных продуктов посредством ступенчатого и импульсного способов подвода теплоты.

Задачи исследований. Изучить ступенчатый метод подвода теплоты; исследовать импульсный метод подвода теплоты; дать сравнительный анализ данным методам.

Объекты и методы исследований. Техническими объектами исследования являются ступенчатый и импульсный способы подвода теплоты, технологическими – молочные продукты. В качестве метода был выбран сравнительный анализ.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе анализа были рассмотрены особенности ступенчатого и импульсного способов подвода теплоты. Необходимо отметить, что процесс концентрирования при ступенчатом и импульсном способе контролировался по температуре в вакуумной камере.

При сравнении ступенчатого и импульсного способа подвода теплоты (качественных показателей молока, молочной сыворотки, массовой доли сухих веществ, продолжительности процесса концентрирования, кинетики, энергозатрат) изменялся только сам способ, а режимные и технологические параметры были постоянны. Это условие являлось необходимым для получения объективных результатов при сравнении двух способов подвода теплоты. На рис. 1 представлена схема вакуум-выпарной установки, на которой проводились исследования.

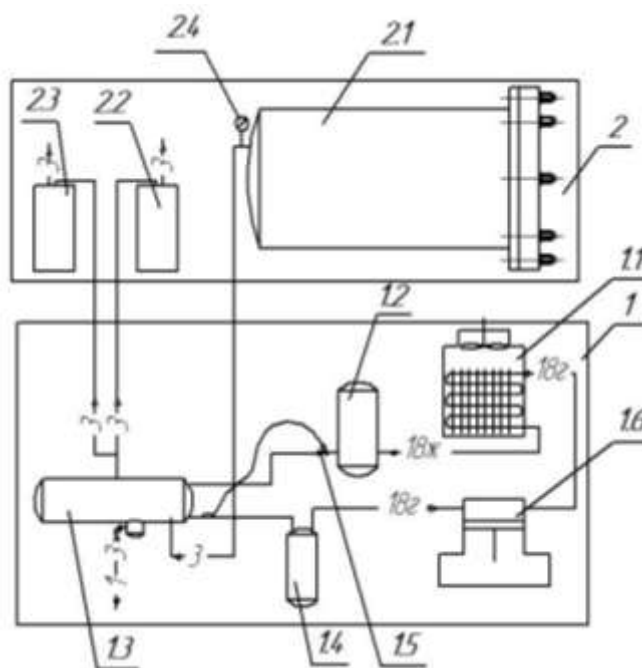


Рис. 1. Схема вакуум-выпарной установки: 1 – холодильная машина; 1.1 – конденсатор; 1.2 – ресивер; 1.3 – десублиматор; 1.4 – отделитель жидкости; 1.5 – терморегулирующий вентиль; 1.6 – компрессор; 2 – вакуумная установка; 2.1 – вакуумная камера; 2.2, 2.3 – вакуумные насосы; 2.4 – вакуумметр

В качестве источников теплоты использовались инфракрасные ламповые нагреватели КГТ 1000-220, технические характеристики которых приведены в табл. 1 [3].

Таблица 1

Технические характеристики инфракрасных ламповых нагревателей марки КГТ 1000-220

Характеристика	Напряжение, В	Мощность, Вт	Средняя продолжительность горения, ч	Цветовая температура, К	Допустимое отклонение от горизонтального положения при экспл., град.	Минимальная допустимая температура на поверх. колбы при экспл., К	Максимальная допустимая температура на поверх. колбы при экспл., К	Максимальная температура на поверх. штампованной лопатки, К	Габаритные размеры, мм	
									L	d
Величина	220	1000	10000	2500	5	523	1073	573	375	12

Из табл. 1 следует, что инфракрасные ламповые нагреватели марки КГТ 1000-220 обладают достаточной надежностью при эксплуатации, на что указывает средняя продолжительность горения. Исследования проводили при рациональных режимных и технологических параметрах, соответствующих определенному виду жидкого молочного продукта, при остаточном давлении 2–3 кПа [1, 2].

