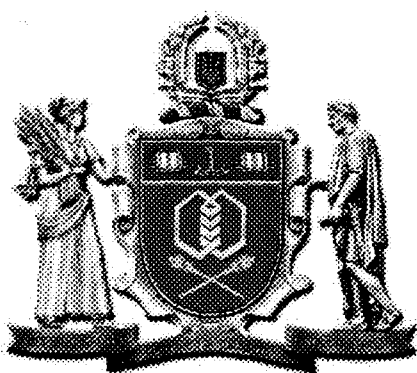


ISSN 2073 – 8730

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

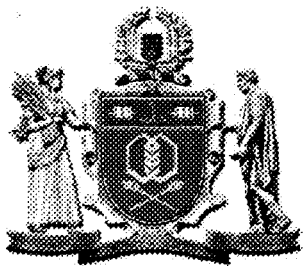
НАУКОВІ ПРАЦІ

**ВИПУСК 47
ТОМ 2**



ОДЕСА

2015



Міністерство освіти і науки України

НАУКОВІ ПРАЦІ ОНАХТ

Випуск 47, том 2, 2015

серія
Технічні науки

Засновник:
Одеська національна
академія харчових
технологій
Засновано в Одесі
у 1937 р.
Відновлено з 1994 р.

Наукові праці ОНАХТ входять до нового Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Бюлетень ВАК України, №5, 2010).

Головний редактор

Заступник головного редактора

Відповідальний редактор

Єгоров Б.В., д-р техн. наук, проф.

Капрельяни Л.В., д-р техн. наук, проф.

Бурдо О.Г., д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія:

Амбарцумян Р.В., д-р техн. наук, проф.

Безусов А.Т., д-р техн. наук, проф.

Віннікова Л.Г., д-р техн. наук, проф.

Гапонюк О.І., д-р техн. наук, проф.

Жигунов Д.О., д-р техн. наук, доцент

Іоргачева К.Г., д-р техн. наук, проф.

Коваленко О.О., д-р техн. наук, ст. наук. співр.

Крусір Г.В., д-р техн. наук, проф.

Мардар М.Р., д-р техн. наук, проф.

Мілованов В.І., д-р техн. наук, проф.

Осіпова Л.А., д-р техн. наук, доцент

Павлов О.І. д-р екон. наук, проф.

Плотніков В.М., д-р техн. наук, доцент

Савенко І.І., д-р екон. наук, проф.

Тележенко Л.М. д-р техн. наук, проф.

Ткаченко Н.А., д-р техн. наук, проф.

Ткаченко О.Б., д-р техн. наук, доцент

Хобін В.А., д-р техн. наук, проф.

Хмельнюк М.Г., к.т.н., доцент

Станкевич Г.М., д-р техн. наук, проф.

Черно Н.К., д-р тех. наук, проф.

**За достовірність інформації
відповідає автор публікації**

ББК 36.81 + 36.82

Реєстраційне свідоцтво
КВ №12577-1461 ПР
від 16.05.2007р. Видано
Міністерством юстиції України.

Усі права захищені.
Передрук і переклади
дозволяються лише зі згоди
автора та редакції.

Рекомендовано до друку
Вченою радою Одеської
національної академії харчових
технологій,
протокол № 12 від 02.06.2015 р.

Мова видання:
українська, російська,
англійська

УДК 663 / 664

Одеська національна академія харчових технологій

Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій

Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2015. – Вип. 47. – Том 2. – 236 с.

Адреса редакції:

вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

© Одеська національна академія харчових
технологій, 2015 р.

УДК 536.24

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООБМЕНА НЕПОДВИЖНОГО СЛОЯ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ

Дементьева Т.Ю., канд. техн. наук, Солодкая А.В., аспирантка
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Представлена методика экспериментального исследования коэффициентов теплоотдачи компонентов слоя. Получены обобщенные зависимости по теплоотдаче газового и твердого компонентов при наличии в слое источников тепла.

This article presents method of experimental study heat transfer coefficients of layer's components. Were obtained general dependencies of heat transfer gas and solid components in the layer if there is heat sources.

Ключевые слова: теплообмен, неподвижный слой, внутренние источники теплоты.

Процессы нагрева, охлаждения, сушки, прокали и терморазложения сыпучих материалов широко используются в различных отраслях промышленности. В отечественных и зарубежных исследованиях показана целесообразность осуществления этих процессов в рекуперативных теплообменниках с плотным движущимся продуваемым и непродуваемым слоем. Для разработки, расчета, проектирования и оптимизации таких теплообменников необходимо комплексное изучение тепломассопереноса в плотных слоевых системах. Результаты таких исследований находят применение при тепловых расчетах различных устройств: установок энерготехнологических переработки топлива; химических реакторов; регенераторов катализатора; радиационных труб высокотемпературных печей для производства высокочистых окислов; сушилок для дисперсных материалов, для которых недопустим либо нежелателен непосредственный контакт с сушильным агентом; аппаратов для термообработки материалов, продукты разложения которых необходимо улавливать; теплообменных аппаратов энергетической установок с плотным слоем промежуточного теплоносителя [1, 4].

Строгое описание процессов переноса в плотном неподвижном фильтруемом слое дисперсного материала затруднено в связи с тем, что он представляет собой гетерогенную двухкомпонентную систему «газ-твердые частицы», в которой на границе раздела компонентов скачкообразно изменяются физические свойства и параметры. Поэтому при разработке методов расчета слоевых аппаратов используют различные упрощенные модели, основанные на определенных представлениях. Достаточно обоснованными являются одно- и двухкомпонентные модели. В однокомпонентных моделях слой рассматривается как квазисплошная среда с эффективными коэффициентами переноса. Такие модели, привлекающие своей простотой, могут быть использованы лишь в ограниченной области изменения параметров, когда температуры газового и твердого компонентов практически одинаковы [3]. В ряде случаев (например, при наличии тепловыделения в слое, низкой интенсивности межкомпонентного теплообмена, кратковременных нестационарных процессах) температуры компонентов существенно различаются. В подобных условиях применяют двухкомпонентные модели, согласно которым слой рассматривается как система двух взаимопроникающих континуумов (твердого и газового компонентов) с соответствующими эффективными коэффициентами переноса. Процессы в каждом компоненте описываются уравнениями для сплошных сред, а взаимодействие между ними учитывается с помощью коэффициентов межкомпонентного теплообмена. Такие модели достаточно полно отражают основные особенности протекающих в слое процессов, в то же время сравнительно просты (не смотря на трудности в определении коэффициентов переноса для каждого компонента) [2, 4].

При расчетах температурных полей в неподвижном продуваемом слое с погруженными поверхностями необходимы данные по пристенным коэффициентам теплоотдачи компонентов, определение которых является более сложной процедурой, чем определение коэффициентов теплоотдачи слоя. При наличии тепловыделений низкой интенсивности температуры газа и частиц не равны между собой. В этом случае необходимо определять два параметра – пристенные коэффициенты теплоотдачи газового и твердого компонентов.

Расчетные зависимости коэффициентов теплоотдачи были получены на основе двухкомпонентной модели слоя как решение одномерных уравнений энергии, описывающих теплоперенос в газовом и твердом компонентах при наличии источников тепла в твердом компоненте

$$G_T C_{pT} \frac{dt_T}{dx} = -\alpha_m^T E_m (t_T - t_m) + \alpha_m \alpha (1 - \beta_2) (t_T - t_T) \quad (1)$$

$$-\alpha_m \alpha (1 - \beta_2) (t_T - t_T) - \alpha_m^T E_m (t_T - t_m) + q_v (1 - \beta_2) = 0 \quad (2)$$

Граничное условие на входе

$$x = 0; \quad t_T = t_T' \quad (3)$$

- где G_T – массовая скорость фильтрации газа, кг/(м²/с);
 C_{pT} – удельная теплоемкость газа, Дж/(кг·К)
 α – площадь погруженных поверхностей в единице объема, м²/м³;
 t_T, t_m – текущие температуры газового и твердого компонентов соответственно, К;
 α_m – коэффициент межкомпонентного теплообмена, Вт/(м²·К);
 α – поверхность частиц в единице объема слоя, м²/м³;
 β_2 – доля объема, затаманого погруженными поверхностями;
 q_v – удельная мощность внутренних источников тепла, Вт/м³.
 Уравнения (1) и (2) справедливы при следующих допущениях:
 а) физические характеристики газового и твердого компонентов постоянны;
 б) мощность всех погруженных поверхностей одинаковы;
 в) термическое сопротивление теплопроводности частиц пренебрежимо мало;

г) продольный кондуктивный перенос тепла в компонентах слоя пренебрежимо мал по сравнению с конвективным теплопереносом и теплом, выделяемым внутренними источниками тепла.

При аналитическом решении уравнений энергии (1) и (2) получены следующие зависимости для распределения температур в газовом и твердом компонентах, которые являются исходными для экспериментального определения пристенных коэффициентов теплоотдачи:

$$t_T = t_m + \left[(t_m - t_T') + \frac{B_1 H}{(1 + \beta_2) P} \right] \exp(Px) - \frac{B_1 H}{(1 + \beta_2) P} \quad (4)$$

$$t_m = t_m + \frac{(t_T - t_m)' + H}{1 + \beta_2} \quad (5)$$

$$P = \frac{B_1}{1 + \beta_2} - B_1 - E_1$$

$$E_1 = \frac{\alpha_m^T E_m}{\alpha_T C_{pT}}, \quad E_2 = \frac{\alpha_m^T E_m}{\alpha_m \alpha (1 - \beta_2)}$$

$$B_1 = \frac{\alpha_m \alpha (1 - \beta_2)}{\alpha_T C_{pT}}, \quad H = \frac{q_v}{\alpha_m \alpha}$$

Поскольку исходные уравнения (1) и (2) записаны в одномерном приближении, то при проектировании экспериментального стенда и проведении опытов необходимо обратить внимание на равномерность размещения погруженных теплообменных поверхностей, а также равномерность распределения внутренних источников тепла, структуры слоя и скоростей газа.

При соблюдении указанных условий в поперечных сечениях будут наблюдаться только незначительные флуктуации температуры, которые могут быть учтены путем использования при обработке экспериментальных данных, осредненных по поперечному сечению температур компонентов.

Проведенные ранее расчетно-экспериментальные исследования показали, что для возможности пренебрежения термическим сопротивлением теплопроводности частиц с продольным кондуктивным переносом опыты необходимо проводить при значительных числах Био:

$$Bi = \frac{\alpha_m \alpha L}{k_T} \leq 0.1 \quad (6)$$

и числа Пекле:

$$Pe = \frac{G_T C_{pT} L}{\alpha_m \alpha (1 - \beta_2) L} \geq 20 \quad (7)$$

где β_1 – доля поперечного сечения, занятого погруженными поверхностями;

$z_{\text{в}}$ – минимальное расстояние от входа до сечения, в которых измеряются температуры компонентов, м;

λ_{Γ}^* – продольный эффективный коэффициент теплопроводности газового компонента, Вт/(м·К).

Входящие в уравнения (4) и (5) коэффициент межкомпонентного теплообмена α_M и удельная поверхность частиц в единице объема слоя α могут быть рассчитаны по зависимостям:

$$\alpha = \frac{\varepsilon}{d_T} (1 - \varepsilon) \quad (8)$$

- при $Re = \frac{\rho_T \dot{V}_T}{\mu_T} \leq 200$

$$\alpha_M = 0.106 \frac{\lambda_T}{d_T} Re_T \quad (9)$$

- при $Re = \frac{\rho_T \dot{V}_T}{\mu_T} > 200$

$$\alpha_M = 0.61 \frac{\lambda_T}{d_T} Re_T^{0.67}, \quad (10)$$

где

d_T – диаметр частиц, м;

ε – порозность слоя;

λ_{Γ} – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К);

μ_{Γ} – коэффициент динамической вязкости Па·с.

При проведении экспериментальных исследований измеряют расход газа, мощность внутренних источников тепла, температуру погруженных поверхностей газа и частиц на входе и в нескольких продольных сечениях слоя (координаты которых известны).

По результатам измерений пристенный коэффициент теплоотдачи твердого компонента может быть определен непосредственно из уравнения (2):

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{q_{\text{пр}}(1 - \varepsilon_2) - \varepsilon_2 \alpha (1 - \varepsilon_2)(t_1 - t_2)}{F_{\text{пр}}(t_1 - t_{\text{пр}})} \quad (11)$$

Пристенный коэффициент теплоотдачи газового компонента может быть найден путем решения трансцендентного уравнения (4)

По изложенной выше методике было исследовано влияние различных факторов на теплообмен неподвижного продуваемого слоя, содержащего внутренние источники теплоты, с коридорным трубным пучком. В качестве насадки использовалась свинцовая дробь сферической формы. В качестве газового компонента использовался воздух. Геометрические и режимные условия проведения опытов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Диапазон изменения основных входных характеристик

Диаметр труб, D, мм	Поперечный шаг труб, S_1 , мм	Продольный шаг труб, S_2 , мм	Скорость фильтрации, W, м/с	Диаметр частиц, d_T , мм	Мощность внутренних источников, q_v , Вт/м ³
30	От 30 до 70	От 30 до 70	От 0,1 до 0,5	От 5 до 9	От 10^3 до 10^6

В результате экспериментальных исследований получили, что с ростом мощности внутренних источников теплоты, при прочих равных условиях температуры компонентов слоя и их разность возрастает.

При рассмотрении влияния скорости фильтрации на теплообмен плотного продуваемого слоя получили, что увеличение скорости фильтрации приводит к уменьшению температур газового и твердого компонентов.

При данной методике проведения опытов возможным является также изменение размера твердых частиц (диаметр свинцовой дроби), то своеобразно влияет не столько на температуры компонентов, а на теплоотдачу слоя в целом. Так, если увеличить диаметр частиц, то сами значения температур газового и твердого компонентов изменяется незначительно, а их разность значительно возрастает.

Еще один вариант возможности влияния на температуры компонентов – это изменение площади погруженных поверхностей в единице объема. Увеличение площади теплоотводящих поверхностей (что было достигну-

то путем понижения поперечного и продольного шагов труб) приводит к уменьшению температур компонентов. Различие между температурами твердого и газового компонентов увеличивается с уменьшением площади погруженных поверхностей в единице объема.

Все экспериментальные данные со среднеквадратической погрешностью 12-15% обобщаются зависимостями:

$$Nu_{\Gamma}^I = \frac{\alpha_{\Gamma}^I \cdot D}{\lambda_r} = 3,4 Re_D^{0,38} \left(\frac{D}{d_r} \right)^{0,17} \quad (12)$$

$$Nu_{\Gamma}^I = \frac{\alpha_{\Gamma}^I \cdot D}{\lambda_r} = 2,1 Re_D^{0,37} \left(\frac{D}{d_r} \right)^{0,26} \quad (13)$$

Формулы справедливы в диапазоне чисел Рейнольдса от 150 до 1600 и симплекса $\frac{D}{d_r}$ от 3,2 до 6,4.

