

УДК 664.046.6.002.5

## ВЫПАРИВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ АГРЕГАТЕ НА БАЗЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТЕРМОСИФОНА

Бурдо О.Г. д.т.н., профессор, Безбах И. В. к.т.н., доцент, Омар Саид Ахмед аспирант  
(Одесская национальная академия пищевых технологий)

*Рассмотрены аппараты на базе термосифонов для выпаривания. Приведены результаты экспериментальных исследований.*

*Devices on the basis of thermosiphons for evaporation are considered. Results of experimental researches are presented.*

**Ключевые слова:** термосифоны, выпаривание

Технический прогресс в различных областях техники и технологии, в том числе в технологии пищевых производств, базируется на оптимизации и интенсификации технологических процессов при одновременном всемерном повышении качества выпускаемых изделий и значительном повышении производительности труда при высокой экономичности производства. В пищевом производстве с каждым годом повышается перечень и количество продуктов, выпускаемых перерабатывающей промышленностью. Производство многих традиционных продуктов в настоящее время механизировано, однако зачастую без учёта реологических свойств этих продуктов, что не позволяет получить оптимальные конечные результаты. Большинство процессов в пищевой промышленности связано с переработкой дисперсных систем, суспензий, коллоидных растворов, различных вязко-пластических материалов, изучение которых позволит организовать эффективный и объективный контроль и управление технологическим циклом производства. Процессы производства, а также конструктивные параметры рабочих органов машин и коммуникаций в значительной степени зависят от реологических свойств перерабатываемых пищевых масс, а сырьё и получаемые готовые продукты обладают весьма разнообразными физико-механическими и реологическими свойствами. Знание реологических и теплофизических свойств пищевых продуктов и закономерностей их изменения может облегчить разработку методов контроля и автоматизации этих процессов, а также отыскание правильного решения при проектировании нового оборудования и модернизации существующего.

Пищевые продукты являются композитными материалами, образованными, главным образом, из твердого или желеподобного наполнителя и воды. Эти материалы представляются концентрированной суспензией твердой фазы (наполнитель) и вязкой жидкости (как правило эмульсии или масла). Жидкость, в свою очередь, представляет собой также негомогенную субстанцию.

Многие негомогенные жидкости, например жидкие пищевые продукты, при реологических измерениях проявляют так называемый эффект кажущегося скольжения. Данное явление вызвано тонким слоем, образующимся на стенке дисперсной фазой суспензии. Вязкость такого слоя значительно ниже вязкости жидкости в основном течении, градиент скорости на стенке увеличивается. Это приводит к эффекту кажущегося скольжения. Эффект скольжения может оказывать существенное влияние на результаты реологических исследований.

Теплофизические свойства и специфическое поведение пищевых жидкостей делают невозможной интенсификацию процессов термообработки традиционными методами, кроме того, при термообработке пищевых жидкостей изменяется качество продукта в зависимости от продолжительности теплового воздействия, идет процесс интенсивного накипеобразования.

Большинство способов термообработки для такого класса продуктов недостаточно эффективно, или приводит к большим энергозатратам.

Продукт пригорает к теплообменной поверхности, изменяется его качество. Значительные потери энергии присутствуют при транспортировке энергоносителя к аппарату, с вторичным паром, отработанным теплоносителем.

Применение двухфазных автономных модулей (термосифонов, вращающихся термосифонов) дает возможность создавать циркуляцию теплоносителя. За счет этого достигается значительное снижение энергозатрат на процесс.

Поиск новых методов интенсификации тепло- массообмена, создание энергоэффективных аппаратов является актуальными проблемами для пищевой промышленности Украины. Возникает необходимость

совершенствования процессов выпаривания в направлении снижения энергозатрат, совершенствования характеристик существующих аппаратов, разработка новых эффективных конструкций.

Для решения проблем при выпаривании ННЖ в промышленности возможно использовать аппараты на базе двухфазных автономных модулей.

Применение термосифонов, вращающихся термосифонов (ВТС) дает возможность создавать циркуляцию теплоносителя. За счет этого достигается снижение энергозатрат на процесс. Кроме того применение автономных аппаратов с ВТС дает возможность сократить цепочку превращения-транспортировки энергии, что тоже приводит к снижению энергозатрат.

Для интенсификации процесса термообработки необходимо разрушить внутреннюю структуру ННЖ и вынудить ее вести себя максимально близко к ньютоновской жидкости. Этого можно достичь путем повышения напряжения, а также скорости сдвига, то есть механической обработкой. Такой процесс удобно реализовать в аппаратах с ВТС.

Аналоги конструкций аппаратов с ВТС – термомеханические агрегаты (ТМА) являются циркуляционными системами. В конструкциях ТМА слабым элементом является узел уплотнения при подводе пара и отводе конденсата. Герметизация узла соединения ротора, который вращается, с подводимым неподвижным паропроводом и конденсаторопроводом является технически сложной задачей.

