

дуктів свідчать про стійкість в часі і зниження темпів наростання кислотності у зразках відновлених на воді отриманій за термовакуумною технологією.

Література

1. Дискретно-импульсний ввід енергії / [Долинский А.А., Басок Б.И., Накорчевский А.И. Шурчкова Ю.А.]. – К.: ИТТФ НАНУ, 1996. – 196 с.
2. Долинский А.А. Адиабатически вскипающие потоки. Теория, эксперимент, технологическое использование / Долинский А.А., Басок Б.И., Накорчевский А.И. – Киев: Наукова думка, 2001. – 207 с.
3. Долинский А.А. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии / Долинский А.А., Иваницкий Г.К. – Киев: Наукова думка, 2008. – 381 с.
4. Долинский А.А. Отчёт о создании технологических линий по восстановлению сухого молока / Долинский А.А., Шурчкова Ю.А., Киев, 1986., - 30с
5. Накорчевский А.И. Гидродинамика и тепломассоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках / Накорчевский А.И., Басок Б.И., Долинского А.А.-Киев: Наукова думка, 2001.– 347с.
6. Иваницкий Г.К. Использование гидродинамической кавитации для разрушения бактериальных клеток в технологии обработки молока / Иваницкий Г.К., Шурчкова Ю.А., Недбайло А.Е. - Промышленная теплотехника. – 2012. –Т.34, №3. – С. 31–39.
7. Шурчкова Ю.О. Вплив технологій ДІВЕ на властивості води і молока / Шурчкова Ю.О., Проценко А., Коник А.В. Наукові праці. – 2008. № 30. – С. 116–119
8. Шурчкова Ю.А. Исследование влияния дискретно-импульсного ввода энергии на физико-химические показатели воды / Шурчкова Ю.А., Коник А.В. Промышленная теплотехника. – 2009. – Т.31, №3. – С. 108–112.
9. Долинский А.А. Изменение микроструктуры сухого остатка воды при различных способах её обработки / Долинский А.А., Шурчкова Ю.А. Коник А.В. Промышленная теплотехника. – 2009. – Т.31, №7. – С. 86 – 89.
10. Инихов Г.С. Методы анализа молока и молочных продуктов / Инихов Г.С., Брио Н.П. - М.: «Пищевая промышленность», 1971.-244 с.
11. ДСТУ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Методы определения кислотности»
12. Шалыгина А.М. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Химия и физика молока» для специальности 1017 всех форм обучения / Шалыгина А.М., Ромоданова В.А., Костенко Т.А. – Киев: КТИПП. 1988. - Ч2.—88 с.
13. ГОСТ 26781-85 «Молоко. Метод измерения рН»
14. Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови. ДСТУ 2661-94 Видання офіційне - [Чинний від 1995-07-01].- К. Держстандарт України, 1995. – 15 с. - (Державний стандарт України)

УДК 664.048.5.022.63

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВЫПАРНОГО АППАРАТА НА БАЗЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТЕРМОСИФОНА

¹Безбах И.В., канд. техн. наук, доц., ²Омар Саид Ахмед, канд. техн. наук
¹Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина
²Giad Trucks co., Al Khartoum, Sudan

Рассмотрены аппараты на базе термосифонов для термообработки неньютоновских пищевых жидкостей. Приведены результаты экспериментальных исследований.

devices on the basis of thermosiphons for heat treatment of non-Newtonian food liquid are considered. Results of experimental researches are presented.

Ключевые слова: термосифоны, неньютоновские жидкости.

Пищевой промышленностью производится и перерабатывается значительное количество продуктов, тепловое и механическое поведение которых отличается от поведения обычных ньютоновских жидкостей. К группе пищевых неньютоновских жидкостей (ННЖ) относят томатную пасту, различные пюре, кефир, сгущенное молоко и др. Анализ свойств ННЖ показывает, что энергозатраты при их обработке значительно выше в сравнении с группой ньютоновских жидкостей. Основными проблемами, возника-

ющими при тепловой обработке ННЖ, являются: 1) изменение качества продукта в зависимости от продолжительности теплового воздействия; 2) процесс интенсивного накипеобразования. Высокая вязкость, плотность, низкая удельная теплоемкость и специфическое поведение ННЖ усложняют решение вышеупомянутых проблем традиционными методами интенсификации.