Выводы

1. Формулы Тимофеева (9) и (10) в пределах их погрешности можно рекомендовать для расчетов коэффициентов межкомпонентного теплообмена в слое, содержащем внутренние источники тепла и погруженные поверхности.
2. Различие между температурами газа и частиц возрастает с увеличением мощности внутренних источников тепла и диаметра частиц, а также с уменьшением скорости фильтрации газа и площади погруженных поверхностей в единице объема.
3. Существенного влияния мощности внутренних источников тепла на пристенные коэффициенты теплообмена не выявлено. Мощность внутренних источников оказывает существенное влияние на распределение температур в слое и разницу температур между компонентами.
4. Пристенные коэффициенты теплообмена газового и твердого компонентов слоя в различных пропорциях возрастают с увеличением скорости фильтрации и уменьшению диаметра частиц.
5. Полученные обобщенные зависимости (12) и (13) могут быть использованы для расчета пристенных коэффициентов теплообмена в указанном диапазоне изменения определяющих параметров

Литература

1. Аэров М.Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Гидравлические и тепловые основы работы / А.Э. Аэров, О.М. Годес, Д.А. Наинский. - Л: Химия, 1979. - 176 с.
2. Календерьян В.А. Теплообмен и сушка в движущемся плотном слое / В.А. Календерьян, В.В. Корнараки. - Одесса: Выща школа, 1982. - 160 с.
3. Календерьян В.А. Об учете теплообмена неподвижного фильтруемого слоя с погруженными поверхностями двухкомпонентной модели переноса / В.А. Календерьян, В.Р. Гапасов, О.Л. Овчаренко. - ИФЖ, 1992. - Т.63. - №1. - С. 63-68.
4. Moselmian D. Heat transfer to horizontal tubers in a fluidized bed. The role of superficial gas and local particle velocities / D. Moselmian, M.M. Chen, B.T. Chan // Exp. Therm. And Fluid Sci., 1991. - 4. - №1. - P. 76-89.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЭКСТРАКТОВ СТЕВИИ В МИКРОВОЛНОВОЙ ВАКУУМ-ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ

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 рассматриваются недостатки традиционных технологий выпаривания. Предлагается обеспечить равномерность подвода энергии за счет использования микроволновых технологий. Описана конструкция лабораторного образца вакуум-выпарной установки с микроволновым подводом энергии. Рассмотрены перспективы использования микроволновых технологий выпаривания для производства концентратов стевии. Приведены результаты экспериментальных исследований концентрирования экстрактов стевии.

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 prospects of microwave evaporation technologies in Stevia Rebaudiana extracts concentration are considered. The results of experimental researches of Stevia Rebaudiana extracts concentration are given.

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

Процесс выпарки является ключевым в технологиях целого ряда пищевых продуктов. Известно, что теплопроводность пищевых продуктов (соки, экстракты) с увеличением содержания сухих веществ понижается. За счет этого в большинстве существующих выпарных аппаратов не обеспечивается равномерный подвод энергии к продукту, что ведет к его «пригоранию», т.е. термическому повреждению, а также снижает энергетическую эффективность процесса.

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].

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 и выполняют функцию греющей поверхности. Таким образом площадь поверхности теплообмена должна возрастать на порядки. Реализуется схема подвода энергии, показавшая высокую эффективность в технологиях сушки [3, 4].

В пищевых технологиях одним из решающих параметров, диктующих требования к проведению технологического процесса и оборудованию, является качество продукта. Воздействие высоких температур, как правило, ухудшает вкус и аромат продуктов, способствует окислению или разрушению биологически активных веществ, таких как витамины, полиненасыщенные жирные кислоты, пигменты. В то же время низкие температуры обработки не позволяют инактивировать всю патогенную микрофлору в продукте, что снижает сроки его хранения и вынуждает использовать консерванты. Ряд работ подтверждает эффективность низкотемпературной пастеризации и стерилизации пищевых продуктов в микроволновом поле [5].

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

Схема установки представлена на рис. 1.

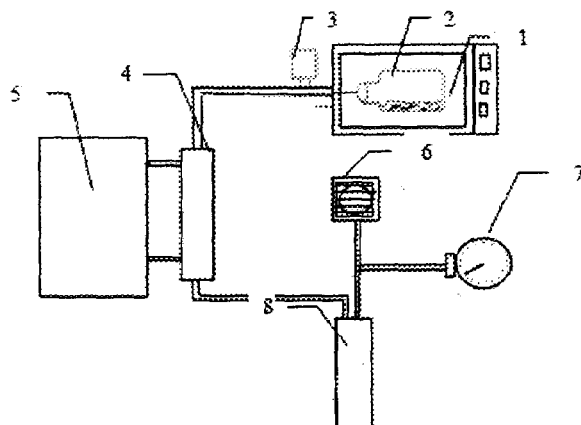


Рис. 1 – Микроволновая вакуум-выпарная установка

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 вакууметром образцовым 7. Дистиллят стекает из холодильника в приемную емкость 8.

Важной особенностью данной установки является обеспечение высокой герметичности. Это позволяет использовать её для отгонки легколетучих и пожароопасных экстрагентов, таких как этанол, гексан, ацетон.

Технологии вакуум-выпарной выпарки были применены для концентрирования экстрактов стевии *Stevia Rebaudiana* – природного сахарозаменителя. Стевия содержит 6-18 % гликозида стевииозида, который слаще сахара в 250...300 раз. Не вызывает повышения уровня глюкозы в крови. В качестве сахарозаменителя её широко применяют в Японии, а в США и Канаде используют как пищевую добавку. Медицинские исследования также показали хорошие результаты использования стевии для лечения ожирения и гипертонии. Кроме того листья стевии содержат флавоноиды, водорастворимые хлорофиллы и ксантофиллы, оксикоричные кислоты (кофейная, хлорогеновая), 17 аминокислот, минеральные соединения, витамины А, С, Д, Е, К, Р, сапонины, клетчатку, дубильные вещества, микроэлементы, эфирное масло [6]. Комплекс этих соединений позитивно действует на организм человека, в том числе снижает уровень глюкозы и инсулина в крови, улучшает функциональные возможности иммунной системы, обладает антиоксидантным, антикариесным и антибактериальным действием [6].

Существует целый ряд способов получения экстрактов стевии. Однако все они отличаются или высокими температурами обработки (около 100 °С) или продолжительностью (до 20...30 часов). При этом в большинстве способов обязательной стадией является концентрирование экстракта выпаркой [7, 8].

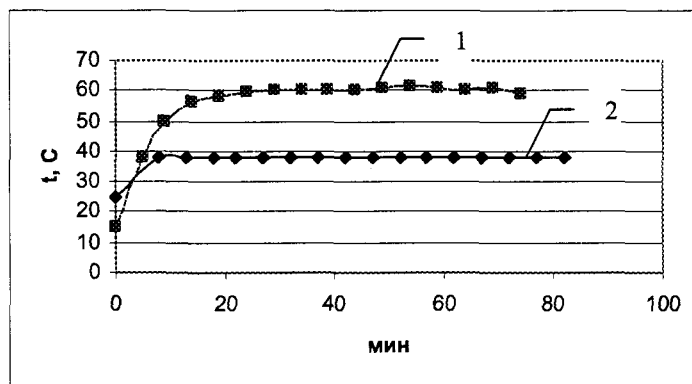
Были получены образцы экстракта стевии при температуре 40...45 °С, гидромодулях 1:25, 1:50 в микроволновом поле. Продолжительность процесса не превышала 40 минут. При этом основная масс экстрактивных веществ была извлечена в течение первых 20 минут. Удалось извлечь 44...46% сухой массы листьев.

Полученные экстракты концентрировались в микроволновой вакуум-выпарной установке. Характеристика проведенных экспериментов приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики экспериментов

Параметр	Режим 1	Режим 2
Вакуум, кПа	11...12	11...12
Энергоподвод, Вт/кг	570	280
Температура, °С	60	38

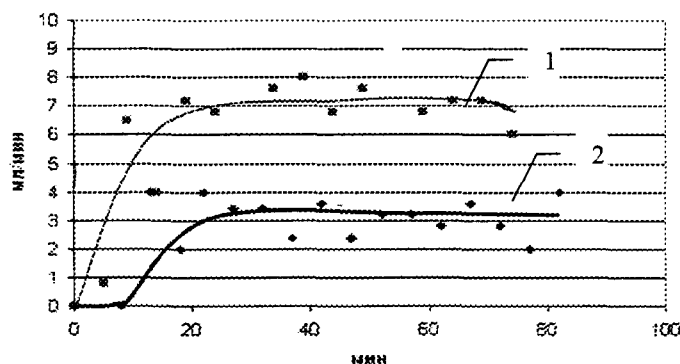
По термограммам (рис.2) видно, что с увеличением количества подведенной энергии значительно растет температура. В первом опыте она держалась на уровне 60 °С, в то время, как температура кипения воды при данном давлении не превышает 47 °С. Это указывает на перегрев смеси и пара и недостаточно эффективное использование энергии.



1 - Режим 1; 2 - Режим 2

Рис. 2 – Термограммы процесса выпаривания экстракта стевии:

Из графиков расхода конденсата (рис. 3) видно, что в Режиме 1 процесс испарения протекал одновременно с нагревом экстракта.



1 - Режим 1; 2 - Режим 2

Рис. 3 – Расход конденсата

В результате получен экстракт стевии с концентрацией сухих веществ 11,6 %. Такого экстракта достаточно 3...4 капли на 1 чашку чая или кофе (рис. 4).

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.

За счет того, что по всему объему выпариваемого продукта возникают очаги парообразования, на порядки возрастает поверхность теплообмена в аппарате.

Температура выпариваемого продукта зависит не только от давления в аппарате, но и от количества подведенной микроволновой энергии и может значительно превышать температуру кипения. В то же время, интенсивное испарение воды

**Рис. 4 – Экстракт стевии**

Литература

1. PHCOG REV.: Microwave Assisted Extraction – An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research [Text] / Vivekananda 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.
5. Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. Процессы инактивации микроорганизмов в микроволновом поле [Текст]. – О. : Полиграф, 2010. – 200 с.
6. Коренман Я.И., Мельникова Е.И., Нифталиев С.И., Боева С.Е. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ STEVIA REBAUDIANA B. // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 4 – С. 16-19
7. Пат. № 2239333 Российская Федерация МПК A23L1/236, A23L1/22. СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРАКТА ИЗ РАСТЕНИЯ STEVIA REBAUDIANA BERTONI ДЛЯ КОНСЕРВИРОВАНИЯ / Шаззо Р.И., Ерашова Л.Д., Павлова Г.Н., Ермоленко Р.С., Алехина Л.А., Артюх Л.В. – 2003111515/13; заявл. 21.04.2003; опубл. 10.11.2004
8. Пат. № 2167544 Российская Федерация МПК A23L1/236, C12G1/00. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТА ИЗ РАСТЕНИЯ STEVIA REBAUDIANA BERTONI ДЛЯ ВИНОДЕЛИЯ / Шаззо Р.И., Ерашова Л.Д., Дергунов А.В., Жуков А.И. – 99105187/13; заявл. 09.03.1999; опубл. 10.04.2001

УДК 663.938.061.3.086

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КОФЕ

Терзиев С.Г., канд. техн. наук, Левтринская Ю.О., аспирант,
Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В работе рассмотрены современные технологии экстрагирования с использованием микроволнового поля. Показаны результаты применения комбинированных методов, которые позволяют достигнуть положительных результатов при экстрагировании компонентов. Приведены результаты отечественных и зарубежных исследований. Проведено сравнение с традиционными методами. Предложена принципиальная схема повышения эффективности использования сырьевых ресурсов и энергии при производстве экстрактов кофе.

In this work new technologies of extraction with using microwave field are revived. Results of using combining methods, which one offer to reach positive results in extraction. Results of domestic and foreign investigations are shown. The comparison with traditional methods are performed. A basic scheme for more efficient use of raw materials and energy in the production of coffee extracts are offered.

Ключевые слова: Экстрагирование, микроволновые технологии, кофе, экстракт, бародиффузия

Введение. Производство растворимого кофе включает в себя различные этапы подготовки и обработки сырья (обжарка, дробление), получения экстракта и его сушки. Извлечение ценных компонентов из кофейного сырья представляет собой сложный процесс в первую очередь из-за его капиллярной структуры, из которой сложно извлечь целевые компоненты. Наиболее массово применяется технология экстрагирования горячей водой под давлением – далее будем называть ее традиционной. При использовании высокого давления появляется возможность разогревать кофейное сырье до 180°C, что значительно интенсифицирует процесс экстрагирования. Однако традиционная методика экстрагирования имеет ряд недостатков, среди которых большая длительность процесса (7-8 часов), техническая сложность конструкций, их металлоемкость, из-за высокой температуры разрушаются легколетучие вкусоароматические компоненты (до 80% от начального содержания в обжаренных кофейных зернах). При применении традиционной методики экстрагирования выход целевых компонентов составляет от 20 до 33% от массы сырых кофейных зерен [1]. Экстракт, полученный с использованием традиционной методики экстрагирования, это энергоёмкий и дорогой продукт.

Экономически выгодные экстракты сегодня производят на основе инновационных подходов с привлечением микроволновой энергии, ультразвука и пр. Предполагается, что направленное воздействие позволит извлекать целевые вещества из микрокапилляров сырья. [1, 2]

Микроволновое экстрагирование и его основные особенности.

Кофейное зерно имеет капиллярную структуру размером от 5 нм. Размер молекул воды, в свою очередь, составляет всего 0,096 нм, что позволяет им проникать в капилляры кофейных зерен. При воздействии микроволновой энергии вода внутри капилляров испаряется и за счёт возросшего давления содержимое капилляров выбрасывается. Такое явление получило название бародиффузия. [1].

На сегодняшний день для микроволнового экстрагирования разработаны устройства, позволяющие обрабатывать небольшое количество продукта. Изначально разработкой таких устройств занимались в научных и коммерческих лабораториях. В последнее время крупные компании также заинтересованы в развитии таких технологий. Микроволновые устройства для экстрагирования, как правило, применяются в исследовательской работе, либо для нужд фармацевтики. Их разделяют на два типа: устройства закрытого либо открытого типа. Для обработки больших объемов образцов системы закрытого типа не приспособлены, как правило они снабжены несколькими плотно закрывающимися емкостями из диэлектрически проницаемого материала. Объем таких емкостей не превышает 100 мл. Системы открытого типа позволяют обрабатывать образцы большего размера, что дает потенциальную возможность применять их в производственных нуждах. Однако на сегодняшний день аппараты для микроволнового экстрагирования, которые имеют большую производительность не производятся массово. В таблице 1 представлены характеристики некоторых микроволновых устройств для экстрагирования, которые выпускаются серийно. [3]

Таблица 1 – Обзор современных микроволновых устройств и их основные отличительные особенности

Устройство	Примечания
Корпорация CEM; MARS (открытый и закрытый тип конструкции)	Регулируемая мощность до 1600 Вт; Возможности настройки конденсаторов флегмы, использование дополнительных реагентов, дополнительное перемешивание, и т.д.; Вместимость до 40 емкостей (75 мл) при закрытой системе и одна емкость в 5 мл для открытого режима. 50–300°C в зависимости от емкости и повышение давления до 34 бар
Корпорация CEM; Discover series (открытый и закрытый тип конструкции)	Фокусировка микроволн до 300 Вт с высокой эффективностью; Режим единичной камеры с вместимостью емкости до 300 мл; Взаимодействие с автосемплером от 12 до 96 точек; 80–300°C при давлении до 21 бар; Динамический режим работы при непрерывной работе
Milestone; Ethos EX Lab; (закрытый тип конструкции)	От 1 до 100 г; мощность до 1600 Вт; Регулируемые двигатели для обычных режимов работы, высокая пропускная способность и анализ крупных проб; магнитная мешалка, испарение растворителя и восстановление после обработки; Контроль давления до 35 бар
Milestone; Ethos Digestion Lab series (открытый и закрытый тип)	Удобство для процедур разваривания; максимальное рабочее давление 100 бар; Различные конфигурации двигателей .
Anton Paar; Multiwave 3000; (закрытый тип конструкции)	Регулируемая мощность до 1400 Вт; Перемешивающее устройство и система быстрого охлаждения. Обработка до 48 образцов одновременно. Контролируемое испарение растворителя для просушки экстракта
Aurora; Biomed; Transform 800; (закрытый тип конструкции)	Обработка до 10 образцов; Максимальные режимы 250°C и 55 бар Централизованный контроль давления и температуры.
Sineo; MDS-8; (закрытый тип конструкции)	Регулируемая мощность до 1200 Вт Обработка до 10 образцов; Максимальные режимы 300°C и 80 бар.
Sineo; MDS-10; (закрытый тип конструкции)	Регулируемая мощность до 1800 Вт Обработка до 15 образцов. Максимальные режимы от 300°C до 15 бар

Каждый из типов микроволновых систем имеет свои преимущества и недостатки. Среди достоинств систем закрытого типа можно выделить то, что имеется возможность использовать различные растворители, например кислоты и щёлочи. Закрытые системы препятствуют разрушению едкими парами электроники и корпуса микроволнового экстрактора и позволяют сохранить легколетучие субстанции. Однако работа с закрытыми емкостями имеет недостатки: обработке может быть подвергнуто небольшое ко-

личество продукта (обычно не более 100 г), изготовление и работа с емкостями из стекла или политетрафторэтилена представляет дополнительные сложности, повышаются требования к безопасности систем.