Применение термомеханических агрегатов (ТМА) в пищевой промышленности достаточно обширно и позволяет значительно интенсифицировать процесс тепловой обработки, снизить энергозатраты. Применяя ТМА для нагрева жидких пищевых продуктов, получают значительные коэффициенты теплопередачи  $K \approx 950 \div 1000 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$  [1, 2, 3].

Термомеханические агрегаты возможно разделить на циркуляционные и автономные. К автономным относится аппарат с вращающимся термосифоном, созданный на кафедре процессов и аппаратов Одесской национальной академии пищевых технологий.

Применение термомеханических агрегатов в пищевой промышленности позволяет реализовать следующие пути снижения энергозатрат: сокращение цепочки трансформации энергии; совмещение в аппарате нескольких технологических процессов; интенсификация тепломассообмена; эффективная доставка энергии к продукту; утилизация теплоты. Применение схемы с циркуляционным термомеханическим агрегатом позволяет значительно интенсифицировать процесс, применение ТМА с ВТС кроме интенсификации процесса уменьшает цепочку термотрансформации энергии. Аппарат с ВТС (рис. 1) состоит из корпуса 1, конденсатора 2, парогенератора 3, привода 4 [4].

ВТС представляют собой герметично закрытую полость, частично заполненную теплоносителем. При подводе теплоты к испарителю теплоноситель начинает кипеть, образующийся пар направляется в конденсатор, где конденсируется на стенках, отдавая теплоту фазового перехода охлаждающей среде. Пар перемещается за счет разности давления в испарителе и конденсаторе в результате уменьшения объема при конденсации пара. Конденсат под действием гравитационных сил движется в испаритель. Таким образом, в ВТС реализуется замкнутый испарительно-конденсационный цикл. Продукт поступает в корпус сверху, сталкивается с нагретой поверхностью конденсатора. Происходит сушка, перемешивание, либо нагревание продукта, после чего продукт выгружается через нижний патрубок в корпусе. Возможно выделить четыре основных направления применения аппаратов на базе ВТС. Это теплообменники, выпарные установки, сушилки, сушилки с ТН. Применение аппаратов с ВТС для нагрева ННЖ исследовано [4], в процессах выпаривания сушки дисперсных продуктов практически не исследовано.

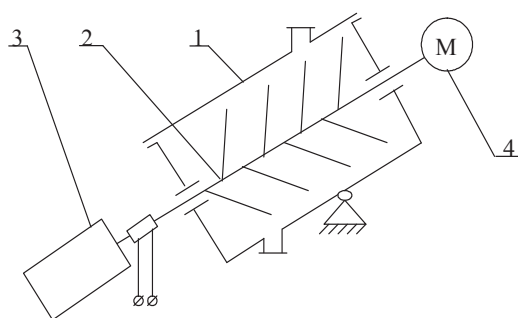


Рис. 1 – Схема аппарата с ВТС

поддерживалась равной  $95 \div 115 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Аппарат возможно использовать в линиях производства желе, повидла, джемов. Их изготавливают из плодов или плодовых заготовок (сок, пюре), уваренных с сахаром до высокой концентрации сухих веществ (около 70 %). Повидло получают путем уваривания плодово-ягодного пюре с сахаром в соотношении 1,25:1. Причем пюре до уваривания должно содержать около 11 % сухих веществ. Повидло имеет густую консистенцию содержание сухих веществ в нем не менее 66 % [5].

Проведены исследования кинетики выпаривания яблочного пюре в аппарате с ВТС при различной степени загрузки аппарата в следующем диапазоне (таб. 1). Температура поверхности модуля

Таблица 1 – Диапазон экспериментальных исследований при исследовании выпаривания яблочного пюре

N опыта	Масса продукта, кг	Частота оборотов, об/мин	Подводимая мощность, кВт	Давление теплоносителя, МПа
1	1.8	14		
2	3.8	14	1.5	0.05–0.15
3	3.8	38		

В опытах измеряли температуру пюре при помощи медь–константановых термопар. Температура измерялась в различных точках объема продукта, после чего усреднялась. Температура поверхности модуля поддерживалась равной  $95 \pm 115$  °С и определялась по давлению теплоносителя. Изменение сухих веществ (СВ) в продукте определялось весовым способом. Интервал регистрации 600 с.

При загрузке аппарата  $M = 3.8$  кг, частоте оборотов ВТС  $n = 14$  об/мин получены следующие данные (рис. 2).

Наблюдается небольшая разность температур между греющей и выпариваемой средами. Полученный объем данных позволяет рассчитать коэффициент теплоотдачи  $\alpha_2$  от стенки ВТС к продукту. Коэффициент теплоотдачи изменяется в зависимости от концентрации СВ в пределах  $\alpha_2 = 1500 \div 2500$  Вт/м<sup>2</sup>·К, что выше чем у известных конструкций [6].

