

УДК 664.046.6.002.5

Бурдо О.Г., Безбах И.В., Зыков А.В., Омар Саид Ахмед

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ

Вступление. В пищевой промышленности одними из самых энергозатратных являются технологии тепловой обработки, концентрирования жидких продуктов, сушки дисперсных материалов. Энергозатраты на процесс связаны не только со свойствами обрабатываемых продуктов, но и с неэффективной организацией подвода энергии к продукту.

Термообработка жидких пищевых продуктов. Поведение большинства жидкостей, подвергаемых термообработке в пищевой промышленности отличается от жидкостей ньютоновской группы. К группе пищевых неньютоновских жидкостей (ННЖ) относятся томатная паста, различные пюре, кефир, сгущенное молоко и др. Анализ свойств ННЖ показывает, что энергозатраты при их термообработке значительно выше в сравнении с группой ньютоновских жидкостей [1]. Основными проблемами, возникающими при тепловой обработке таких продуктов, являются: изменение качества продукта в зависимости от продолжительности теплового воздействия; процесс интенсивного накипеобразования. Высокая вязкость, плотность, низкая удельная теплоемкость и специфическое поведение ННЖ в зависимости от скорости сдвига усложняют решение вышеупомянутых проблем традиционными методами интенсификации.

Выпаривание ННЖ. Процесс концентрирования пищевых жидкостей путем выпаривания широко распространен в пищевых технологиях. Это энергоемкий процесс, который определяет качество готового продукта. Так в США ежегодно удаляется 100 млрд. т. воды из сахарных сиропов, фруктовых соков, молока, кофейных экстрактов и пр. На процесс выпаривания расходуется $2,8 \cdot 10^{14}$ МДж. На рынке Украины находится широкий спектр продуктов полученных с помощью методов концентрирования (выпаривание, криоконцентрирование). При выпаривании в основном образуются жидкости неньютоновской группы. Сам продукт пригорает к теплообменной поверхности, изменяется его качество. Анализ энерготехнологических моделей показывает, что значительные потери энергии присутствуют при транспортировке энергоносителя к аппарату. Поиск новых методов интенсификации тепло- массообмена, создание энергоэффективных аппаратов являются актуальными проблемами для пищевой промышленности Украины. Возникает необходимость усовершенствования процессов выпаривания в направлении снижения энергозатрат, улучшения характеристик существующих аппаратов, разработки новых эффективных конструкций.

Сушка дисперсных продуктов. Близки по свойствам к ННЖ и дисперсные продукты. Для решения задачи сохранения и улучшения качества дисперсных пищевых продуктов используют комплекс различных мероприятий. В их число входят сушка, активное вентилирование. Характер развития сушильной техники, анализ литературных источников показывают, что энергетическому анализу зерносушильной техники не уделялось должного внимания. Подбор рационального способа сушки, либо комбинация способов оказывает существенное влияние на энергозатраты и качество готового продукта. Сушка является энергоемким процессом. Физическая энергия, необходимая для превращения 1кг воды в пар составляет порядка 2,5 МДж, однако сушильные технологии потребляют в 2,5...3 раза больше.

Научно-техническая идея разработок. Для решения проблем при нагревании, выпаривании, сушки в пищевой промышленности возможно использовать аппараты на базе двухфазных автономных модулей.