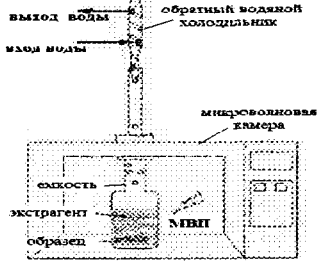
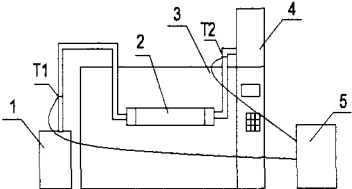
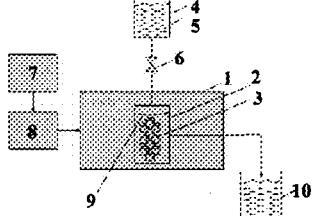
Системы, работающие при атмосферном давлении, системы открытого типа, могут быть так же эффективны, как и микроволновые системы закрытого типа, или даже эффективнее. Преимущество этих систем в их безопасности благодаря отсутствию высоких давлений, возможности обработки больших образцов и термолабильного сырья за счёт использования низких температур (ниже 100°C), кроме того есть возможность полной автоматизации работы таких аппаратов.

Новейшие методики экстрагирования. В последнее время наблюдается тенденции разработки различных режимов экстрагирования в микроволновом (МВ) поле, а также к комбинированию различных методик для достижения лучших результатов. При сочетании традиционных методик экстрагирования горячей водой с воздействиями электромагнитного и ультразвукового полей появляется возможность значительно увеличить выход целевого компонента по сравнению с этими методиками в чистом виде.

Микроволновое экстрагирование позволяет получать положительные результаты при использовании различного сырья и растворителей. С применением микроволновых аппаратов осуществляют экстрагирование из кофейного сырья, табака, какао, получают ценные биоактивные компоненты из различных растений.

В исследованиях кафедры процессов и аппаратов и энергетического менеджмента микроволновые технологии для интенсификации процессов применяются с конца 90х годов. В рамках работы над диссертациями и научно-исследовательских работ были разработаны аппараты для микроволнового экстрагирования. Достигнуты положительные результаты в экстрагировании из кофе и кофейного сырья, производстве коньяков, экстракции масел льна и амаранта [1, 2]. В таблице 2 показаны характеристики таких установок.

Таблица 2 – Характеристика экспериментальных установок для экстрагирования

Устройство аппарата	Характеристики и результаты эксперимента
	Для экстрагирования масла амаранта. Растворители: спирт, гексан и нефрас, температура: 20...78°C, 20...55°C, 20...80°C; Длительность проведения эксперимента: 3...180 мин; Мощность МВ поля 127...425Вт; Выход масла амаранта доведен до 30...35%; данный экстрактор обеспечивает высокое качества масла амаранта с массовой долей сквалена 33,1-38,8 г/кг [8]
 1, 4 – резервуары для экстрагента; 2 – экстрактор; 3 – установка, создающая микроволновое поле; 5 – измерительный прибор; T1 и T2 – термодатчики	Для экстрагирования применялись кофейные молотые зерна с размером частиц 0,5...1 мм; 1...2 мм; 2...5 мм и целые зерна; Расход экстрагента изменялся в диапазоне от $2,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $7,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; температура поднималась до 60°C; мощность МВ поля изменялась от 150 до 1050 Вт. Выход из твердой фазы - 38,6%. В жидкой фазе концентрации с.в. до 60%. Выход веществ в 1,4 раза выше, чем в традиционных термических режимах. [1]
 1 – камера с МВ генератором; 2 – колонка экстрактора; 3 – древесина; 4, 10 – емкости; 5 – водно-спиртовой раствор; 6 – регулятор расхода; 7 – блок управления; 9 – распределительная решетка.	Экстрагирование происходит в системе древесина-экстрагент; температура экстракта до 50°C; Время экстрагирования 10...12 минут; проточный аппарат позволяет производить экстрагирование из древесины дуба с расходом 1,43 мл/с; Мощность прилагаемого МВ поля от 500 Вт до 900 Вт; степень интенсификации процесса по сравнению с традиционными методами составляет 100-1000 раз. Дегустаторы отмечают высокие качественные показатели опытных образцов коньячного спирта. [8]

Для экстрагирования из листьев какао в исследованиях кафедры химической инженерии Малайского университета применялся аппарат на основе бытовой микроволновой печи (Samsung MW718), оснащенный дополнительными регуляторами. Осуществлялись двухступенчатые и дискретные режимы экстрагирования. [4] Реализовывались различные режимы работы: ступенчатое изменение мощности микроволнового поля, режим с прерываниями воздействия поля, пилообразное изменение мощности микроволнового поля. Результаты, полученные в исследовании, представлены в таблице 3..

Таблица 3 – Условия режимов экстрагирования биологически активных веществ

Режим	Условия проведения эксперимента (входная мощность/ время экстрагирования)	Выход экстрагированных компонентов (мг/г)
Постоянная мощность	150 Вт/ 20 минут	9,82
Двухступенчатое изменение мощности	а) этап 1: 100 Вт / 13:46 минут; этап 2: 300 Вт / 4:14 минут;	10,50
	б) этап 1: 300 Вт / 3:20 минут; этап 2: 100 Вт / 6:40 минут;	10, 65
Режим с прерыванием МВ воздействия	а) 150 Вт / (вкл: 4 мин, выкл: 4 мин) 32 мин.	9,89
	б) 300 Вт / (вкл: 1 мин, выкл: 3 мин) 16 мин.	9,93
Пилообразное изменение мощности	а) 500 Вт / (периодичность 25 с) 30 мин.	9,79
	б) 500 Вт/ (периодичность 40 с) 15 мин.	10,00

В исследованиях тагасского научного центра совместно с колледжем пищевых наук, Фуцзяньского университета сельского и лесного хозяйства [5] использовалась комбинированная методика экстрагирования полисахаридов из *Fortunella margarita* (кумкват). Экстрагирование кислотами или щелочами не применяется по причине того, что полисахариды повреждаются при взаимодействии с ними. Поэтому, традиционно применяется метод сверхкритической флюидной экстракции, который имеет серьезные недостатки. Это сложность оборудования, его эксплуатации и его высокая стоимость. В сочетании с методиками микроволнового и ультразвукового экстрагирования есть возможность значительного ускорения процесса и чистоту выделяемых полисахаридов. Методика ультразвуковой микроволновой синергетической экстракции использует кавитационные колебания и высокий энергетический потенциал микроволновой энергии.

Комбинированная методика экстрагирования также применялась в исследованиях Университета Сун Ятсена (Китай). Свой метод экстрагирования они называют техника гибридного полевого дисперсного экстрагирования в системе твердое тело-жидкость-твердое тело. Целевыми компонентом при экстрагировании были хлороорганические пестициды, содержащиеся в табаке. Для экстрагирования применялся прибор UWave-1000. [6]

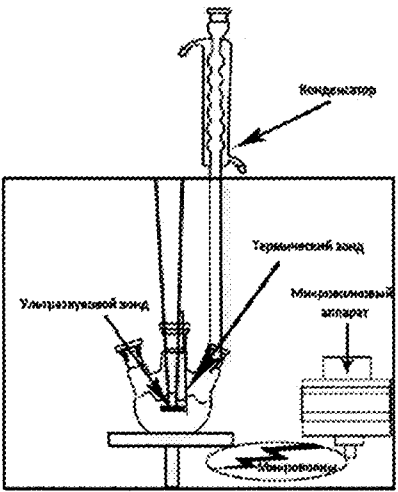
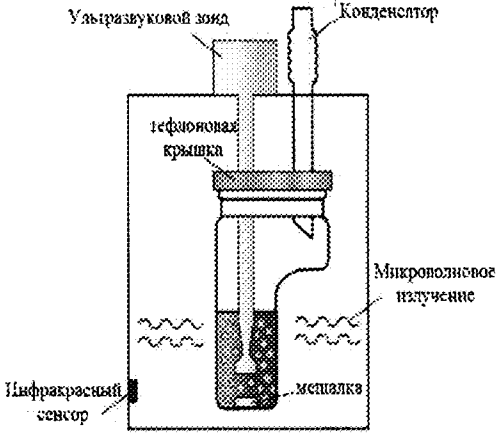
Комбинированные методики экстрагирования применяют в своих исследованиях специалисты Национального технологического университета Чин-Йи (Тайчунг, Тайвань). Техника гибридной микроволнового термального экстрагирования применяется для получения биологически активных компонентов из корня шелковицы. [7]. Результаты исследований сведены в таблицу 4.

Анализ приведенных исследований показал, что при применении микроволнового поля значительно повышается выход целевых компонентов. Способность экстрагента к их растворению снижается с повышением концентрации этих компонентов в экстракте. Потому непрерывное воздействие микроволнового поля в процессе экстрагирования менее эффективно, чем режимы, включающие в себя смену экстрагента.

Авторы сформировали гипотезу, что использование последовательных стадий работы микроволнового экстрактора, которые включают промывку истощенных зерен исходным экстрагентом, истощивание целевых компонентов из капиллярных структур зерен и укрепление экстракта, должны позволить инициировать в условиях МВ – поля мощный бародиффузионный поток целевых компонентов из объема зерен. Такой режим работы должен обеспечить практически полное извлечение целевых компонентов из зерен при температурах до 100°C, что позволит предотвратить разрушение ценных компонентов, повысить качество продукта, снизить энергоёмкость аппарата, повысить его производительность и обеспечить

непрерывность процесса. На рисунке 1 представлены схема ведения процесса и основные зоны микроволнового экстрактора.

Таблица 4 – Комбинированные методики экстрагирования и результаты экспериментов

Устройство аппарата	Характеристики эксперимента	Результаты
	ХН-300В с ультразвуковым устройством (максимальная мощность около 1500 Вт и частота близко 25МГц). МВ мощность 1000 Вт при частоте 2450 МГц). Для экстрагирования использовали 5 г <i>F. Margarita</i> измельченного до порошкового состояния, разведенного в воде. (в соотношении 30-90 мл/г). Экстрагирование проводилось в течение 30-120 с при воздействии ультразвукового (50-200 Вт) и микроволнового (25-175 Вт) полей. Экстракт был отфильтрован с использованием центрифуги при температуре 25°C и при скорости вращения 5000 об. мин. в течение 10 минут.	выход полисахаридов может увеличен до 405,52%, 128,18%, 76,62% по сравнению с экстрагированием горячей водой, ультразвуковым экстрагированием и микроволновым экстрагированием соответственно
	Аппарат для экстрагирования UWave-1000 представляет собой простую закрытую систему, выполненную из стекла. Микроволновое излучение с максимальной мощностью 1000 Вт при частоте 2450 МГц есть возможность динамического регулирования температуры изменением мощности, ультразвуковое поле с частотой от 26 до 28 КГц и регулируемой мощностью от 0 до 800 Вт. Температуру измеряли с помощью инфракрасного сенсора, расположенного на внутренней стенке аппарата	Возможность извлекать вещества, которые не удавалось получить при применении методики ультразвукового и традиционного экстрагирования. Общая эффективность получения веществ в сравнении с другими методиками выход компонентов повышен.
Аппарат состоит из: МВ модуля, который включает магнетрон с максимальной мощностью 800 Вт и частотой 2450 МГц, корпус с защитой и экранированием и стеклянные прозрачные для микроволн емкости; разделяющего модуля, который состоит из внутреннего движущегося ротора и зафиксированного внешнего статора; температурного модуля, который содержит трубку обратного потока, циркуляционный насос и датчик температуры.	Микроволновая мощность: 193 Вт, 139 Вт, 46 Вт; Скорость гомогенизации: 0 об.мин., 4000 об.мин, 5000 об.мин; Концентрация этилового спирта в растворителе: 40%, 60%, 80%; Время экстрагирования: 5 мин, 10 мин, 15мин	Определены параметры, дающие лучшие результаты по выходу флавоноидов. По сравнению с простым МВ экстрагированием выход увеличен на 36,24%, 28,85% и 21,11%

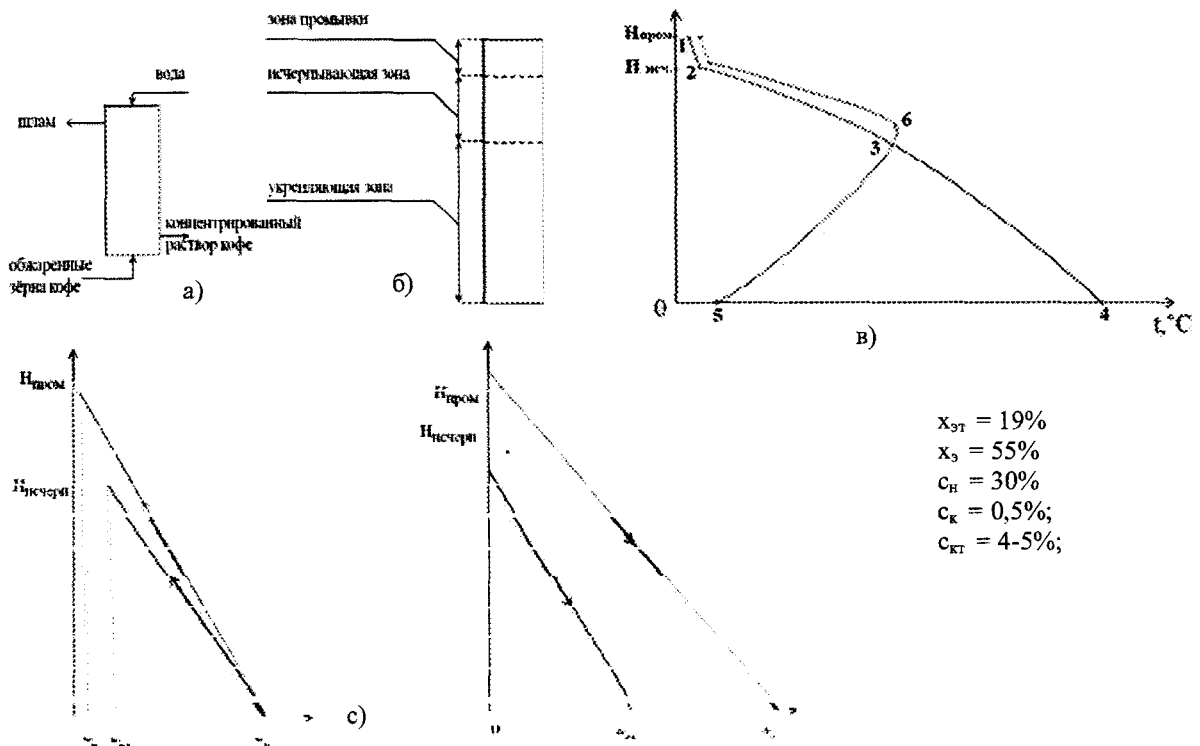


Рис. 2 – а) схема ведения процесса и зоны экстрактора; б) распределение температур по высоте экстрактора: 1-2 – нагрев экстрагента от зерен; 7-8 – охлаждение зерен водой; 2-3-4 – нагрев экстракта от МВ поля; 6-7 – охлаждение зерен; 5-6 – нагрев зерен экстрагентом и МВ полем; в) сравнение традиционного и микроволнового экстрагирования: $x_{эт}$ – концентрация э.в. на выходе из экстрактора при традиционном экстрагировании, x_3 – ожидаемая концентрация э.в. при предлагаемом методе, $c_{кт}$ – концентрация э.в. в истощенных зернах при традиционном экстрагировании, c_k – ожидаемая концентрация э.в. в зернах при предлагаемом методе.