Для решения проблем термообработки пищевых ННЖ применяют термомеханические агрегаты (ТМА). Применение ТМА в пищевой промышленности достаточно обширно и позволяет значительно интенсифицировать процесс тепловой обработки, снизить энергозатраты, увеличить коэффициенты теплопередачи (таб. 1).

Таблица 1 – Области применения ТМА

Отрасль	Процесс	Продукт	Коэффициент теплопередачи
Консервная, молочная, виноделие [1]	Нагревание	Томатная паста, молоко, мезга	$K=950 \div 1000 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$
Молочная, сахарная [2]	Охлаждение, кристаллизация	Сливки, сахарный раствор	$K=900 \div 1000 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$
Консервная	Выпаривание	Томатная паста	-

Термомеханические агрегаты разделяют на циркуляционные и автономные. К автономным относится аппарат с вращающимся термосифоном [3].

Применение термомеханических агрегатов в пищевой промышленности позволяет реализовать следующие пути снижения энергозатрат: сокращение цепочки трансформации энергии; совмещение в аппарате нескольких технологических процессов; интенсификация теплообмена; эффективная доставка энергии к продукту; утилизация теплоты. Применение схемы с циркуляционным термомеханическим агрегатом позволяет значительно интенсифицировать процесс, применение ТМА с вращающимся термосифоном (ВТС) кроме интенсификации процесса уменьшает цепочку термотрансформации энергии.

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.

С целью проверки работоспособности предложенных схемных решений применительно к процессу выпаривания ННЖ проведен ряд экспериментов. Задачей первого этапа экспериментальных исследований являлось получение термограмм и кинетики изменения сухих веществ (СВ) для различных ННЖ. В качестве ННЖ были выбраны: яблочное пюре, томатный сок.

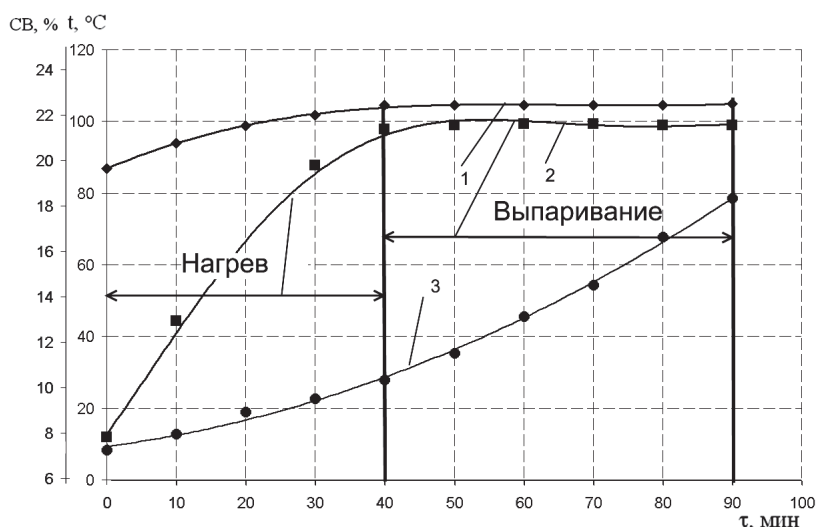
Уровень продукта в корпусе аппарата поддерживался постоянным. Давление P в испарителе и конденсаторе ВТС поддерживалось постоянным при помощи изменения подводимой энергии ($U=\text{var}$), таким образом поверхность конденсатора оставалась изотермичной. В процессе эксперимента изменяли угол наклона ВТС ($\gamma=\text{var}$), частоту вращения ВТС ($n=\text{var}$).

Концентрация при выпаривании яблочного пюре при частоте оборотов ВТС $n=14$ об/мин, и угле наклона $\gamma=30^\circ$ увеличивается, приближаясь к теоретической границе (рис. 1).