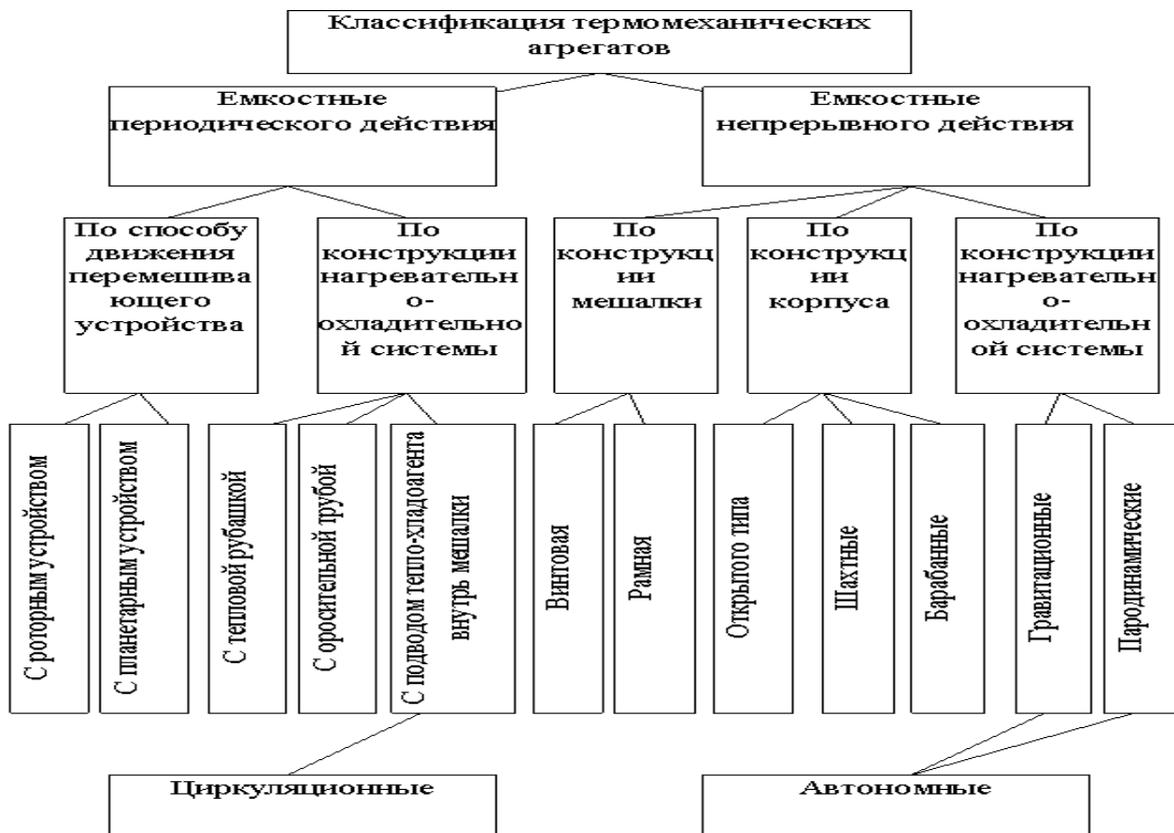


Рисунок 1 – Классификация термомеханических агрегатов

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 преобразования-транспортировки-потребления энергии, что приводит к снижению энергозатрат. Для интенсификации процесса термообработки необходимо разрушить внутреннюю структуру ННЖ и «заставить» ее вести себя максимально близко к ньютоновской жидкости. Этого можно достичь путем повышения напряжения, а также скорости сдвига, т.е. 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 вращающегося ротора с подводным неподвижным паропроводом и конденсаторопроводом – технически сложная задача. ТМА классифицируют как автономные и циркуляционные (рис. 1). К автономным относится аппарат с вращающимся термосифоном (ВТС), созданный на кафедре процессов и аппаратов Одесской национальной академии пищевых технологий.

Аппарат с вращающимся термосифоном относится к аппаратам контактного типа (контактные сушилки и т.д.). Аппарат с ВТС состоит из корпуса, конденсатора, парогенератора, привода. ВТС представляют собой герметично закрытую полость, частично заполненную теплоносителем. При подводе теплоты к испарителю теплоноси-

тель 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.