В микроволновый экстрактор сверху подается растворитель (вода), снизу в экстрактор загружаются кассеты с продуктом, осуществляется противоточное движение потоков. Направление движения показано на (рис.1, а). Экстракт последовательно проходит зону промывки, исчерпывающую и зону насыщения микроволнового аппарата (рис.1, б). В аппарат экстрагент поступает с температурой около 20°C, затем от контакта с кофейными зёрнами экстрагент немного нагревается. В зоне промывки микроволновое поле не действует и экстрагент смывает экстракт с поверхности кофейных зёрен, которые прошли исчерпывающую зону и зону насыщения. В зоне насыщения на систему кофе-вода действует микроволновое поле и происходит экстрагирование основного количества водорастворимых веществ. При этом температура повышается до 60-90 °C. В укрепляющей зоне, происходит дополнительное экстрагирование и увеличение концентрации кофейного экстракта. Относительное распределение температур по высоте экстрактора указано на (рис.1. в). Предполагается, что такой метод экстрагирования позволит получать экстракт с содержанием сухих веществ до 55 %, в то время, как традиционные методики экстрагирования позволяют получать концентрацию сухих веществ в экстракте в 19 %. Что касается эффективности использования сырья – ожидается её увеличение на 10 % по сравнению с традиционными методиками экстрагирования. Сравнение эффективности экстрагирования приведено на (рис.1, с)

Выводы. Проведенный анализ современных техник экстрагирования показывает результативность методик с использованием микроволновой энергии. В зависимости от особенностей сырья для экстрагирования и того, какие компоненты необходимо получить следует подбирать режимы работы аппаратов. Правильно подобранный режим экстрагирования может в значительной мере улучшить результаты экстрагирования. Большую эффективность выхода целевых компонентов можно получить с использованием комбинированных техник экстрагирования. Сочетание микроволнового экстрагирования с ультразвуковым и термальным воздействием дает положительные результаты в ряде исследований. Отсутствие высокого давления позволяет оснащать устройства для микроволнового экстрагирования устройствами для перемешивания, что позволяет интенсифицировать процесс. Исследованные методики подтверждают

целесообразность использования микроволновых технологий в экстрагировании. Разработана рабочая гипотеза, согласно которой последовательное прохождение кофейного экстракта через исчерпывающую зону и зону насыщения позволят получить экстракт высокого качества при низких энергозатратах.

Литература

1. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе "кофе - вода". – Одесса, 2007. – 176 с.
2. Процессы переработки кофейного шлама/ Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Макиевская Т.Л. – Киев: ЭнтерПринт, 2014. – 228с.
3. F. Chemat and G. Cravotto (eds.), *Microwav-assisted Extraction for Bioactive Compounds: Theory and Practice*, Food Engineering Series 4, © Springer Science&Business Media New York 2013 Chapter 2
4. *Fundamentals of Microwave Extraction*, Priscilla C. Veggi, Julian Martinez, and M. Angela A. Meireles
5. A generalized energy-based kinetic model for microwave-assisted extraction of bioactive compounds from plants; Chung-Hung Chan, Jian-Jiun Lima, Rozita Yusoff, Gek-Cheng Ngoh; *Separation and Purification Technology* 143(0): 152-160.
6. Ultrasonic-microwave synergistic extraction (UMSE) and molecular weight distribution of polysaccharides from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle; Hongliang Zeng, Yi Zhang, Shan Lin, Yeye Jian, Song Miao, Baodong Zheng, *Separation and Purification Technology* 144 (2015) 97-106
7. Hybrid Field-Assisted Solid Liquid Solid Dispersive Extraction for
8. the Determination of Organochlorine Pesticides in Tobacco with Gas
9. Chromatography; Ting Zhou, Xiaohua Xiao, and Gongke Li; *Analytical Chemistry*. 2012, 84, 420-427
10. Wang, C.-C., et al.: Application of Hybrid Microwave Thermal Extraction Techniques For Mulberry Root Bark, *THERMAL SCIENCE*, Year 2013, Vol. 17, No. 5, pp. 1311-1315
11. Пищевые наноэнерготехнологии: научное пособие/ О.Г. Бурдо. – Херсон: Гринь Д.С., 2013. – 294 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА

Бурдо О.Г., д-р техн. наук, Альхури Юсеф, аспирант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г., Одесса

В работе анализируются традиционные технологии переработки плодов шиповника. Показана необходимость совершенствования этих технологий. Предложена концепция использования принципов адресной доставки энергии к элементам растительного сырья в процессах сушки, экстрагирования и выпарки. Рассмотрена эффективность применения в этих процессах электромагнитных генераторов энергии.

In this work traditional technologies of fruits processing are analyzed. Demands of improving that technology are shown. Conception of energy address delivery to plants raw material elements in processes of drying, extraction and evaporation are offered. Efficiency of using in that processes electromagnetic generators was observed.

Ключевые слова: плоды шиповника, экстрагирование, выпарка, сушка, электромагнитные генераторы энергии.

Введение. Интерес к производству биологически активных препаратов из натурального растительного сырья постоянно растет, несмотря на интенсивное развитие методов химического синтеза. Фитопрепараты (ФП), содержащие комплекс биологически активных веществ (БАВ), характеризуются широким спектром фармакологического действия, эффективностью и малой токсичностью, что позволяет использовать их длительное время для профилактики и лечения многих заболеваний без риска возникновения побочных явлений. По данным ВОЗ, около 80% населения мира при первичной медико-санитарной помощи пользуются, в основном, традиционными медикаментами природного происхождения [1]. Потребность населения в препаратах природного происхождения удовлетворяется не полностью, в частности, это происходит из-за дефицита лекарственного растительного сырья (ЛРС). Номенклатура и объем предложений на рынке ЛРС не соответствуют потребности, рост которой отмечается в последние годы [2].

Среди дикорастущих растений по содержанию естественных БАВ выгодно отличается шиповник. В плодах шиповника коричневого содержится: аскорбиновая кислота (5-18 %), каротин, витамины В1, В2, К, Р, РР, сахар (до 24 %), пектиновые вещества (до 4 %), лимонная и яблочная кислоты (до 2 %), эфирное масло, соли железа, калия, марганца, фосфора, кальция. Аскорбиновой кислоты в плодах шиповника в 10 раз больше, чем в черной смородине, в 50 раз больше, чем в лимоне, и в 100 раз больше, чем в яблоках. Максимальное содержание аскорбиновой кислоты, витамина Е, а также каротина наблюдается в зрелых оранжево-красных, но твердых плодах шиповника [3].

Аскорбиновая кислота по существу определяет биологическую активность плодов растения. Плоды шиповника и лечебные препараты из них оказывают противощитовое действие, значительно повышают окислительно-восстановительные процессы в организме, активируют ряд ферментных систем, стабилизируют содержание адреналина и других катехоламинов, стимулируют сопротивляемость организма к вредным воздействиям внешней среды, инфекциям и другим неблагоприятным факторам. Кроме того, аскорбиновая кислота оказывает противосклеротическое действие, проявляющееся в снижении концентрации холестерина в крови и в ингибировании отложения атероматозных масс в стенках кровеносных сосудов. Плоды шиповника усиливают регенерацию тканей, синтез гормонов, благоприятно влияют на углеводный обмен и проницаемость стенок сосудов. Масло шиповника, получаемое из семян, в эксперименте уменьшает желудочную секрецию и кислотность желудочного сока. Кроме того, оно обладает противоязвенной активностью.

Производство концентратов из плодов шиповника. Из плодов шиповника вырабатываются жидкие и сухие концентраты. Элеватором 1 (рис. 1) отсортированные плоды шиповника направляются в экстракционную установку 2. Экстрагируют горячей водой при температуре 70-75 °С. В случае диффузии батарейной продолжительность оборота батареи не должна превышать 60 мин. За это время получают 10-кратное количество вытяжки, содержащей 6-8 % сухих веществ и до 95 % аскорбиновой кислоты, находившейся в исходном сырье. При непрерывной диффузии скорость получения вытяжки нормируется по содержанию сухих веществ в вытяжке.

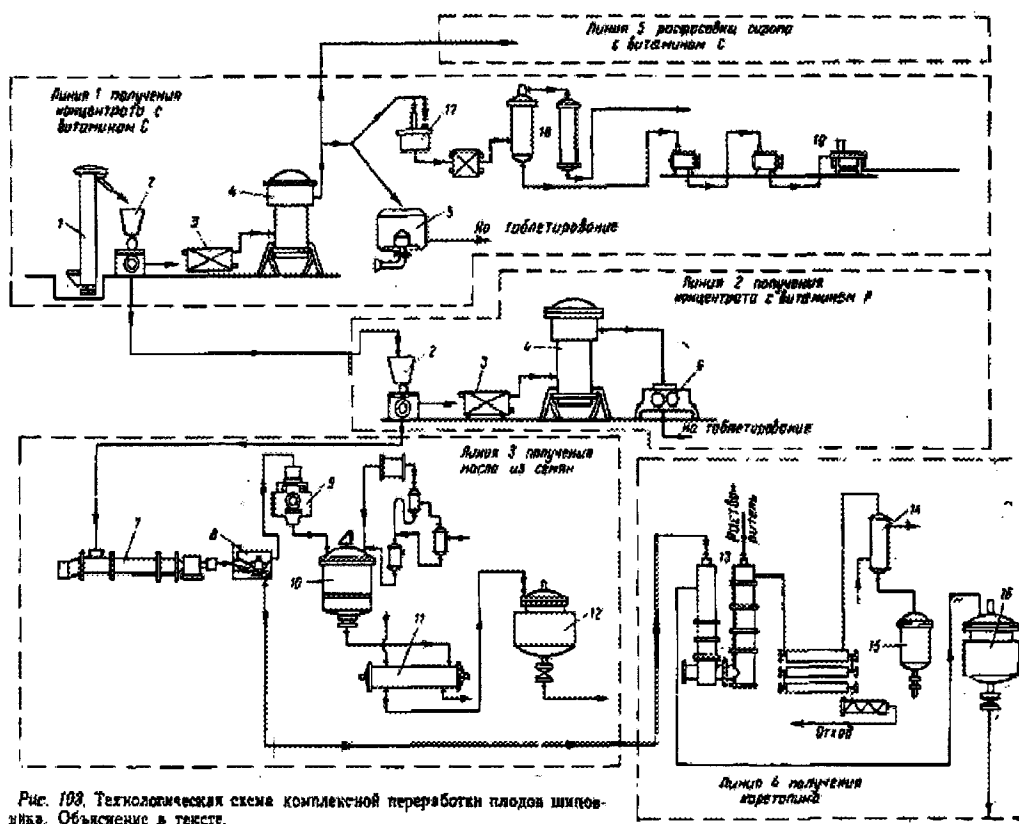


Рис. 103. Технологическая схема комплексной переработки плодов шиповника. Объяснение в тексте.

Рис. 1 – Технологическая линия комплексной переработки плодов шиповника.

Из полученной вытяжки необходимо удалить пектиновые вещества, иначе при сгущении вытяжка станет настолько вязкой, что дальнейшее выпаривание будет невозможным. Пектиновые вещества обычно удаляются энзиматическим путем. Ферментация вытяжки проводится при температуре 43–45 °С. Процесс длится 8–12 ч, энзиматического препарата вводится 1–1,2 %. Вытяжку, прошедшую ферментацию, перекачивают насосом в фильтр-пресс 3, после чего фильтрат направляют на вакуум-выпарку. Ее целесообразнее проводить в трехступенчатой выпарной установке 4, поскольку выпарка в ней протекает значительно быстрее, чем в шаровых. Процесс выпаривания протекает при строгом температурном режиме: в первом корпусе – при 90 °С, во втором – 75 °С, в третьем – 55–60 °С. При этих условиях потери аскорбиновой кислоты при выпаривании не превышают 2–3 %.

Сгущенная вытяжка представляет собой водный концентрат, содержащий 50–55 % сухих веществ и 3–5 % аскорбиновой кислоты. Это нестойкий продукт. В случае хранения при комнатной температуре начинается выделение углекислоты. Объясняется это тем, что при ферментации разрушение пектиновых веществ не проходит полностью и при определенных условиях их гидролитическое расщепление продолжается. Поэтому с целью получения устойчивого продукта жидкий водный концентрат перерабатывается на: 1) сухой концентрат; 2) спиртоочищенный жидкий концентрат; 3) сироп.

Технология получения высококаротиноидного препарата шиповника. При получении препаратов шиповника, содержащих комплекс БАВ гидрофильной природы остается значительное количество отхода (шрота), содержащего комплекс липофильных веществ, богатый каротиноидами, токоферолами, стеринами. Его извлечение и использование для получения новых лекарственных средств на основе комплексной переработки сырья — важная задача фармацевтической науки и производства.

На основе использования остающегося шрота был разработан и внедрен на Одесском ПХФО «Биостимулятор» препарат «Каротолин» — масляный раствор липофильного комплекса мякоти плодов шиповника, содержащий 120 мг% каротиноидов, предназначенный в качестве средства, нормализующего тканевый обмен при различных поражениях кожи и слизистых. Был предложен новый способ переработки шрота мякоти плодов шиповника, в результате которого получен комплекс экстрактивных веществ липофильной природы, характеризующийся значительно более высоким содержанием каротиноидов.

Для разработки на его основе нового лекарственного препарата важен правильный выбор реэкстрагента (растворителя) и концентрации экстрактивных веществ в изготавливаемом растворе с целью при-

дания ему необходимых технологических и реологических характеристик для получения различных лекарственных форм – капсул, суппозитория, мазей, аэрозолей и др.

При промышленном производстве суммарных фитопрепаратов эффективность извлечения комплекса БАВ в ряде случаев достигает лишь 40-50 % из-за недостаточности истощения шрота по всем группам действующих веществ. В технологии ФП известны так называемые полиэкстракты (полифракционные экстракты) — суммарные препараты, полученные путем последовательного экстрагирования ЛРС несколькими растворителями, например, с повышающейся полярностью. Из полученных извлечений экстрагент отгоняют, остатки сушат, порошки смешивают и выделяют полиэкстракт. Последовательное использование спиртоводных смесей различной концентрации, органических экстрагентов и растительных масел позволяет из одного вида ЛРС получать несколько ФП — настойки, густые и сухие экстракты и медицинские масла (масляные экстракты). На основе шротов плодов шиповника, травы зверобоя и череды после изготовления соответствующих медицинских масел экстракцией сжиженными газами были разработаны технологии водных и водно-спиртовых извлечений, содержащие БАВ полярной природы: флавоноиды, полисахариды, кислоту аскорбиновую [4].