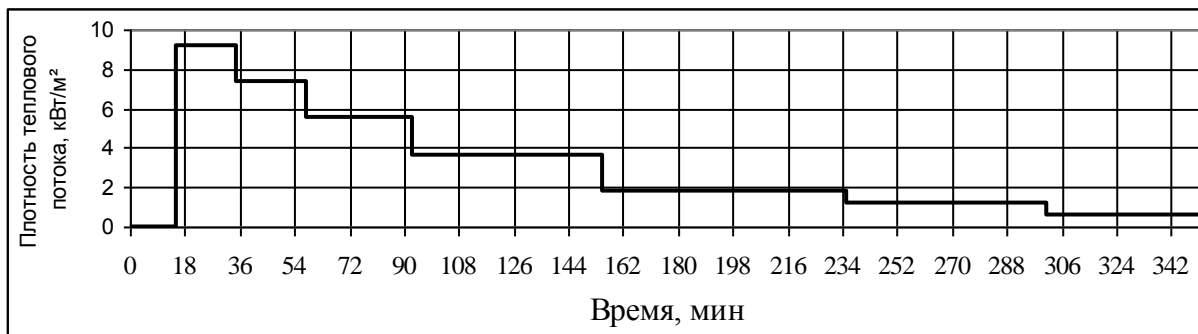
На рис. 2–3 представлены графики изменения тепловой нагрузки, температуры, относительной массы в процессе концентрирования молочной сыворотки при ступенчатом и импульсном способе подвода теплоты. Концентрирование молочной сыворотки производили до массовой доли сухих веществ 58–60 %.

В течение 15 мин теплота от нагревателей не подводилась, пока установка не вышла на требуемый режим по остаточному давлению (2–3 кПа). При концентрировании молочной сыворотки рациональная тепловая нагрузка 9,2 кВт/м² действовала в течение 15–20 мин при ступенчатом и импульсном способе подвода теплоты.

При достижении рациональной температуры концентрирования 80°C производили уменьшение тепловой нагрузки при ступенчатом способе подвода теплоты, при импульсном нагреватели выключали.

При ступенчатом способе подвода теплоты поддержание рациональной температуры концентрирования производили плавным уменьшением тепловой нагрузки (рис. 2, а). При импульсном способе поддержание рациональной температуры концентрирования осуществляли включением и выключением нагревателей (рис. 2, а). В момент включения нагревателей тепловая нагрузка была равной рациональной.

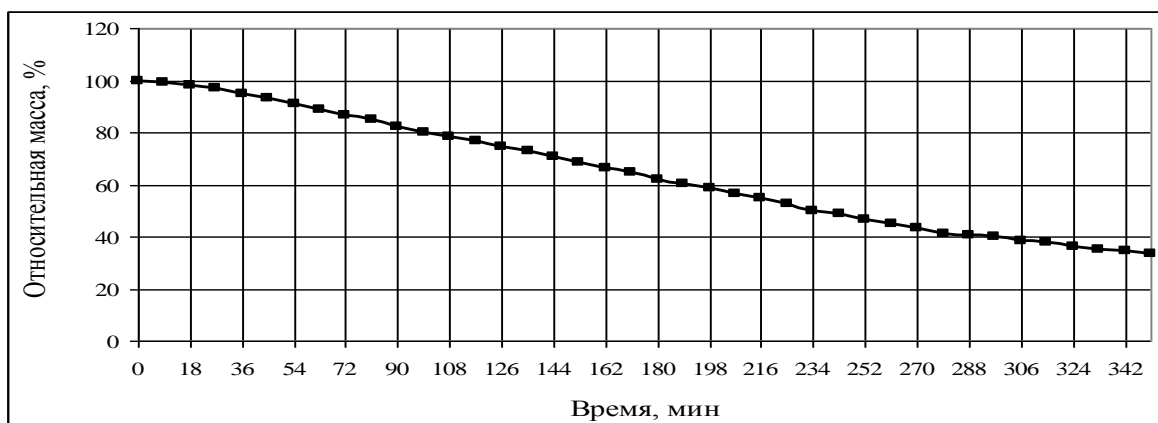
В процессе концентрирования температура в камере была равна рациональной, а температура продукта – температуре насыщения ($18\text{--}22^{\circ}\text{C}$) при остаточном давлении $2\text{--}3$ кПа.



