

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМ-ВЫПАРНЫХ АППАРАТОВ НОВОГО ТИПА

Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор,  
Ружицкая Н.В., канд. техн. наук., ассистент,  
Макаренко Т.А., аспирант,  
Малашевич С.А., инженер

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*В статье анализируются недостатки традиционных технологий выпарки. Предлагается обеспечить равномерность подвода энергии за счет применения микроволновых технологий. Описывается конструкция лабораторного образца вакуум-выпарной установки с микроволновым подводом энергии. Приведены результаты испытаний установки на примере отгонки этанола из экстракта кофейного масла. Проведено сравнение вакуум-выпарки с выпаркой при атмосферном давлении.*

*In current paper disadvantages of traditional evaporating technologies are analyzed. It is proposed to provide energy supply uniformity due to using of microwave technologies. The structure of laboratory pattern of vacuum-evaporation system with microwave energy supply is described. The results of testing the system by the example of distillation ethanol from coffee oil extract. The comparison of vacuum-evaporation and atmosphere pressure evaporation is made.*

Ключевые слова: вакуум-выпарные аппараты, микроволновые технологии, экстракты.

Процесс выпарки является ключевым в технологиях целого ряда пищевых продуктов. Однако в большинстве существующих выпарных аппаратов не обеспечивается равномерный подвод энергии к продукту. Кроме того тепловая энергия подводится к продукту как правило посредством промежуточных теплоносителей (пар, горячая вода), что ведет к дополнительным потерям энергии.

Проблему равномерности подвода энергии можно решить с использованием микроволновых технологий. Микроволны – неионизирующие волны частотой от 300 МГц до 300 ГГц и в электромагнитном спектре располагаются между рентгеновскими и инфракрасными лучами [1].

При этом допускается что нетермическое действие микроволн на химические соединения отсутствует. Квант микроволновой энергии выражается обычным уравнением  $W = h\nu$ . В диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц, соответствующие энергии составляют  $1,24 \cdot 10^{-6} - 1,24 \cdot 10^{-3}$  эВ, что значительно ниже энергии ионизации биологических соединений (13,6 эВ), энергии ковалентных связей типа ОН (5 эВ), водородных связей (2 эВ), межмолекулярного взаимодействия Ван-дер-Ваальса (менше 2 эВ) и даже меньше энергии, связанной с Броуновским движением при 37 °С ( $2,7 \cdot 10^{-3}$  эВ). С этой точки зрения прямая микроволновая активация молекул исключается [2].

Принцип нагрева микроволнами базируется на их непосредственном взаимодействии с полярными материалами и растворителями и управляется двумя явлениями: ионной проводимостью и вращением диполей, которые в большинстве случаев происходят одновременно. Ионная проводимость объясняется электрофоретической миграцией ионов под действием переменного электрического поля. Сопротивление раствора миграции ионов вызывает трение, которое нагревает раствор. Вращение диполей означает что молекулы перестраиваются по переменному электрическому полю, вибрируют и вследствие трения возникает тепло [1].

Таким образом при микроволновом подводе энергии, энергия подводится непосредственно к молекулам воды в продукте, так как сухие вещества как правило радиопрозрачны. Очаги парообразования возникают во всем объеме. Таким образом реализуется схема подвода энергии, показавшая высокую эффективность в технологиях сушки [3, 4 Яровым].

В условиях вакуума парообразование происходит при относительно низких температурах. Таким образом снижаются затраты энергии на нагрев продукта, предотвращается термическое повреждение биологически активных веществ, снижаются потери летучих ароматических компонентов.

На кафедре процессов, аппаратов и энергетического менеджмента разработана вакуум-выпарная установка с микроволновым подводом энергии.

Схема установки представлена на рис. 1.