В настоящее время во всех технологиях комплексной переработки ЛРС применяется либо продолжительный процесс экстрагирования (несколько стадий), либо в шроте остается значительное количество БАВ гидрофильного или липофильного характера в зависимости от химической природы используемого экстрагента. Таким образом, назрела необходимость рационального использования растений, совершенствования и разработки новых прогрессивных ресурсосберегающих комплексных технологий переработки ЛРС, обеспечивающих максимальное извлечение БАВ.

Предложен способ экстрагирования ЛРС системами несмешивающихся растворителей различной полярности — двухфазными системами экстрагентов (ДСЭ) [5]. Наиболее важной особенностью двухфазной экстракции (ДЭ), отличающей ее от других методов экстрагирования, является то, что в контакт с ЛРС одновременно вступают два экстрагента, каждый из которых в отдельности способен извлекать либо гидрофильные, либо липофильные соединения. Такая технология позволяет быстро и с высокой эффективностью проводить комплексную переработку сырья и получать за одну технологическую стадию два продукта (извлечения) с высоким содержанием БАВ.

В качестве компонентов двухфазных систем использовали растительные масла и водно-органические смеси различных концентраций. В состав водно-органической фазы входил растворитель, смешивающийся с водой (этанол, пропиленгликоль, полиэтиленоксиды, диметилсульфоксид). Для исследований выбрали ЛРС, содержащее различные группы БАВ и отличающееся по анатомо-морфологическому строению.

При исследовании процесса экстрагирования различных видов сырья установлено значительное увеличение концентрации липофильных БАВ в масляных извлечениях по сравнению с экстракцией только маслом, для производных хлорофилла - в 5-6 раз и более, для суммы каротиноидов - в 2-3 раза. При этом выход липофильных БАВ в масляные извлечения достигает в случае производных хлорофилла 80-85% и суммы каротиноидов - 60-70 % (рис.2).

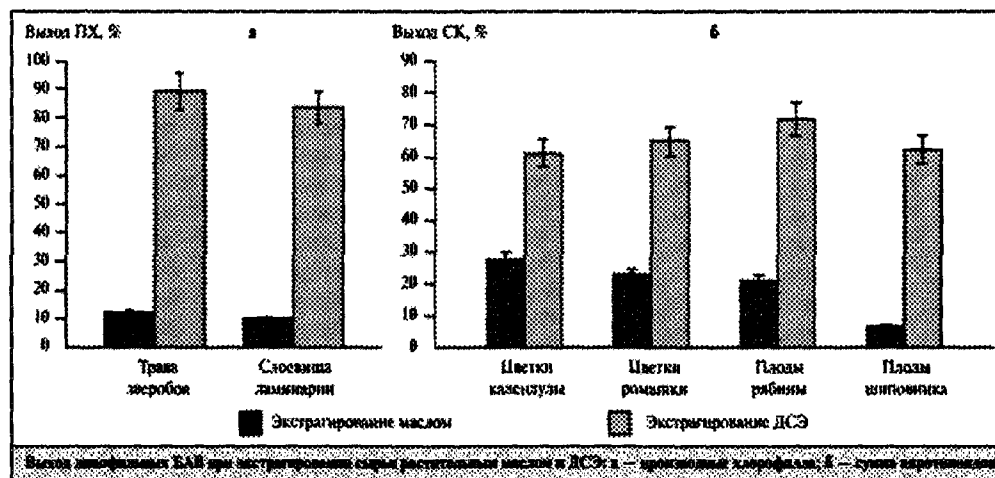


Рис. 2 – Выход липофильных БАВ при экстрагировании сырья растительным маслом и ДСЭ: а – производные хлорофилла, б – сумма каротиноидов

Это имеет большое практическое значение, так как именно в технологии масляных экстрактов трудно достигаются такие высокие выходы. А длительность процесса экстракции сокращается в 1,5 - 2 раза. Простое аппаратное оформление, невысокая трудоемкость и экономичность обуславливают перспективность внедрения ДЭ в производство ФП. Предложенный новый метод переработки лекарственного сырья позволяет на стадии экстрагирования извлечь природные комплексы липофильных и гидрофильных БАВ [6].

Концептуальные основы совершенствования технологий переработки плодов шиповника. Анализ современных принципов комплексной переработки плодов шиповника показывает, что эти технологии характеризуются низкими значениями коэффициента использования сырья, высокими затратами энергии и наличием значительного количества неутрализованных отходов. В последние годы предложен прогрессивный способ экстрагирования ЛРС системами экстрагентов. Это позволяет по сравнению с традиционными технологиями существенно повысить концентрацию БАВ и сократить время процесса. Вместе с тем, время процесса экстрагирования все еще остается большим и измеряется часами. Вывод можно сделать однозначным – традиционные технологии переработки плодов шиповника не отвечают современным требованиям ресурсо- энергоэффективности, экологической безопасности и рыночной экономики.

В работе предлагается научно-техническая концепция:

- использование в процессах экстрагирования, выпарки и сушки современных систем адресной доставки энергии к элементам сырья с помощью электромагнитных генераторов позволит создать аппараты для комплексной, малоотходной технологии переработки плодов шиповника с получением широкого спектра высококачественных биологически активных препаратов медицинского, пищевого и кормового назначения при минимизации энергетических затрат и экологической чистоте производства.

В основе концепции используется опыт кафедры процессов, аппаратов и энергетического менеджмента, накопленный при совершенствовании технологий сушки, выпарки и экстрагирования растительного сырья [7 - 13].

Выводы. В работе проведен сравнительный анализ методов переработки плодов шиповника. Рассмотрена схема технического переоснащения участка по производству Каратолина. Показано, что внедрение способа экстрагирования системой несмешивающихся растворителей различной полярности увеличивает выпуск продукции вдвое. Предлагается решить задачу интенсификации процессов выпарки, сушки и экстрагирования из плодов шиповника за счет использования электромагнитных полей.

Литература

1. Мироненко Т.А. Аптечный ассортимент: фитопрепараты. // Новая аптека. — 2000, №8. — С. 50—53.
2. Дорофеев В.И., Косенко Н.В., Северцев В.А. Формирование рынка лекарственного растительного сырья в России / Материалы IV Международного съезда Актуальные проблемы создания лекарственных препаратов природного происхождения. — СПб., 2000. — С. 18—25.
3. Гаммерман А. Ф., Кадаев Г. Н., Яценко-Хмелевский А. А. Лекарственные растения (Растения-целители): Справ. пособие.— М., 1983.
4. Первушкин С.В., Климова Л.Д., Бер О.В., Кукина Т.В, Мастерова А.А., Калеткина А.С. Использование шрота некоторых видов лекарственного растительного сырья для изготовления водных извлечений. // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции: Сборник научных трудов. Пятигорск, — 2004, вып. 59. — С.108—110.
5. Фомин В.В., Вайнштейн В.А., Каухова И.Е., Лимаренко Ю.А. Способ комплексной переработки сухого сырья водорослей. Патент РФ RU 2142812 C16A61K35/80 приоритет от 21.04.98, опубликован 20.12.99.— // Бюллетень №35.
6. www.rusvrach.ru/articles/farm1-2006str37-39-21k
7. Бурдо О.Г., Пищевые нанотехнологии – Херсон, 2013 – 294с.
8. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
9. Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях //Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.-2005. - С.88-93.
10. Burdo O.G. Nanoscale effects in food-production technologies // Journal of Engineering Physics and Thermophysics – 2005.- Vol.78, Issue 1.- P.90-96.
11. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А. Электромагнитные технологии обезвоживания сырья /Problemele energeticii regionale, Chisinau, №1 (18), 2012.- pp.69- 79.
12. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Макиевская Т.Л. Процессы переработки кофейного шлама. – Киев: ЭнтерПринт, 2014.- 228 с.
13. Бурдо О.Г. Нанотехнологии. Флагманские, перспективные и фундаментальные проекты в АПК //Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2006. – Вип.28, Т2. – с.242-251.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Бурдо А.К., канд. техн. наук, доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий

Растительное сырье содержит биологически-активные вещества, которые отвечают за различные жизненно-необходимые процессы в организме. В связи с постоянным увеличением темпа жизни, нехваткой времени актуальным является разработка продуктов, которые сокращают время на первичную обработку сырья и его подготовку к использованию в приготовлении блюд. Особое место в современной жизни уделяется энергоэффективности технологий. Использование в работе СВЧ-обработки позволяет интенсифицировать процесс экстракции растительного сырья.

Vegetable materials comprising biologically active substances which are responsible for various zhiz-edly-essential processes in the body. Due to the constant increase in the pace of life, lack of time is the actual development of products that reduce the time for the primary processing of raw material and preparing it for use in cooking. A special place in modern life is given energoefficiency technology. Using the microwave processing allows to intensify the process extraction of vegetable raw materials.

Ключевые слова: биологически-активные вещества, экстракт, СВЧ-энергия, криоконцентрирование.

С давних времен известны полезные свойства лука репчатого, петрушки, чеснока. В состав лука, зелени петрушки, чеснока входят биологически активные вещества, эфирные масла, ароматические вещества, витамины. Эти биологически активные вещества положительно влияют на состояние организма человека, а также на вкус и аромат блюд.

Лук репчатый богат такими аминокислотами, как аргинин, валин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин. Их содержание достигает 500 мг на 100 г сырых веществ [1]. Эфирные масла лука репчатого обладают бактерицидным, дезинфицирующим свойствами, возбуждают у человека аппетит.

В 100 г молодых зеленых побегов петрушки содержится примерно две суточные нормы витамина С. Петрушка богата витаминами А, В1, В2, фолиевой кислотой, а также солями калия, магния, железа, содержит ферменты [2], а также инулин, который регулирует обмен глюкозы в крови. В петрушке большое количество хлорофилла и каротина, по этому показателю она не уступает моркови. Пигмент хлорофилл участвует в окислительных реакциях. Он оказывает благоприятное действие при анемии, способствует восстановлению кроветворения и обновляет ткани организма. Все эти замечательные свойства петрушки позволили включать ее в состав многих биологически активных добавок. Достаточно съесть всего 50 г зелени петрушки, чтобы получить суточную норму аскорбиновой кислоты для взрослого человека.

По химическому составу чеснок значительно отличается от лука. Его луковицы содержат значительно меньше воды. Среди других овощных культур чеснок выделяется также очень высоким содержанием белковых веществ и углеводов. Простыми сахарами он беден, но очень богат сложными углеводами, которые при расщеплении распадаются на фруктозу и глюкозу. Это также характерно только для чеснока.

Среди овощных культур чеснок выделяется наличием значительных концентраций никотиновой кислоты и витамина В6. В чесноке содержатся флавоноиды, которые расслабляют спазмы сосудов, снижают кровяное давление и способствуют выведению холестерина. Минеральный состав луковицы характерен наличием значительных количеств калия, кальция, натрия, магния и фосфора. Среди всех овощей чеснок выделяется наиболее высоким содержанием железа, марганца и цинка. Как и в луке репчатом, в чесноке содержится большое количество фитонцидов. Все эти данные свидетельствуют о значительной лечебной и питательной ценности.

Лук в больших объемах используется при приготовлении супов, вторых блюд. Это улучшает вкусовые качества блюд. Также при приготовлении супов, вторых блюд добавляют как зелень петрушки, так и корень для получения приятного аромата. Петрушка, лук репчатый, чеснок содержат огромное количество ароматических веществ, которые оказывают возбуждающее влияние на аппетит, секрецию пищеварительных соков.

Как известно, пряные овощи, зелень употребляются обычно в свежем виде. Этим объясняются сезонность их применения, а также большие затраты времени на их обработку. Например, лук репчатый, чеснок, петрушку нужно не только тщательно промыть, очистить от кожуры, шелухи, поврежденных и недоброкачественных частей, но и не менее тщательно и часто особым способом измельчить, что требует навыков, кухонного инвентаря, времени. Немалое значение имеет и тот факт, что после работы с луком и чесноком

нужно тратить время на мытье рук и кухонного инвентаря. Часто это мешает одновременному приготовлению в том же цехе других блюд. Наличие же экстрактов из петрушки, лука репчатого и чеснока, которые можно хранить в герметично закрытой посуде, позволяет использовать лук, чеснок и петрушку мгновенно, в нужный момент, без подготовительных операций и в любых пропорциях и количествах, и при этом устраняются все указанные неудобства.

Внедрение экстрактов из лука репчатого, петрушки и чеснока в производство общепита будет экономить время поваров на обработку сырья, уменьшать трудоемкость производства.

На процесс экстракции влияют такие параметры как температура нагрева, продолжительность нагрева, температура проведения экстракции, степень измельчения сырья, гидромодуль. Опытным путем были определены оптимальные параметры процесса экстракции для получения высококачественного продукта. Также были сравнены на качество извлечения при СВЧ-обработке и обычном нагреве.

Опытным путем было определено, что при обычном нагреве процесс экстрагирования завершается через 1 час 40 минут при $t = 70^\circ\text{C}$. Большое влияние на процесс экстрагирования имеет температура нагрева экстракта. Повышение температуры экстрагента способствует увеличению выхода сухих веществ. Однако при очень высокой температуре происходит разрушение клеток биологически активных веществ. Опытным путем было определено, что оптимальной температурой процесса экстрагирования является 70°C . При такой температуре отмечается максимальное содержание экстрактивных веществ в полученных продуктах.

Измельчение сырья способствует увеличению поверхности контакта фаз, тем самым способствует улучшению процесса экстрагирования. Вместе с тем с ростом степени измельчения уменьшается пористость слоя частиц, осложняется разделение жидкой и твердой фаз после завершения экстракции. Поэтому чрезмерно высокая дисперсность материала может привести к уменьшению скорости процесса и ухудшению технико-экономических показателей [3].

Сырье измельчали до разных размеров частиц: кашеобразная масса, мелкая нарезка (2-3 мм), средняя (4-5 мм) и крупная (более 5 мм). Было отмечено, что для трех видов сырья наиболее оптимальной для экстракции степенью измельчения является мелкая нарезка с размером частиц 2-3 мм.

Важным показателем, который влияет на переход сухих веществ в экстрагент, является гидромодуль. Со-отношение массы твердых частиц к массе экстрагента оказывает существенное влияние на скорость процесса и полноту извлечения экстрагируемых веществ. Так как разница концентраций является движущей силой диффузионного процесса, было исследовано влияние гидромодуля на выход экстрактивных веществ при постоянной температуре 70°C . Для определения эффективного показателя гидромодуля были взяты следующие значения как 1: 2, 1: 3, 1: 4, 1: 5, 1: 6. Было определено, что для экстрактов из лука репчатого и чеснока оптимальным значением гидромодуля является 1: 4, а для экстракта петрушки – 1: 5.

Особой задачей исследований было определение эффективности использования в процессе экстракции

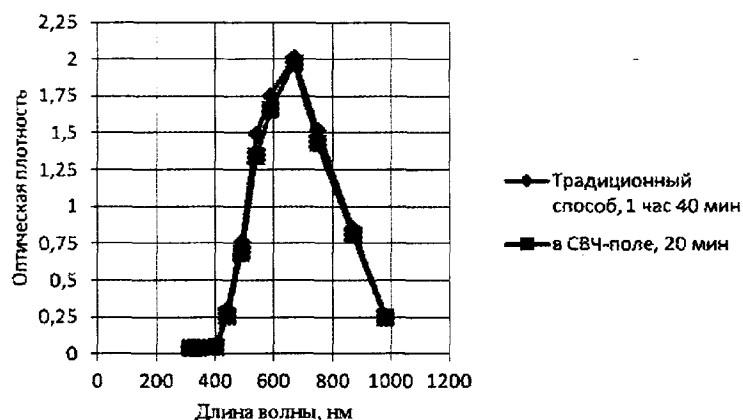


Рис. 1 – Показатели оптической плотности СВЧ-экстракта из лука репчатого и экстракта лука репчатого, полученного традиционным способом

Исходя из полученных значений оптической плотности, были построены спектральные кривые.