а



б

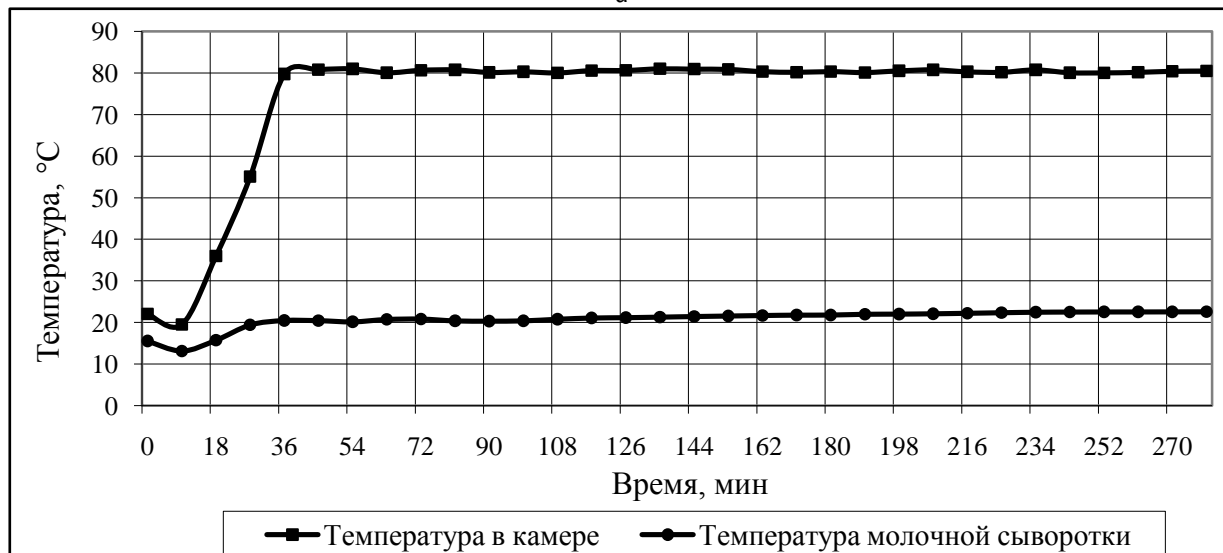


в

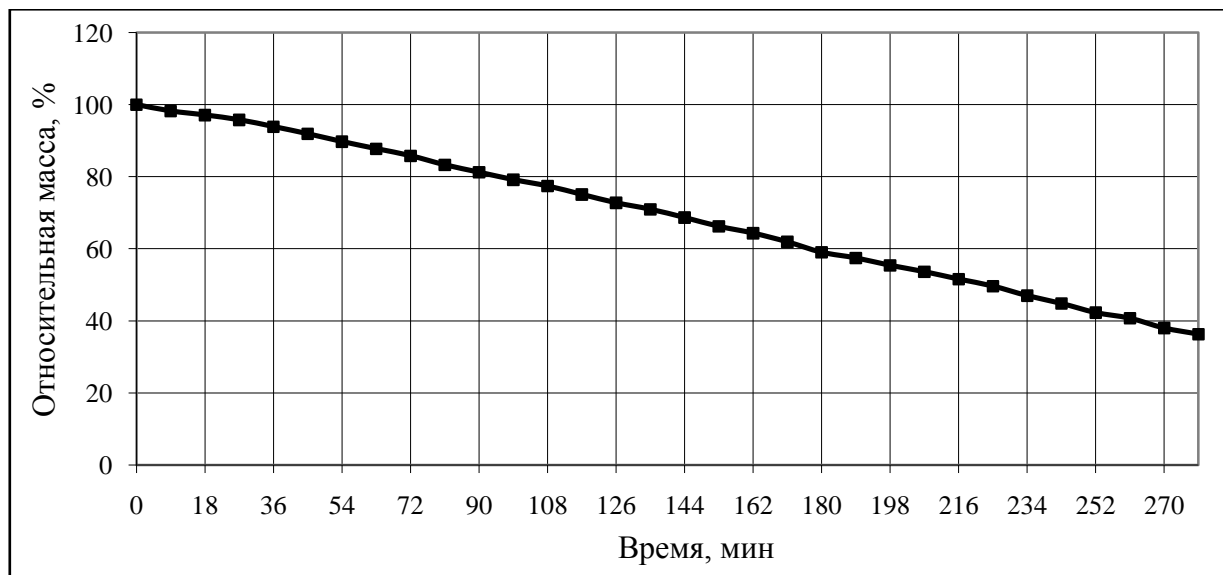
Рис. 2. Кривые концентрирования молочной сыворотки при ступенчатом способе подвода теплоты: а – плотность теплового потока; б – температура в камере и молочной сыворотки; в – относительная масса



а



б



в

Рис. 3. Кривые концентрирования молочной сыворотки при импульсном способе подвода теплоты:
 а – плотность теплового потока; б – температура в камере и молочной сыворотки;
 в – относительная масса

Относительная масса молочной сыворотки в процессе концентрирования уменьшилась в 2,70–2,63 раза. На рис. 4 приведены графики скорости концентрирования жидких молочных продуктов при ступенчатом и импульсном способе подвода теплоты.