Концентрация увеличена с 7,3 до 18,4 % СВ. Концентрация изменяется по экспоненциальной зависимости. Период нагрева раствора (рис. 2) до температуры кипения около 40 мин. После чего следует испарение влаги с поверхности. Раствор кипит при атмосферном давлении. Наблюдается испарение влаги в период нагрева раствора до температуры кипения. Скорость удаления влаги в период нагрева в 2 раза ниже, чем во время интенсивного кипения раствора.

При изменении угла наклона ВТС с $\gamma=30^\circ$ до $\gamma=45^\circ$ период нагрева раствора до температуры кипения при прочих равных параметрах уменьшается в 2 раза [4].

При увеличении угла наклона ВТС улучшаются внутренние гидродинамические условия для возврата конденсата в испаритель ВТС. Соответственно уменьшается термическое сопротивление стенки конденсатора. Коэффициент теплопередачи возрастает. Интенсивное разрушение пограничного теплового слоя непосредственно поверхностью теплопередачи приводит к уменьшению внешнего термического



1 – температура поверхности ВТС; 2 – температура продукта; 3 – концентрация сухих веществ

Рис. 1 – Изменение концентрации СВ и термограммы при выпаривании яблочного пюре, $n = 14$ об/мин, $\gamma = 30^\circ$

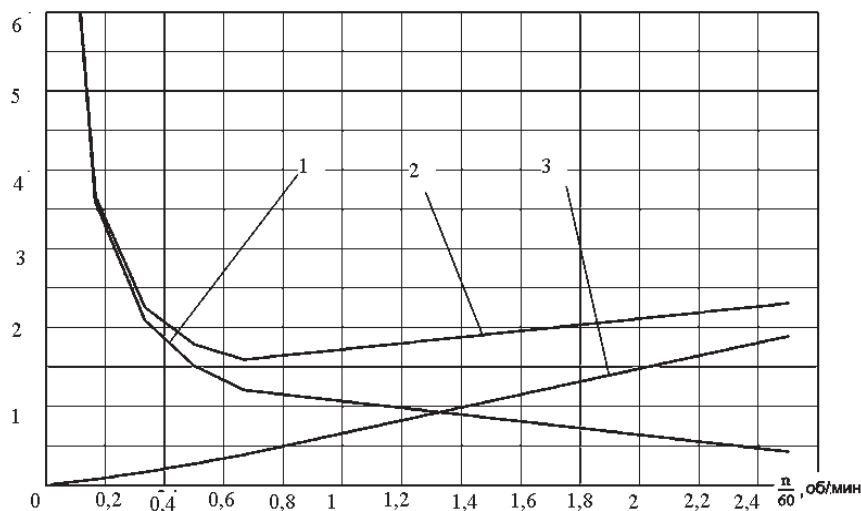
ВТС на интенсивность теплоотдачи к продукту показывают, что существуют две области изменения интенсивности теплоотдачи: рост коэффициентов теплоотдачи и автономность их значений. Дальнейшее увеличение частоты оборотов не приводит к росту интенсивности теплоотдачи. Вместе с тем при увеличении частоты оборотов ВТС возрастает потребляемая мощность двигателя. Кроме того, при увеличении частоты оборотов ВТС значения числа Фруда приближаются к критическим. Целью оптимизации является определение оптимальной частоты оборотов ВТС, при которой энергозатраты на процесс выпаривания будут минимальны (рис. 3).

Целевая функция представляет собой сумму энергозатрат на привод ВТС ($N_{дв}$) и энергозатрат на выпаривание (Q_n). Минимум целевой функции дает частоту вращения ВТС, при которой энергетические затраты на процесс будут минимальными.