Анализируя полученные данные, можно сказать, что при использовании СВЧ-энергии в процессе экстрагирования, время проведения экстракции сокращается в 5 раз. Это существенно снижает энергетические затраты и приводит к повышению эффективности процесса. Преимуществом СВЧ-нагрева является

СВЧ-излучения. К положительным характеристикам микроволнового нагрева по сравнению с традиционными способами обработки продуктов можно отнести высокую скорость процесса, небольшое время выхода на режим, однородное прогревание материала, высокий к.п.д. процесса, высокое бактерицидное действие микроволновой энергии, отсутствие снижения пищевой ценности продукции, сохранение биологически-активных веществ.

Для сравнения эффективности СВЧ-нагрева и обычного нагрева на процесс экстрагирования определяли показатели оптической плотности для экстракта, полученного по традиционной технологии через 1 час 40 минут и СВЧ-экстракта через 20 минут.

равномерный нагрев сырья, меньше продолжительность процесса экстракции, улучшение качества экстракта [4].

С целью сохранения качественных показателей полученного продукта, сокращения транспортных затрат и уменьшения площадей, используемых для хранения, был исследован процесс криоконцентрирования СВЧ-экстракта из петрушки. В процессе блочного вымораживания пищевая система делится на блок льда и раствор. Процесс направленной кристаллизации обеспечивает плотную упаковку кристаллов льда в блоке. Переход экстракта из одной фазы в другую осуществляется в соответствии с теорией пограничного диффузионного слоя и включает следующие этапы: диффузию молекул воды из экстракта к границе раздела фаз, кристаллизацию молекул воды и внедрение их в кристаллическую решетку блока льда.

После замораживания части экстракта (вода), остается концентрат. В процессе разделения на границе раздела фаз «концентрат-лед» проявляется молекулярная диффузия и происходит изменение концентрации вещества. При этом концентрация неводных компонентов в порах блока льда значительно выше концентрации неводных компонентов в концентрате.

Движущей силой теоретического процесса разделения растительных экстрактов методом блочного вымораживания разница концентраций между максимальной концентрацией экстракта и текущей концентрацией раствора [5].

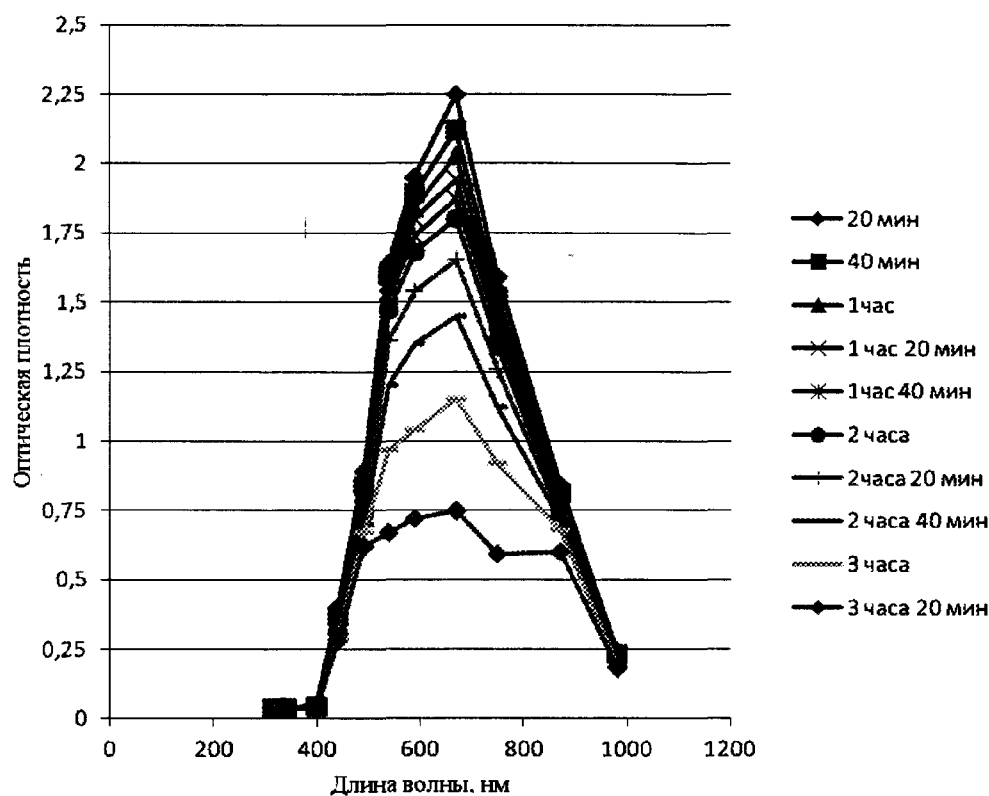


Рис. 2 – Показатели оптической плотности криоконцентрированного СВЧ-экстракта из петрушки (1 степень)

Из рисунка 2 видно, что наиболее концентрированными являются первые стоки. В них наибольшее содержание экстрактивных веществ.

Таблица 1 – Показатели массовой доли сухих веществ в СВЧ-экстрактах до криоконцентрирования

Продолжительность процесса, мин	Лук репчатый, %	Петрушка, %	Чеснок, %
20	5	4,5	5

Таблица 2 – Показатели массовой доли сухих веществ в криоконцентрате из петрушки (1 ступень)

Продукт	%	Продукт	%
1 сток	10	6 сток	2
2 сток	7	7 сток	1,5
3 сток	5	8 сток	1
4 сток	3,5	9 сток	0,5
5 сток	2,5	10 сток	0

Так как обычно процесс криоконцентрирования многоступенчатый, предложено проводить криоконцентрирование в 3 ступени.

Таблица 3 – Показатели массовой доли сухих веществ в криоконцентрированном экстракте из петрушки (3 ступень)

Продукт	%	Продукт	%
1 сток	18	6 сток	3,5
2 сток	14	7 сток	2
3 сток	10	8 сток	1
4 сток	7	9 сток	0,5
5 сток	5	10 сток	0

Проанализировав таблицы 1,2,3, можно сделать вывод, что в результате процесса криоконцентрирования увеличивается содержание сухих веществ в экстракте в 2 раза после 1 ступени и в 4 раза после трех ступеней.

Таблица 4 – Показатели массовой доли сухих веществ в криоконцентрированных СВЧ-экстрактах из лука репчатого, петрушки и чеснока

Продукт	Лук репчатый	Петрушка	Чеснок
%	17	18	19

На основе проведенных исследований были разработаны технологии производства рассольника, борща зеленого, супа-харчо, борща «Украинского», соуса красного основного с полной заменой зелени петрушки, свежего лука репчатого и чеснока на СВЧ-экстракты из соответствующего сырья.

Таким образом, на основании приведенных результатов можно сделать вывод, что проведение процесса экстракции в СВЧ-поле и процесс криоконцентрирования существенно улучшают качество полученных продуктов, сохраняя биологически активные вещества. Концентрированные СВЧ-экстракты отличаются простотой внесения в блюдо, обеспечивая его оригинальность, отличные органолептические показатели, привлекательный внешний вид.

Реализация СВЧ-экстрактов из зелени петрушки, лука репчатого и чеснока на предприятиях ресторанного хозяйства будет существенно уменьшать трудоемкость поваров и время на приготовление блюд. Кроме того, применение СВЧ-энергии снизит энергозатраты и повысит эффективность процесса экстракции на производстве.

Литература

1. И.М. Скурихина, М.Ф. Нестерин. Химический состав пищевых продуктов. – Москва, «Пищевая промышленность», 1979. -246с.
2. А.А. Покровский. Химический состав пищевых продуктов. – Москва, «Пищевая промышленность», 1977. -226с.
3. Бурдо О. Г. Холодильные технологии в системе АПК – Одесса: Полиграф, 2009 – 288 с.
4. Прокопцев А.С. Влияние сверхвысокочастотного излучения на экстрактивные процессы при обработке растительного сырья. Научный поиск: Материалы 3-й Научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки, Челябинск. 2011. – с. 160 – 163.
5. Бурдо О.Г. Экстрагирование в системе "кофе - вода", 2007. – 176 с.

УДК 664.012.3.048.5 – 0.48.34

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВВУ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Смирнов Г.Ф., д-р техн. наук, профессор, Зыков А.В., канд. техн. наук, доц.,
Резниченко Д.Н., аспирант

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Приведено сравнение путей снижения затрат энергии при концентрировании растворов выпариванием. Произведена оценка эффективности применения испарительно-конденсационных систем трансформации энергии в сравнении с традиционными схемами с механической компрессией пара. Для промежуточного теплоносителя найдена температура испарения, обеспечивающая минимум удельных энергозатрат при заданных условиях.

The comparison of ways of vacuum evaporator energy saving is shown. The energy efficiency value of the evaporative-condensing thermal transformation systems is compared with the mechanical vapor compressing system one. The evaporative temperature setting up the minimum of specific energy consumption for specified conditions is found.

Ключевые слова: концентрирование, выпаривание, энергосбережение, тепловой насос, оптимизация.

Один из приемов в пищевых производствах заключается в организации выпаривания исходных растворов в вакууме. Особую важность имеют процессы, при которых лучше всего сохраняются органолептические и санитарно-гигиенические их качества. Исследования и разработка таких технологий получения продуктов соответствуют режимам обработки исходного сырья, при которых с одной стороны под влиянием температуры удается максимально дезинфицировать исходную массу, с другой стороны сохранить ее органолептические и санитарно-гигиенические качества. Эти противоречивые требования могут быть решены при организации процессов концентрирования в вакууме с кратковременным воздействием высоких температур и быстрым охлаждением. Такие требования технологии существенно усложняют инженерную реализацию, но, успешно решаются использованием выпаривания в вакуум-выпарных аппаратах и быстрым охлаждением природными средствами (ледяной водой или охлажденными газами). Последнее напрямую связано с применением средств холодильной техники. Это означает, что традиционные технологии, которые реализуют столь противоречивые требования, тяготеют к существенному росту использования энергии. Поэтому изучение эффективных путей снижения затрат энергии, их оптимизация и практическое применение выглядят как актуальные направления исследований в области совершенствования пищевых технологий. Возможным путем этого может быть введение в пищевую традиционную технологию теплового насоса.

При концентрации продуктов в однокорпусных вакуум аппаратах расходуется 1,2 ... 1,3 кг пара на 1 кг выпаренной воды. При этом 75% всей тепловой энергии, расходуемой остается во вторичных парах, направляемые на конденсацию. Использование теплоты вторичного пара в тепловых аппаратах ограничивается из-за их низкой температуры (50 ... 60 °C). Однако энтальпия вторичного пара температурой 50 ... 60°C сравнительно мало отличается от энтальпии водяного насыщенного пара температурой 120 ... 130°C. Поэтому очень выгодно использовать в тепловых аппаратах вторичный пар в качестве теплоносителя. Для этого его заранее сжимают, в результате чего давление и температура его повышаются.

При увеличении степени сжатия вторичного пара повышается расход энергии, поэтому вторичный пар сжимают только до определенного предела. Минимальное повышение температуры вторичного пара при сжатии 8 ... 12 °C и определяется необходимым перепадом между температурами пара и среды, воспринимающей теплоту. При таком перепаде температур обеспечивается нормальная интенсивность теплообмена, хотя в этих условиях необходима сравнительно большая поверхность нагрева. Возможно уменьшение поверхности за счет использования большего температурного напора, создаваемого теплонасосной установкой (ТНУ).

Для сравнения 2х вариантов (без ТНУ и с ним) необходимы данные затрат энергии и стоимости. Сравнивается вариант без ТНУ, в котором расходы энергии имеют место в форме тепла греющего пара в количестве равном 40.4 кг / час. Кроме этого следует учесть затраты энергии на охлаждение вторичного пара с целью его конденсации; а также затраты мощности на отсасывание конденсата из конденсатора и его подачу насосом.

Вариант с ТНУ имеет затраты энергии на работу теплового насоса, которые определены величиной в 18 кВт электрической энергии. В случае, то если ТНУ отводит тепло конденсации, нужно учитывать только расходы механической энергии на возвращение конденсата в систему. Вероятно, нужно будет также учитывать затраты энергии для обеспечения нужного вакуума в аппарате. Однако представляется, что эти расходы будут одинаковыми в обоих вариантах. Таким образом, важную роль в процедуре сопоставления сравниваемых вариантов технических решений играть объективная оценка с точки зрения энергетической ценности греющего пара.

Для объективного сравнения нужно для каждого случая найти свои оптимальные условия. Так для традиционной схемы следует установить те уровни температур греющего пара и расходов охлаждающей среды, при которых суммарные расчетные расходы будут минимальными. При этом предполагается, что в суммарные расходы входят расходы на греющий пар и поверхность теплообмена парогенератора на стороне нагрева и расходы на систему охлаждения для получения конденсата вторичного пара. В схеме с тепловым насосом уровне температур нагрева и охлаждения определяют расходы и стоимость энергии на работу ТНУ. При этом необходимо учитывать, что в определенном диапазоне температур кипения t_k и температур конденсации t_k могут быть использованы различные типы хладагентов, поскольку зависимости отношения и разности давлений в процессе сжатия и всасывания мало отличаются с изменением типа хладагента. Однако преимуществами, с точки зрения энергетической эффективности, обладают рабочие среды, обеспечивающие минимальные значения степени сжатия P_k/P_o и максимальную объемную теплопроизводительность Q_v . Также важным при выборе оптимальных параметров является анализ поведения рабочих веществ в области высоких температур в связи с изменением показателя адиабаты и теплоемкости и их влияние на энергетические характеристики ТН. Предпочтительный выбор рабочего агента связан с термодинамическим циклом, по которому работает ТН, температурной областью и типом компрессора [1]. Энергетическая эффективность системы с ТН в значительной степени зависит от установленных температурных уровней. С другой стороны, эти же параметры, непосредственно влияют на размеры тех же теплообменных аппаратов. В первичной постановке можно не учитывать изменения в стоимости нагнетателей: насоса в схеме охлаждения и компрессора в ТНУ. Определим процедуру выбора указанных оптимальных параметров: температуры нагрева и охлаждения для обоих условий сравнения: традиционной схемы испарения (с использованием греющего пара) и схемы с тепловым насосом.

1. Примем расчет затрат, связанных с использованием греющего пара, исходя из определения его возможностей производства им энергии при его подаче в паросиловой установки, работающей по стандартной схеме, при организации стандартных условий конденсации. При этом подходе для определения оптимального значения температуры греющего пара по величине суммарных расчетных расходов будет необходимо считать масштабы потерь (расходов) энергии, обусловленных изменением его температуры (давление) и суммировать их затратами на поверхность генератора вторичного пара (испарителя). Оптимальная температура охлаждения определяться суммой расходов на организацию подачи среды (расход газа или жидкости) охлаждающей включая затраты энергии на подачу теплоносителя, и расходов на поверхность конденсатора вторичного пара.

2. Для определения оптимальных условий нагрева и охлаждения в схеме с тепловым насосом предполагается, что изменения температур и связанного с ними давления в испарителе и конденсаторе тепло-

вого насоса, непосредственно будут влиять на затраты мощности; с другой стороны они же будут влиять на расходы на стоимость соответствующих теплообменных аппаратов.