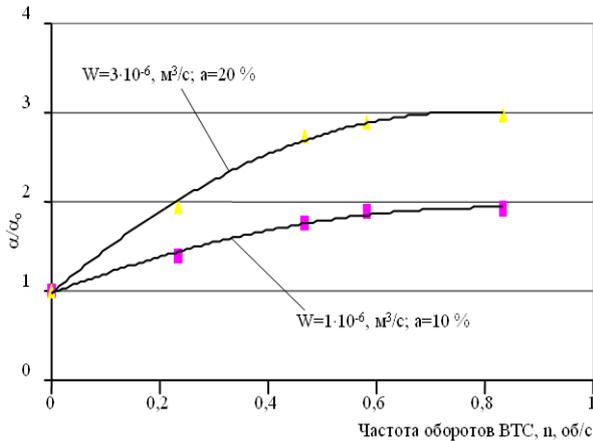


Рисунок 2 – Степень интенсификации для сахарного раствора

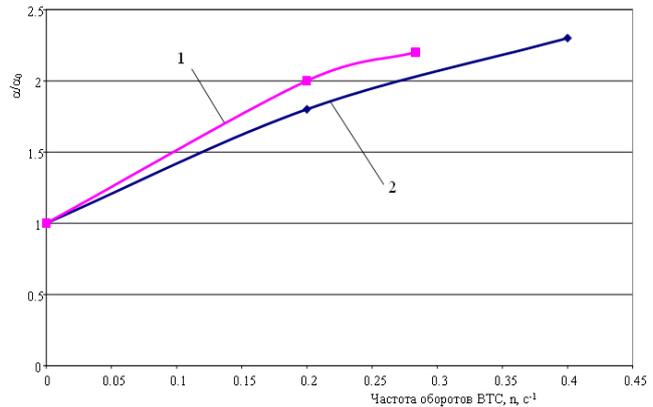


Рисунок 3 – Степень интенсификации для поре: 1) яблочное (выпаривание); 2) абрикосовое (нагрев)

Экспериментальное моделирование тепло- массообмена в аппаратах с ВТС.

Интенсификация процесса в аппарате достигается за счет разрушения теплового и диффузионного пограничных слоев. Степень интенсификации возрастает с увеличением вязкости продукта, его концентрации (а), расхода (W) (рис. 2, 3).

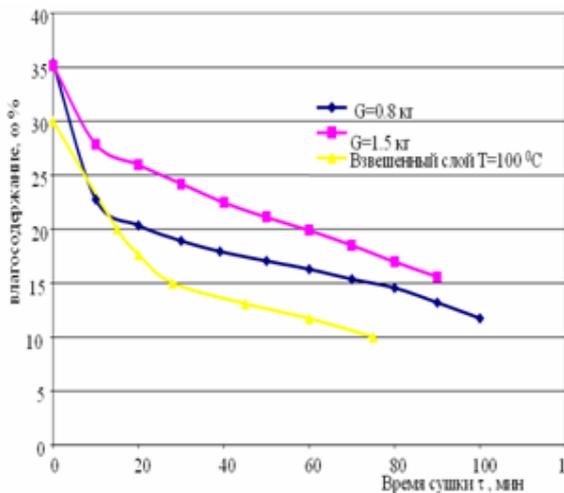


Рисунок 4 – Кривые сушки вареного гороха в аппарате с ВТС

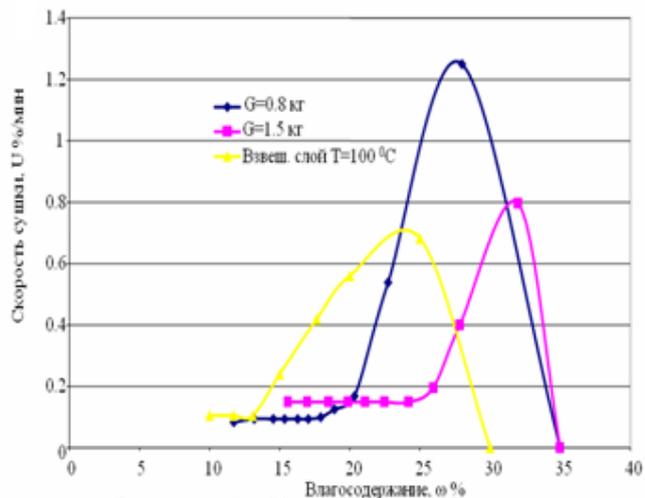


Рисунок 5 – Кривые скорости сушки вареного гороха в аппарате с ВТС

Степень интенсификации определяется по соотношению α/α_0 , где α – коэффициент теплоотдачи при вращении термосифона. Предварительные опыты по ин-

тенсификации процесса выпаривания яблочного пюре в аппаратах с ВТС показывают $\alpha/\alpha_0 \approx 2$ (рис. 3).

Проведены исследования кинетики сушки вареного гороха в аппарате с ВТС (рис. 4, 5) при различной степени загрузки аппарата (G). Температура поверхности модуля поддерживалась равной $95 \div 120$ °С. Для сравнения выбрана сушка вареного гороха во взвешенном слое при температуре воздуха T=100 °С. Скорость сушки в аппарате с ВТС U=0,8÷1,2 %/мин, по сравнению с сушкой во взвешенном слое U=0,7 %/мин.