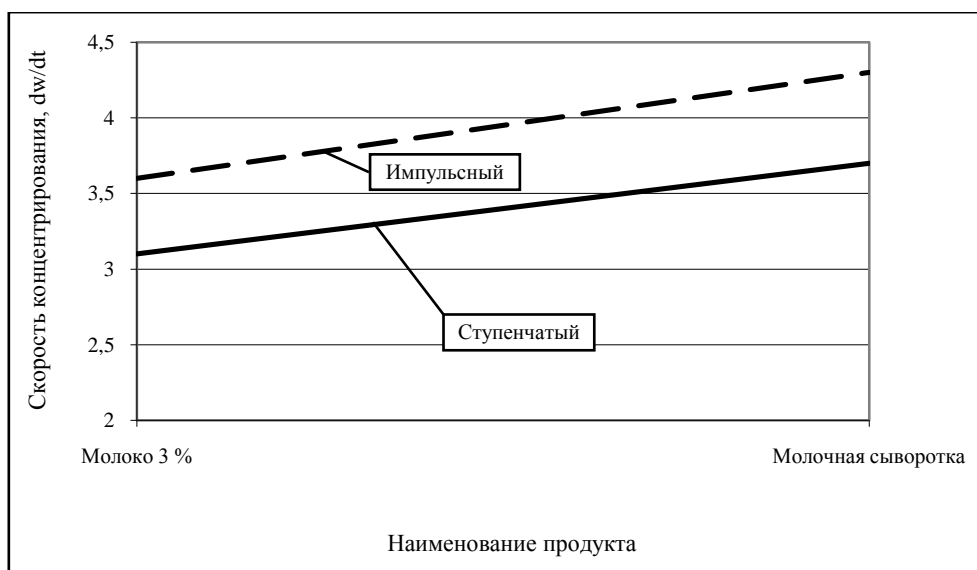


Рис. 4. Скорость концентрирования жидких молочных продуктов при ступенчатом и импульсном способах подвода теплоты

Удельные затраты теплоты при вакуумном концентрировании жидких молочных продуктов в зависимости от способа энергоподвода приведены в табл. 2.

Таблица 2

Удельные затраты теплоты в зависимости от способа энергоподвода, кВт/кг удаленной влаги

Продукт	Способ подвода теплоты	
	Ступенчатый	Импульсный
Молоко 3 %	0,8-1,2	0,6-0,7
Молочная сыворотка	0,8-1,2	0,4-0,7

Физико-химические показатели концентрированных жидких молочных продуктов в зависимости от способа подвода теплоты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-химические показатели концентрированных жидких молочных продуктов в зависимости от способа подвода теплоты

Продукт	Способ подвода теплоты									
	Ступенчатый					Импульсный				
	Массовая доля									
	сухих веществ	белка	лактозы	жира	зола	сухих веществ	белка	лактозы	жира	зола
Молоко 3 %	48	22,8	6,4	15,9	2,9	49	23,5	6,5	16,1	2,9
Молочная сыворотка	58	48,2	5,9	1,4	2,5	60	50,1	5,9	1,4	2,6

Заключение. Способ подвода теплоты не влияет на качественные показатели концентрированных молочных продуктов, однако он влияет на продолжительность процесса концентрирования, скорость концентрирования и энергозатраты.

Использование импульсного способа подвода теплоты приводит к сокращению процесса концентрирования. Скорость концентрирования жидких молочных продуктов при импульсном способе подвода теплоты

выше на 0,5–0,6 %/мин, чем при ступенчатом. Снижение удельных затрат теплоты при импульсном способе энергоподвода по сравнению со ступенчатым происходит на 0,1–0,5 кВт/кг удаленной влаги. На основании того, что при импульсном способе подвода теплоты продолжительность процесса концентрирования сокращается, скорость концентрирования увеличивается, сокращаются удельные затраты теплоты, можно сделать вывод, что импульсный способ подвода теплоты можно использовать для интенсификации процесса вакуумного концентрирования.

Литература

1. *Ермолаев В.А., Просеков А.Ю.* Подбор остаточного давления для вакуумного концентрирования жидких молочных продуктов // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 6. – С. 69–70.
2. *Ермолаев В.А., Просеков А.Ю.* Вакуумные технологии молочно-белковых концентратов: монография. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 212 с.
3. *Льков А.В.* Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
4. *Технология молока и молочных продуктов / Г.Н. Крусь, А.Г. Храмцов, З.В. Волокитина [и др.].* – М.: КолосС, 2006. – 455 с.