Для расчетов примем, что технология требует температуры испарения (концентрации) в 50 °С. Примем следующий набор значений температур греющего пара и охлаждающей среды 55 °С; 60 °С; 65 °С; 70 °С; и 20 °С; 18 °С, 15 °С и 12 °С; соответственно, следует также иметь в виду, что важным фактором, влияющим на решение, будет массовый расход охлаждающей среды. Ограничимся на этом этапе температурными параметрами, считая, что для определения потерь энергии, связанных с отбором греющего пара, он может быть использован в паровой турбине с давлением на выходе 0.003Мпа и к.п.д. 0.8. Принятым выше температурам греющего пара будут отвечать следующие значения давления 15.74кПа; 19.19кПа; 25кПа и 31.16кПа соответственно. При этом адиабатические перепады при разрежении до давления в 3кПа будут равны соответственно: 183 кДж/кг; 189 кДж/кг; 195 кДж/кг и 224 кДж/кг. При $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$; 60 °С, 65 °С и 70 °С имеем следующие условные потери энергетической мощности 1.67 кВт; 1.73кВт; 1.79кВт и 2.06кВт. Для того, чтобы привести эту составляющую суммарных затрат связанных с использованием греющего пара некоторого потенциала, к деньгам следует умножить эти величины на время работы выпарной установки в году и на стоимость единицы электрической энергии. В корректном расчете следует учитывать изменение расхода греющего пара, связанное с указанным изменением давления насыщения и теплоты фазового перехода. В цифрах указанных выше это не учитывается. В общем расчете суммарных расходов было бы правильно использовать полное время работы выпарной установки (в годах). Другая важная составляющая суммарных расходов должна учитывать стоимость поверхностей теплообмена парогенератора и конденсатора. В простых случаях можно из расчета поверхности теплообмена телефонов, переходя к определению массы материала, принимая по анализу пропорциональности стоимости изготовления монтажа и наладки, вводя коэффициенты, учитывающие амортизацию, ремонт и текущее обслуживание за тот же период, что и в расчетах потерь энергии, получать этот важный слагаемое в суммарных затратах. Таким образом, можно записать:

$$F_{\Sigma} = \frac{S_{\text{кап}}}{T_{\text{н.о.}}} + S_{\Sigma} \quad (1)$$

здесь $S_{\text{кап}}$ - капитальные затраты, ТН.О.- расчетное число лет (срок окупаемости), S_{Σ} - все расходы на эксплуатацию, включая стоимость затрат энергии и стоимость греющего пара, а также расходы на обслуживание и ремонт оборудования. Для первого шага последние составляющие пока не будем учитывать. Примем срок окупаемости 8 лет; стоимость энергии определим исходя из числа часов работы аппарата в году в 2000 часов и стоимости 1 кВтчаса по 1.3 гривны. Это даст нам вторые слагаемые для традиционной схемы в виде следующих величин 4350;4490; 4650; 5360 гривен; для всех выше указанных вариантов. Определим масштабы капитальных затрат на теплообменные аппараты, для чего из совместного решения уравнений теплообмена при конденсации и кипении для различных значений температуры насыщения греющего пара (55°С; 60°С; 65°С; 70°С) с учётом температурных депрессий получили следующие величины температур кипения продукта:44.07°С; 46.078°С; 48°С и 49.8°С. Этим температурам соответствовали коэффициенты теплоотдачи при кипении 6300; 7750; 8900 и 10000 Вт/(м²·К) и плотности тепловых потоков: 100000; 137000; 175000 и 217000 Вт/м². Эти значения дают размеры поверхностей, генерирующих пар, при полном тепловом потоке, равном 26.83 кВт: 0.268;0.202;0.16;0.13 м² соответственно. Стоимости этих поверхностей определяем исходя из сведений [3] для толщины стенки трубы в 38мм внутренним диаметром равным 1 мм; 0.7 кв. м. её будет иметь массу 5.4 кг; при толщине в 2мм – 10.8 кг. Если принять, что стоимость трубчатой поверхности будет пропорциональна стоимости отдельных трубок, а переход от неё к стоимости трубного пучка возможен введением множителя 2; тогда максимальная оценка стоимости одного квадратного метра этой поверхности составит 3000гривен. Используя эти соображения и приходим к расчетам затрат на поверхность,

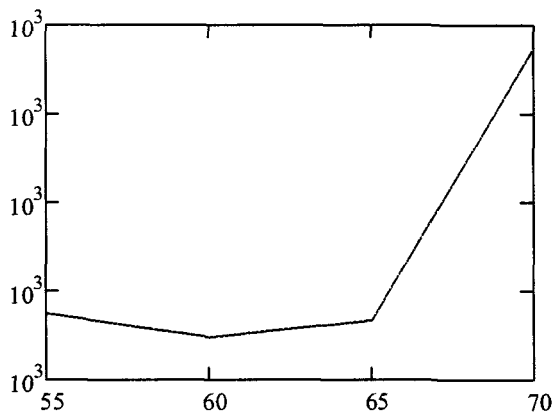


Рис. 1 – Зависимость суммарных расчётных затрат от температуры греющего пара, при принятых условиях расчётов.

генерирующую пар, по найденным выше её величинам в таком виде: 800 гривен; 606; 484 и 390 гривен,

соответственно. Если принять, что необходимый срок окупаемости должен составить 1 год, тогда первые слагаемые в формуле (1) составят для всех принятых вариантах: 800 гривен; 606; 484 и 390 гривен, соответственно. При таких условиях получим величины суммарных расчётных затрат для этих вариантов в виде зависимости, представленной на рис. 1.

Из этого графика следует, что наилучшим образом принятым условиям отвечает температура греющего пара вблизи 60 °С. Разумеется, если изменить какое – то из условий, также как исходные величины для расчётов составляющих затрат, то могут измениться и эти данные. Можно предположить, что если изменится только масштаб производительности, то оценки оптимальных параметров не изменятся. Вместе с тем, в действительности, изменение масштаба не может не повлиять на удельные стоимости отдельных слагаемых затрат. Об этом нужно помнить.

Таким образом, для выполнения сравнения варианта вакуум выпарной установки традиционной формы действия с вариантом, в котором масштабы потребления греющего пара будут компенсироваться работой теплового насоса, необходимо выполнить расчёты конденсатора для конденсации вторичного пара. Желательно для этого также найти оптимальные его параметры. Исходными являются следующие данные: температура конденсации, расход охлаждающей среды, её температура на входе и её теплофизические свойства. Простым вариантом может быть использование в качестве охлаждающей среды воды. Частным случаем может быть применение «ледяной воды», т.е. воды в смеси с льдом. Этот вариант должен учитывать в расчётах затраты на образование льда, как энергетические, так и капитальные. Вероятно, возможно применение и холодильной установки для конденсации вторичного пара. Не будем рассматривать два последних варианта. Ограничимся только первым. Не станем принимать какую то конструкцию конденсатора и примем, коэффициент теплопередачи равным 1000 Вт/(м²·К). Так как температура конденсации равна 23 °С, а температура воды на входе в среднее время не менее 15 °С, то для температуры воды на выходе её максимальное значение не может быть выше 21 °С. Это ограничение определяет средний температурный напор в конденсаторе равным 5,5 °С. Тем самым определяется и поверхность теплообмена в конденсаторе равной 5,2 м² а её стоимость при использовании тех же оценок затрат, что и для парогенератора, даст такую величину: 15600 гривен. К этому в процедуру сравнения следует добавить затраты энергии на прокачку охлаждающей воды, включая все другие элементы традиционной системы охлаждения: насос; фильтры; трубопроводы для подачи воды и отвода её и т.д. Наибольшая неопределённость в процедуре сравнения будет связана с определением стоимости теплонасосной установки, включая выбор для неё оптимальных значений температур нагрева и охлаждения. Для уменьшения сложностей в этом вопросе будем принимать в вариантах с ТНУ те же значения температур нагрева (греющего пара) и охлаждения (конденсации), что и в традиционном варианте. Т.е. в данном случае это будут температура в конденсаторе ТНУ 60 °С; температура в испарителе ТНУ 18 °С. Для этих параметров и теплопроизводительности в 28.4 кВт найдём основные параметры ТНУ: тепловая мощность нагрева – 28.4 кВт; тепловая мощность на конденсацию – 22.9 кВт; мощность на привод компрессора – 5.5 кВт, при к. п. д. в 0.8. Теплоносителем принят хладон R – 134a.

Также необходимо отметить в анализе и выпарные аппараты с механической рекомпрессией пара. Помимо снижения энергозатрат эти аппараты характеризуются отсутствием необходимости в использовании внешних энергоносителей: охлаждающей воды и греющего пара. Выпускаемые промышленностью установки с механической рекомпрессией работают с перепадами температур в аппарате и греющей камере до 15 °С. Удельные затраты энергии составляют 350–400 кДж/кг испаренной влаги [2].

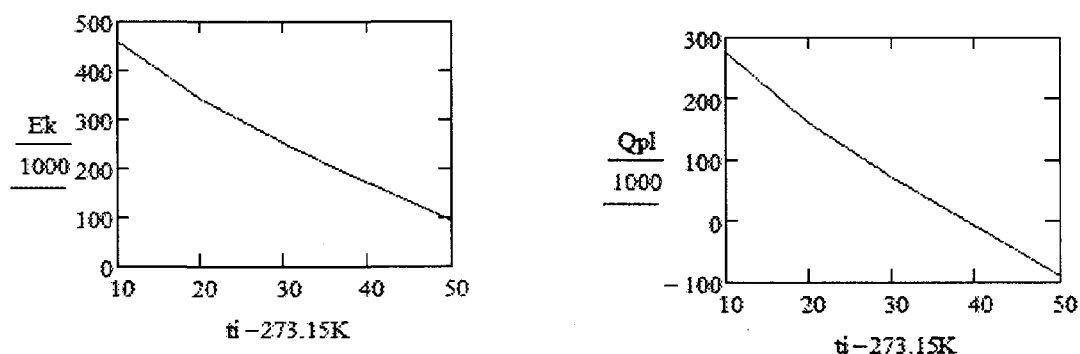


Рис. 2 – Зависимость мощности компрессора ТН E_k и излишков тепловой энергии Q_{pl} от температур испарителя ТН t_i .

Для сравнения оценим удельное энергопотребление аналогичной системы с парокомпрессионным ТН, в котором в качестве промежуточного рабочего тела используется хладон R134a. Однако удельное энергопотребление такой системы значительно зависит от температуры конденсации вторичных паров. Поэтому, варьируя температуру испарителя ТН, получаем зависимость мощности компрессора ТН E_k от температуры t_i , при этом в конденсаторе ТН возникнут излишки тепловой энергии Q_{pl} , что отображено на рис. 2.

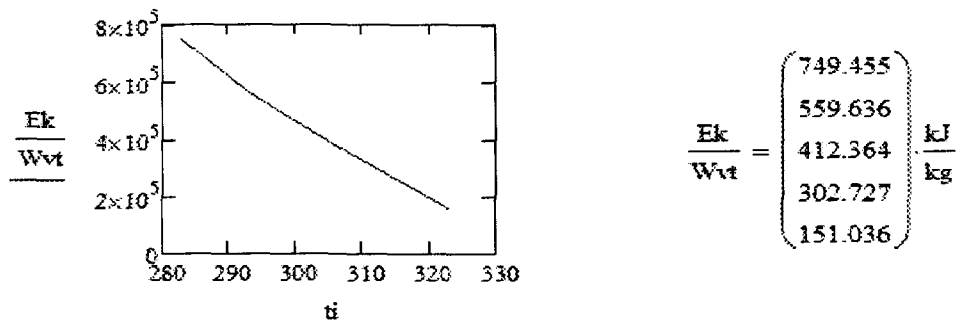


Рис. 3 – Зависимость удельных энергозатрат в системе с ТН от температуры испарителя ТН

При этом при температуре испарителя 38,5 С излишки тепла равны нулю. А удельные затраты энергии составят 302 кДж/кг (рис. 3), что на 15 % меньше общих затрат энергии в системе с механическим сжатием.

Таким образом, энергетическая эффективность различных систем термотрансформации при концентрировании жидких продуктов существенно зависит от технологических условий проведения процесса. Также, можно отметить, что для систем с испарительно-конденсационным контуром целесообразно находить оптимальные соотношения температур испарителя и конденсатора в рамках технологических условий.

Литература

1. Володин В.И. Влияние внутренних и внешних факторов на эффективность тепловых насосов // ПРЕПРИНТ ИПЭ-22.— Мн.: ИПЭ АНБ, 1996.
2. ЭСВА - выпарные аппараты с рекомпрессией водяного пара // <http://zaobmt.com/index.php/industryequipmentlm/144-evaporator.html>
3. <http://imperacom.ua/ru/price>

УДК 664.854:66.047

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕКУПЕРАТИВНЫХ СУШИЛОК НА БАЗЕ ТЕРМОСИФОНОВ

Безбах И.В., канд. техн. наук, доц.

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Рассмотрены аппараты на базе термосифонов для сушки дисперсных пищевых материалов. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Devices on the basis of thermosiphons for drying of disperse food materials are considered. Results of experimental researches are presented.

Ключевые слова: термосифоны, дисперсные материалы, рекуперация.

В современных условиях возрастающего потребления энергии, с одной стороны, и дефицита энергетических ресурсов, с другой, все более остро ставятся вопросы рационального использования энергии, рекуперации тепла во всех процессах пищевой технологии, включая сушку. Процесс конвективной сушки неизбежно сопровождается неполным использованием энергии теплоносителя, что связано с условиями гидротермического равновесия между высушиваемым материалом и сушильной средой.

Рекуперация и вторичное использование тепла отработанного сушильного агента до сих пор остаются проблематичными, так как существуют трудности, связанные со сравнительно невысоким потенциалом газового теплоносителя на выходе из сушилки. В этом отношении значительный интерес представляют способы рекуперации теплоты, содержащейся в отработанном сушильном агенте или в высушенном продукте, для нужд самого процесса сушки [1].

Классификация способов рекуперации теплоты при сушке дисперсных материалов представлена на рисунке 1.