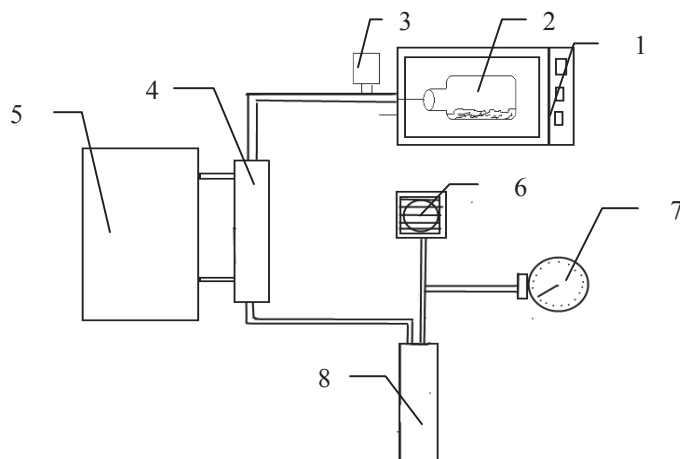


Рис. 1 – Микроволновая вакуум-выпарная установка

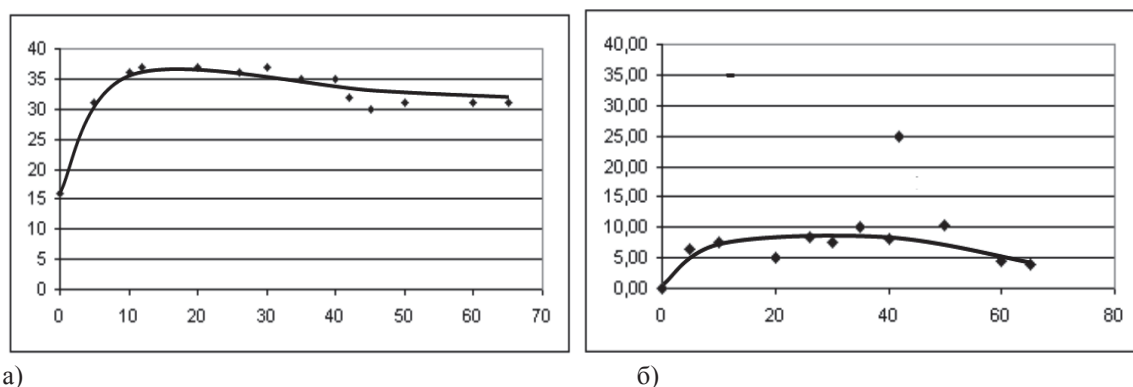
Установка работает следующим образом. В инверторной микроволновой камере 1 размещается реакционная емкость 2 из радиопрозрачного материала. В емкость заливается упариваемый экстракт. Для предотвращения локальных перегревов продукта емкость приводится в движение электродвигателем 3. Пары экстрагента поступают в конденсатор 4, в который холодный теплоноситель подается из холодильной установки 5. Вакуум в системе создается вакуум-насосом 6 и контролируется вакуумометром образцовым 7. Дистиллят стекает из холодильника в приемную емкость 8.

Проводились испытания установки для отгонки экстрагента из спиртового экстракта кофейного масла. Содержание масла в экстракте составляло 3 %. Эксперименты проводились как под вакуумом равном  $-90...-92 \text{ кгс/см}^2$ , так и при атмосферном давлении. Результаты сравнения параметров процессов приведены в табл. 1

Таблица 1 – Сравнение микроволновой вакуум-выпарки с выпаркой под атмосферным давлением

Параметр	Вакуум-выпарка	Выпарка под атмосферным давлением
Температура, °C	31...36	78
Удельные энергозатраты, МДж/кг экстракта	0,91	1,5

В течение процесса вакуум-выпарки кофейного экстракта контролировались температура и расход экстрагента. Полученные данные представлены на рис. 2



а) – термограмма процесса; б) – расход конденсата

Рис. 2 – Характеристики процесса отгонки этанола из кофейного экстракта.

Из графиков видно, что процесс испарения экстрагента начинается через 3 – 4 минуты после включения установки, при этом температура и расход дистиллята сохраняются на постоянном уровне, что говорит об эффективном расходе подводимой энергии.

**Выводы.** Применение микроволновых технологий позволяет добиться равномерности подвода энергии к продукту в выпарном аппарате и исключить промежуточный теплоноситель. При этом энергия подводится непосредственно к воде (полярному экстрагенту) в продукте. Микроволновая вакуум-выпарка позволяет удалять воду или экстрагент при низких температурах (30...35 °C), что благоприятно влияет на качество конечного продукта. Применение вакуума в микроволновых выпарных установках позволяет значительно сократить удельные энергозатраты процесса.

#### Литература

1. PHCOG REV.: Microwave Assisted Extraction – An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research [Text] / Vivecananda Mandal, Yogesh Mohan, S. Hemalatha // Pharmacognosy Reviews, Vol.1, Issue 1, Jan-May, 2007, P. 7 – 18.
2. Chemat-Djenni Z. Atmospheric Pressure Microwave Assisted Heterogeneous Catalytic Reactions [Text] / Z. Chemat-Djenni, Boudjema Hamada, F. Chemat // Molecules 2007, 12, P. 1399 – 1409.
3. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. – Одесса: «Полиграф», 2010. – 368 с.
4. Бурдо О.Г. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В.// Труды IV Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов СЭТТ-2011». – Т.1, Москва, 2011. – С. 422 – 426.

УДК 664.723

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СУШКИ НЕДЕФОРМИРУЕМОГО, НАГРЕВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СУЩЕСТВОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ЕЁ «ТОРМОЖЕНИЯ».

Смирнов Г.Ф., д-р техн. наук, проф., Зыков А.В. канд. техн. наук  
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*В работе представлен подход к моделированию процесса сушки слоя сыпучего материала при кондуктивном энергоподводе. На основании решения уравнения нестационарной теплопроводности получены зависимости для определения температуры перегрева греющей поверхности и слоя сыпучего материала. Представлена модель фильтрации водяного пара сквозь слой зерна. Предложен механизм снижения скорости испарения на основании предположения об уменьшении радиусов кривизны границы фазовых переходов.*

*The new way of modeling of conductive drying of dispersed material is presented. On the base of solution of the equation of unsteady heat conduction, the dependencies for determination of heating surface superheat and temperature of dispersed material are obtained. The model of vapor filtration through the grain layer is shown. The mechanics of vaporization rate reducing based on the suggestion of decreasing of phase transitions radii is offered.*

Ключевые слова: обезвоживание, зерновой слой, тепломассообмен, моделирование.

В обстоятельной монографии [1] приводится объективный анализ современных взглядов на закономерности процессов сушки. Приведем то, что пишет в [1], на эту тему автор: «Фундаментальные основы теории сушки сложились в середине прошлого столетия и базируются на работах А.В.Лыкова и П.А.Ребиндера [2,3]. Основываясь на этих положениях, развиваются несколько научных направлений в теории сушки. Аналитические исследования посвящаются моделям градиентного переноса и термодинамическим моделям. Феноменологическая модель А.В.Лыкова дополнена Луциком П.П. соотношениями для учёта деформации в материале [4]. Углубленный анализ кинетики сушки проводится в центре сушки ИТТФ под руководством А.А. Долинского [5]. В работах Ю.Ф. Снежкина и Н.И. Никитенко предложена оригинальная модель влаго - обмена [6]». Такая краткая характеристика дана автором во введении. Далее в нём же приводится перечень многочисленных направлений экспериментальных исследований процессов сушки, их авторов и оценки их значимости. В завершении в этом введении автор пишет: «В данной монографии [1], не ставилась цель глубокого исследования теории сушки. Стержневым вопросом была