Исходными данными для расчета по алгоритму являются: геометрические размеры ВТС, температуры продукта, теплоносителя, угол наклона ВТС, количество и концентрация исходного продукта

Результат оптимизации аппарата с ВТС представлен на рис. 2.

$$N_{дв}, Q_n, Z, \text{Дж} \cdot 10^8$$



1 – расход энергии на выпаривание продукта; 2 – целевая функция Z; 3 – расход на энергии на привод ВТС

Рис. 2 – Оптимизация выпарного аппарата с ВТС

сопротивления. Возрастает коэффициент теплопередачи в зависимости от частоты оборотов ВТС. Теплота в раствор передается более эффективно. Интенсификация процесса теплообмена не оказывает влияния на температуру кипения раствора, а влияет на скорость испарения влаги из раствора. Скорость испарения влаги из раствора возрастает при увеличении частоты оборотов, угла наклона ВТС.

Определяющее влияние на интенсификацию теплообмена в процессе выпаривания яблочного пюре оказывает частота оборотов ВТС.

Полученные опытные данные, характеризующие влияние частоты оборотов

Минимум целевой функции приходится на $n=0,67 \text{ с}^{-1}$, что соответствует минимальному расходу энергии на процесс.

Внедрение аппарата в ВТС проведено на открытом акционерном обществе «Концерн Хлібпром» на линиях по термообработке вязких и дисперсных сред.

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. Патент України 97806 МКІ F26 В 3/06. Пристрій для теплової обробки неньютонівських рідин / Бурдо О. Г., Безбах І. В., Воскресенська О. В.; заявник і патентовласник ОНАХТ. - № u 2014 10091, опубл. 10. 04. 2015; Бюл. № 7.
4. Бурдо О. Г., Безбах І. В., Зыков А. В., Омар Саид Ахмед Повышение энергетической эффективности процессов обезвоживания пищевого сырья, Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал .- Харків. НТУ «ХПІ», 2008.-№2.-172 с.

УДК 536.24-047.58:621.3.049.77

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В МИКРОСТРУКТУРАХ

Косой Б.В., д-р техн. наук, профессор

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Охлаждающие радиаторы на основе микроструктурных элементов реализуют инновационную технологию эффективного теплоотвода для миниатюрных объектов, характеризующихся высокой плотностью тепловыделения (например, микроэлектронные чипы, микросхемы, биологические ткани и т.п.). В работе обсуждаются наиболее значимые, с точки зрения автора, актуальные исследования, посвящённые моделированию потоков жидкости и теплоты в микроструктурах на примере микроканальных и микропористых теплоотводов.

Heat sinks based on microstructural elements employ an innovative technology for efficient heat removal from miniature objects characterized by the high-density heat fluxes (for example, microelectronic chips, biological tissues, etc.). Present paper discusses the most important, from the author point of view, recent studies devoted to the modeling of fluid flow and heat transfer in the microstructures based on the examples of micro-channel and microporous heat sinks.

Ключевые слова: микроканал, пористая среда, фазовый переход, моделирование, теплообмен

Введение

Управление тепловыми режимами является ключевым аспектом в разработке новейших систем микроэлектроники и способствует прогрессу в сфере производства современных компьютеров и радиоэлектронных систем.

Небольшие размеры теплоотводящих устройств и очень жёсткие эксплуатационные требования к рабочим температурам делают терморегулирование микроэлектронных устройств сложной задачей. Различные методы охлаждения, такие как распыление жидкости и тепловые трубы, применяются для эффективного отвода теплоты, как от одиночного устройства, так и от системы в целом. Использование микроканальных радиаторов является перспективной альтернативой традиционным методам охлаждения, которая может обеспечить более эффективный теплоотвод при существенно меньшем объёме системы охлаждения. Также существует возможность интеграции системы непосредственно в тепловыделяющее устройство. Две важных задачи в области терморегулирования, а именно снижение максимальной температуры и минимизация температурных градиентов на поверхности устройства, могут быть эффективно решены с помощью микроструктурных радиаторов.

В результате ряда исследований возможность достижения тепловыделения до 1000 Вт/м^2 при максимальной температуре поверхности менее 120°С привела к использованию микроканалов для охлаждения высокопроизводительных систем. Ряд исследований сфокусированы на понимании основ микропотоков,