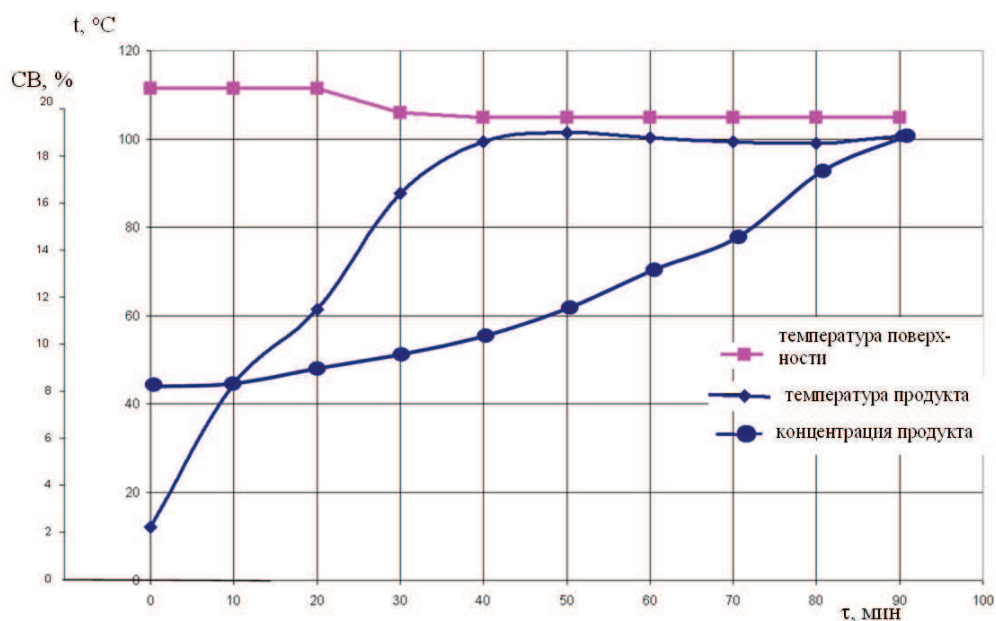
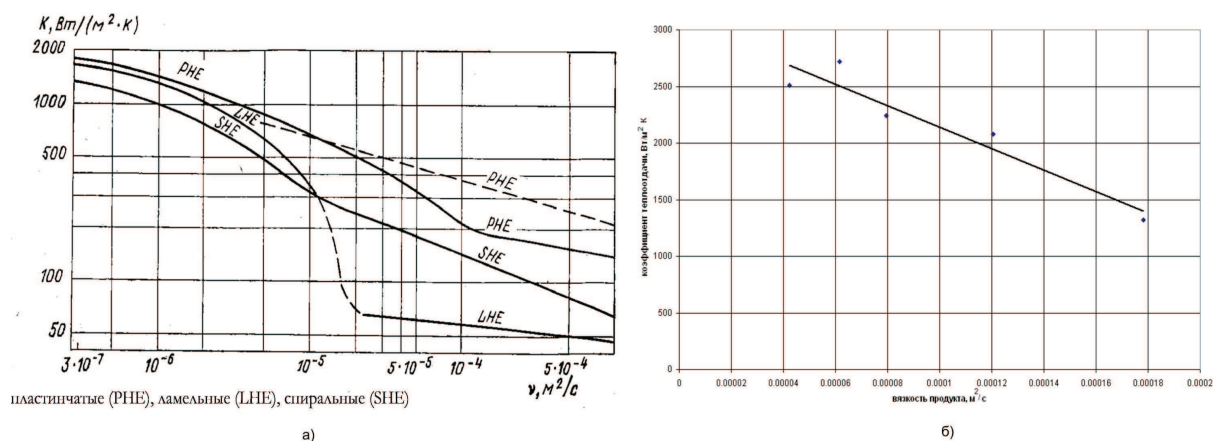


Рис. 2 – Изменение концентрации СВ и термограммы при выпаривании яблочного пюре

Исследования аппарата показали:

- 1) обеспечивается легкий выход паровой фазы из продукта;
- 2) отсутствует пригар продукта к поверхности при температуре выпариваемой среды до 100 °С.

В результате осуществления исследований ожидается интенсификация и снижение энергозатрат на процесс выпаривания.



а) промышленные аппараты; б) аппарат с ВТС

**Рис. 3 – Влияние вязкости продукта на теплообмен**

Экспериментальные исследования показывают, что с ростом вязкости обрабатываемого продукта в аппарате с ВТС коэффициент теплоотдачи со стороны поверхности модуля к продукту понижается, но значение коэффициента выше чем в существующих промышленных аппаратах [6].

### Литература

1. Дикис М. Я., Мальский А.Н. Технологическое оборудование консервных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 340 с.
2. Томбаев Н. И. Справочник по оборудованию предприятий молочной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 280 с.
3. Бачурская Л. Д., Гуляев В. Н. Пищевые концентраты. – М.: Пищевая промышленность, 1976 г.
4. Безбах И. В., Зыков А.В., Донкоглов В. И., Омар Саид Ахмед Развитие конструкций тепло-массообменных аппаратов на базе автономных двухфазных модулей // Наукові праці ОНАХТ. – 2008. Вип. 32.
5. Ковальская Л. П., Мелькина Г. М. и др. Технология пищевых производств. — М.: Агропромиздат, 1988. — 286 с.
6. А. М. Маслов. Аппараты для термообработки высоковязких жидкостей. – Ленинград, Машиностроение, 1980 – 209 с.