Энергетика аппаратов с ВТС. Применение схемы с циркуляционным термомеханическим агрегатом позволяет значительно интенсифицировать процесс, применение ТМА с вращающимся термосифоном кроме интенсификации процесса уменьшает цепочку термотрансформации энергии. Проведены исследования аппарата с ВТС в линии производства варено-сушеного гороха.

Определены удельные энергозатраты линии (Э_{уд}) (рис 6а) как суммарные затраты электрической (Э) и тепловой (Q) энергии на производство продукта. Наибольший сегмент-сушка – Э_{уд}=5,1 МДж/кг.

Планируется установка аппарата вместо ленточных сушилок, что даст возможность существенно снизить энергозатраты линии (рис. 6б). По сравнению с существующей линией энергозатраты снижаются в 5 раз.

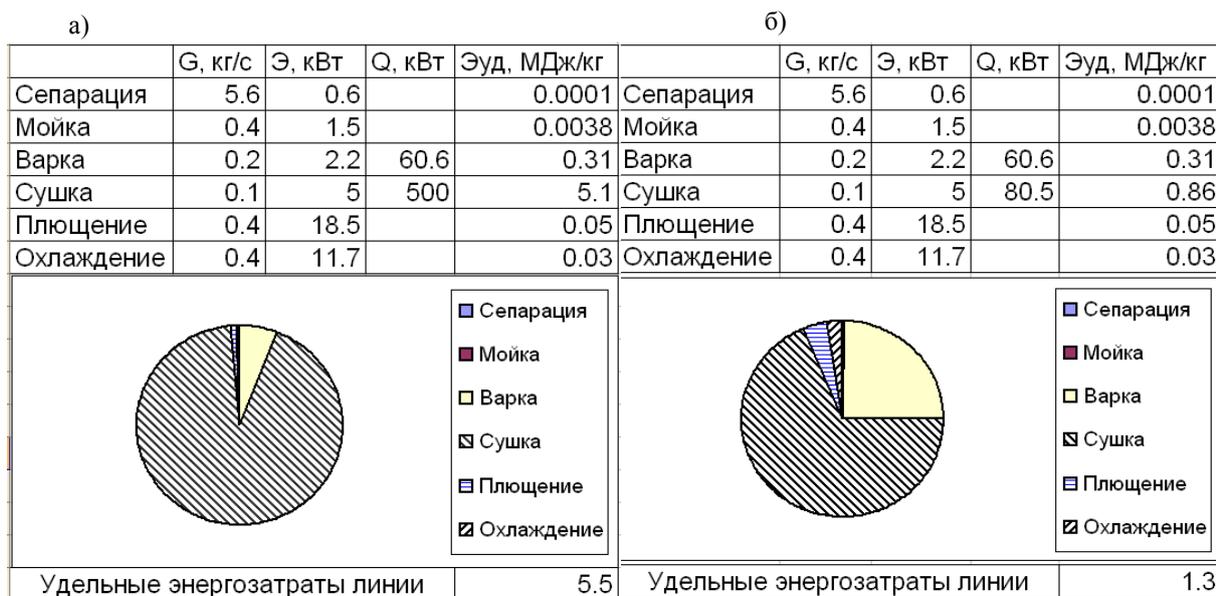


Рисунок 6 – Удельные энергозатраты линии варено-сушеного гороха:
а) до модернизации; б) после модернизации

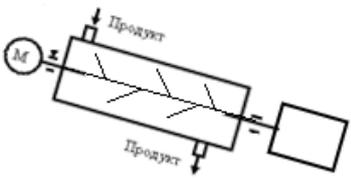
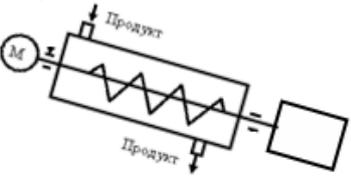
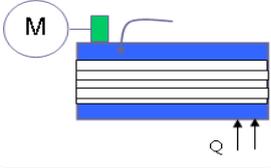
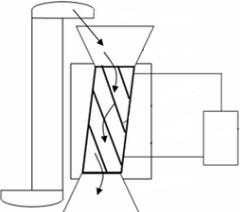
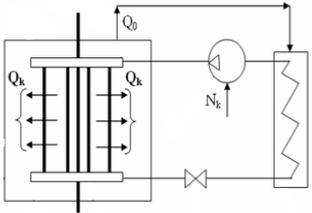
Значительного сокращения энергозатрат возможно достичь применяя аппарат с ВТС в качестве сушилки и одновременно плющителя гороха.

Перспективы аппаратов с ВТС. Возможно развитие конструкций на базе ВТС в процессах выпаривания, сушки (табл. 1). В аппарате 1 установлен разветвленный конденсатор ВТС. Устройство теплопередающего модуля позволяет эффективно реализовывать термомеханическую обработку ННЖ, а также дробление и сушку дисперсных продуктов. В аппарате 2 модуль выполнен в виде полого шнека, что позволяет не только интенсифицировать процессы тепло- массообмена, но и осуществлять перемещение продукта. Аппарат 3 выполнен по аналогии с барабанной сушилкой. Роль барабана вы-

полняет ВТС. Интерес представляют аппараты, в которых перемешивание продукта осуществляется за счет формы статического теплового модуля – конструкции 4, 5. Аппарат 4 – блочная зерносушилка, позволяет не только снизить удельные энергозатраты на сушку, но и получить продукт без канцерогенных примесей.

При сушке в окружающую среду вместе с отработавшим сушильным агентом выбрасывается большое количество низкопотенциальной теплоты. Представляется перспективным утилизацию этой теплоты осуществлять с помощью теплового насоса. В исполнении 5 аппарат работает как сушилка с тепловым насосом.

Таблица 1 – Развитие конструкций автономных ТМА

№	Конструктивное исполнение аппарата с ВТС	Функциональные задачи и достоинства, ожидаемый эффект
1		Перемешивание, дробление, нагрев. Интенсификация процесса нагрева ($\alpha/\alpha_0=2-20$), выпаривания ННЖ ($\alpha/\alpha_0=2.2$), сушка дисперсных продуктов (3.1 МДж/кг). Снижение энергозатрат на 30 %.
2		Транспортировка продукта, перемешивание, нагрев. Интенсификация процесса нагрева, выпаривания ННЖ, сушка дисперсных продуктов, сокращение цепочки термотрансформации энергии.
3		Сушка дисперсных пищевых продуктов. Снижение удельных энергозатрат на сушку.
Аппараты на базе статического модуля		Функциональные задачи и достоинства
4		Сушка дисперсных пищевых продуктов. Снижение удельных энергозатрат на сушку.
5		Сушка дисперсных пищевых продуктов. Снижение удельных энергозатрат на сушку. Расчетный удельный расход теплоты на сушку 0,5 МДж/кг, коэффициент термотрансформации 4,2.

Применение аппаратов с ВТС для нагрева ННЖ исследовано [2], в процессах выпаривания, сушки дисперсных продуктов практически не исследовано [3]. Потенциал таких аппаратов в для повышения энергетической эффективности и интенсификации процессов достаточно высок (табл. 1).

Литература

1. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен: Пер. с англ. под ред. А.В. Лыкова М.: Мир, 1964. – 216 с
2. Безбах И.В., Бурдо О.Г. Термомеханический агрегат для дисперсных продуктов // Наукові праці ОДАХТ. – 1999. Вип. 21. – С. 234–237.
3. Бурдо О.Г., Безбах І.В., Савкін М.В. Інтесифікація термообробки харчових рідин // Наукові праці ОНАХТ. – 2004. Вип. 27. – С. 218–220.

УДК 664.046.6.002.5

Бурдо О.Г., Безбах І.В., Зиков О.В., Омар Саїд Ахмед

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

Стаття присвячена питанням створення термомеханічних агрегатів (ТМА) на основі ротаційних термосифонів (РТС). Проведений аналіз технологій теплової обробки, концентрування рідких харчових продуктів, сушіння дисперсних матеріалів. Виявлені проблеми і визначені шляхи їх вирішення. Приведена класифікація ТМА. Розглянуто застосування апаратів з РТС для різних харчових продуктів. Приведені результати експериментального моделювання тепло- масообміну в апаратах з РТС. Проведено розрахунок і аналіз ефективності застосування апаратів в технологічних лініях. Розглянуті перспективи конструкцій автономних ТМА, їх функціональні задачі і достоїнства, очікуваний ефект.