Наиболее перспективными из них является утилизация физического тепла отходящих газов, достигаемой их частичной рециркуляцией, утилизация физического тепла отходящих газов с использованием промежуточного теплоносителя, утилизация физического тепла высушенного продукта при прямом теплообмене с ним исходного сушильного агента, применение тепловых труб (ТТ) термосифонов (ТС), вращающихся термосифонов (ВТС). Анализ состояния зерносушильной техники на пищевых предприятиях Украины показывает, что в 48 % случаев эксплуатируются шахтные агрегаты отечественного производства. Шахтные конвективные зерносушилки имеют ряд недостатков: невысокий КПД использования объема сушильного аппарата; малый удельный съем влаги; неравномерность сушки; высокие энергоза-

траты (5 МДж/кг и выше). Поэтому при модернизации предприятий многие аграрии собираются уделить внимание участкам сушилки (до 15 %) как одним из наиболее затратных в составе зернохранилищ [3]. При сушке зерна в шахтных зерносушилках в окружающую среду выбрасывается отработанный сушильный агент, который имеет температуру близкую к температуре пара над продуктом (около 60 °С), и низкое

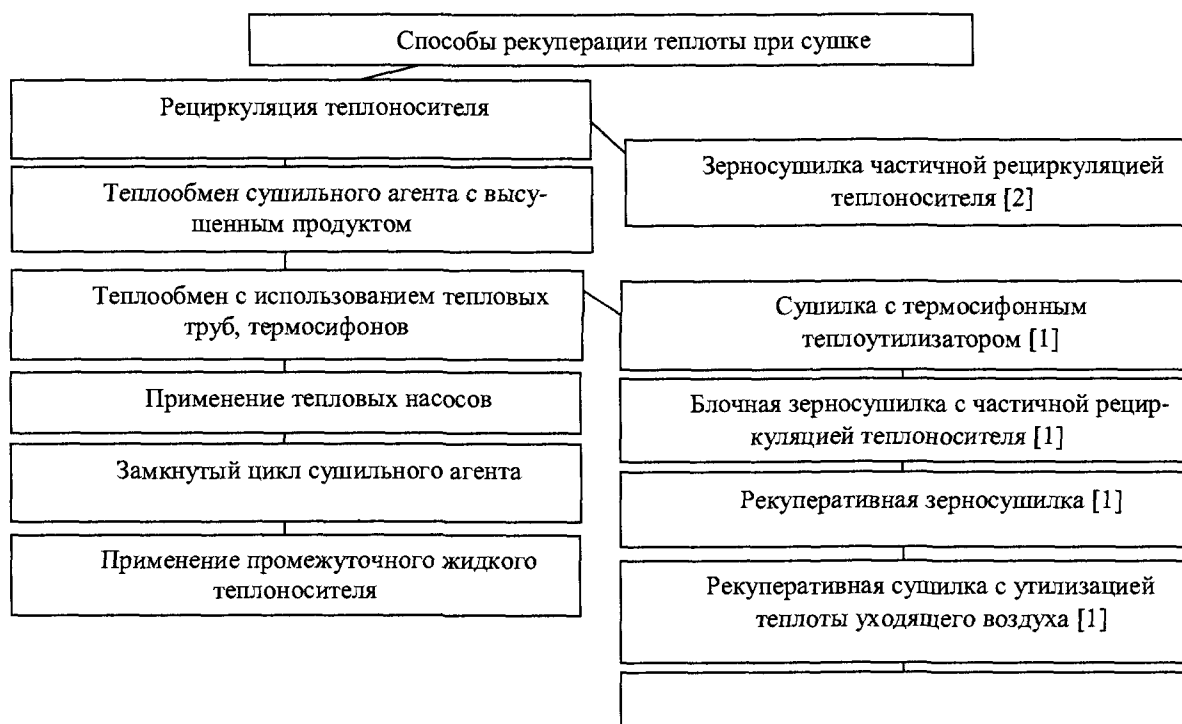


Рис. 1 – Классификация способов рекуперации теплоты при сушке дисперсных продуктов

влажностное содержание (около 20 г/кг), объемы теплоносителя огромны, но потенциал для энергосбережения невысокий. Расход воздуха в шахтных сушилках составляет 122...136 м³/ч. Производители сушилок заинтересованы в снижении теплопотерь. Применительно к шахтным зерносушилкам основным способом рекуперации теплоты является рециркуляция теплоносителя [3], теплообмен сушильного агента с высушенным продуктом (таблица 1).

Таблица 1 – Способы рекуперации теплоты в шахтных сушилках

Способы рекуперации теплоты	Удельные энергозатраты, кДж/кг уд. вл.
Зерносушилки, не использующие рекуперацию	5000...5850
Рекуперация теплоты охлаждающего воздуха	4800
Рекуперация теплоты охлаждающего воздуха и частично отработавшего ненасыщенного сушильного агента из нижних зон сушилки	4418
Рекуперация теплоты охлаждающего воздуха и отработавшего насыщенного сушильного агента из верхних зон сушилки	3240

Сложная аппаратно-техническая реализация, невысокий тепловой потенциал отработавшего агента делает такие способы малоэффективными.

Аналогами конструкций сушилок на базе тепловых труб, термосифонов являются сушилки, теплота в которых передается зерну от нагретой поверхности. В качестве нагретой поверхности могут использоваться трубы, обогреваемые изнутри паром или горячей водой. Для поглощения водяного пара, выделяемого из зерна, через сушильную шахту пропускают нагретый или холодный воздух. Воздух выполняет функции только влагопоглотителя. Такие конструкции применяют для сушки зерновых гораздо реже до 5 % респондентов [3]. Паровые сушилки обеспечивают высокие коэффициенты теплопередачи к зерновому потоку 30...90 Вт/м² К. Сравнительные характеристики сушилок с использованием водяного пара в

качестве теплоносителя приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики сушилок с использованием водяного пара в качестве теплоносителя

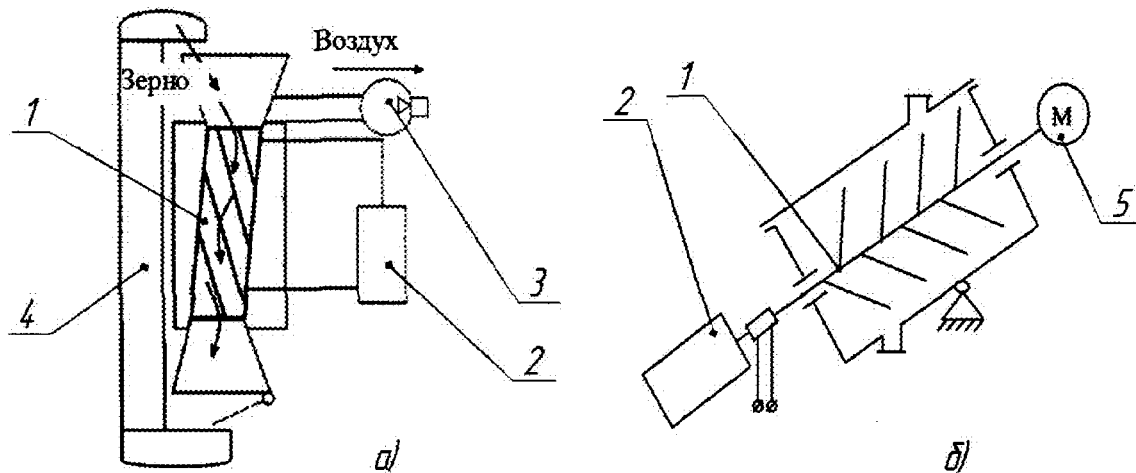
Поверхность нагрева	Тип сушилки	Продукт	Давление пара, МПа	Расход пара, кг/с	Влажность продукта начальная, %	Влажность продукта конечная, %	Число оборотов ротора, об/мин	Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² К
Неподвижная	Вертикальная паровая сушилка ВС-10-49 [4]	Овес, гречиха, горох, рис	0,39	0,5	25	14	-	25...30
	Паровая тарелочная сушилка	Овес, горох, бобы	0,4	0,85	18	15	-	25
Движущаяся	Сушилка трубчатая барабанная горизонтальная	Кукурузные полуфабрикаты	0,6	0,09	25	15	20	40
	Вращающиеся паровые трубчатые сушилки с непрямым нагревом [5]	Дисперсные продукты с высокой влажностью	0,88	0,1	50	14	6	30...90

Сушилки с движущейся поверхностью нагрева имеют коэффициент теплопередачи практически в 2 раза выше сушилок с неподвижной поверхностью теплообмена. В сушилках используют греющий пар высокого давления от 0,39 до 0,88 МПа. Сушилки с вращающейся поверхностью используют для более широкого диапазона продуктов с высокой начальной влажностью, не только дисперсных но и вязких.

Недостатки конструкций паровых сушилок: сложная аппаратурно-техническая реализация, необходимы дополнительные устройства для подачи пара, отвода конденсата, образование водяных пробок в трубках, низкая степень перемешивания зернового потока.

В связи с этим вопрос разработки новых видов зерносушильной техники актуален. Решение проблемы – использование термосифонов, вращающихся термосифонов, тепловых труб в технологиях сушки.

В рекуперативной сушилке на базе ТС (рис 2, а), дисперсный продукт перемешивается за счет оригинальной конструкции конденсатора ТС [6]. Общая схема рекуперативной зерносушилки представлена на рис. 2, а. Конденсатор 2 термосифона размещен в шахте. Посредством ТС осуществляется подогрев зерна, которое движется плотным гравитационным слоем.



1 – конденсатор ТС, 2 – испаритель ТС, 3 – вентилятор, 4 – нория, 5 – привод
а) рекуперативная сушилка на базе ТС, б) сушилка на базе ВТС

Рис. 2 – Конструкции рекуперативных зерносушилок

Развитием схемы (рис. 2, а) является рекуперативная сушилка с утилизацией теплоты уходящего воздуха. Конструкция представляет собой рекуперативную сушилку, дополненную теплообменником рекуператором для утилизации теплоты уходящего из сушилки воздуха. Теплообменник-рекуператор имеет пучок труб, внутри которых проходит смесь воздуха и пара из сушильной шахты. Таким образом, для предварительного нагрева зерна перед сушкой полностью используется утилизируемая энергия уходящего воздуха. Процесс передачи теплоты через поверхность трубы к зерновому потоку в теплообменнике рекуператоре происходит в условиях парциальной конденсации водяного пара из смеси в объеме трубы.

Рекуперативная сушилка с ВТС (рис. 2, б) состоит из корпуса, конденсатора 1, испарителя 2, привода 5. При подводе теплоты к испарителю теплоноситель начинает кипеть, образующийся пар направляется в конденсатор, где конденсируется на стенках, отдавая теплоту фазового перехода продукту. Пар перемещается за счет разности давления в испарителе и конденсаторе в результате уменьшения объема при конденсации пара. В основу работы сушилок положено два основных принципа интенсификации: обновление поверхности контакта фаз; разрушение теплового и диффузионного слоев плоскостью поверхности теплопередачи.

С целью проверки работоспособности предложенных схемных решений применительно к дисперсным материалам проведен ряд экспериментов. В рекуперативной сушилке на базе ТС производилась сушка пшеницы, в сушилке на базе ВТС проводили сушку вареного гороха, амаранта, пшеницы. Получены кинетические зависимости процессов тепло- массообмена при сушке дисперсных продуктов в рекуперативных зерносушилках.

Для оценки распределения энергии в рекуперативной зерносушилке на базе ТС, составлено уравнение теплового баланса. После анализа экспериментальных данных получаем, что в сравнении с конвективной сушкой у рекуперативной сушилки большая часть энергии (69,4 %) затрачивается на испарение влаги, на нагрев зерна 16,3 %, потери в окружающую среду 13,2 %, на подогрев воздуха всего около 1,1 % (рис. 3, а). Анализ тепловых балансов сушилок показывает, что если считать полезной энергию, которая затрачивается на испарение влаги, энергетический КПД конвективной сушилки составляет 40 %, рекуперативной 69,4 (рис. 3).

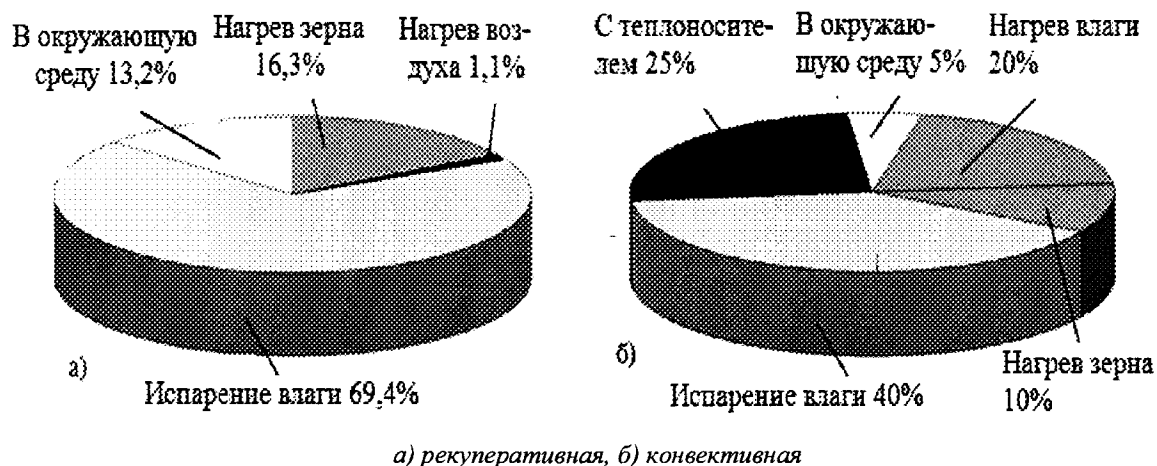


Рис. 3 – Распределение тепловой энергии в зерносушилках

В рекуперативной сушилке с испаренной влагой и воздухом теряется около 70 % подведенной энергии, ее утилизация позволит значительно снизить энергозатраты сушилки, увеличить ее КПД. Анализ параметров отработанного воздуха рекуперативной зерносушилки, показывает, что появляется реальная возможность использования тепла конденсации влажного воздуха для предыдущего нагревания зерна.

При расходе воздуха 0,006 кг/с, влагосодержание воздуха в конце процесса сушки в рекуперативной сушилке составило 60 г/кг при относительной влажности 94 %, что делает его близким к точке фазового перехода. В условиях экспериментов утилизировано 12 % подведенной теплоты, что позволяет снизить энергозатраты рекуперативной зерносушилки до 3 МДж/ кг уд. вл. Задача дальнейших экспериментов – в теплообменнике - рекуператоре подогреть зерно перед сушкой за счет энергии отработанного воздуха. При таких условиях появляется возможность вернуть в зерновой поток значительную часть энергии, которая была израсходована в сушильной шахте. Конструкции сушилок на базе ТС, ВТС обладают рядом преимуществ: возможность экономии энергии, величина которой может быть значительной; нет необхо-

димости во внешних энергетических затратах на транспортировку промежуточного теплоносителя; компактность; низкие эксплуатационные расходы; высокая надежность. Снижение удельных энергозатрат в сушилках с ВТС, ТС достигается за счет высоких коэффициентов теплопередачи к продукту (до 90 Вт/м² К), обновления контакта фаз, увеличения активной поверхности влагоотдачи. Энергозатраты на сушку приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Удельные энергозатраты рекуперативных сушилок

Аппарат	Удельные энергозатраты, МДж/ кг уд. вл.
Рекуперативная сушилка	3,2
Рекуперативная сушилка с утилизацией теплоты уходящего воздуха	3
Сушилка с ВТС	3,5

Отсутствие дополнительных устройств подачи пара, отвода конденсата и сокращение цепочки термотрансформации энергии приводит к сокращению энергозатрат до 30 % для всех типов сушилок на базе ВТС, ТС.

Литература

1. Бурдо, О. Г. Инновационные теплотехнологии АПК на основе тепловых труб [Текст] / О. Г. Бурдо, Г. Ф. Смирнов, С. Г. Терзиев, А.В. Зыков – Одесса: «ИНВАЦ», 2014. – 376с.
2. Алейников, В.И. Интенсификация процесса сушки и энергосбережения в шахтных и камерных зерносушилках [Текст]: автореф. дис.... докт. техн. наук / В.И. Алейников – Минск, 1988. – 56 с.
3. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины. Журнал «Хранение и переработка зерна» : <http://hipzmag.com/>
4. Гришин, М. А. Установки для сушки пищевых продуктов [Текст]: справ. / М. А. Гришин, В.И. Ага-назевич, Ю.Г. Семенов–М.: Агропромиздат, 1989 . - 215 с.
5. Дж. ПЕРРИ, Справочник инженера-химика, т. 1. Перевод с англ. под ред. акад. Жаворонкова Н. М. и чл.-корр. АН СССР Романкова П. Г. Издательство «Химия», 1969, стр. 640, рис. 397, табл. 332.
6. Патент України 97592 МКИ F26 В 17/10. Пристрій для сушіння дисперсних матеріалів / Бурдо О. Г., Безбах І. В., Зиков О. В.; заявник ОНАХТ. - № у 2014 10150, опубл. 25. 03. 2015; Бюл. № 6.

УДК [662.7; 57]: 663.26.068 – 027.33.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ ИЗ ВИНОГРАДНЫХ ВЫЖИМОК

¹Перетяка С.Н., канд. техн. наук, доцент

²Осадчук П.И., канд. техн. наук, доцент

¹Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

²Одесский государственный аграрный университет, г. Одесса

В статье рассмотрена технология производства пеллет из виноградных выжимок. Представлены результаты исследований по дроблению и прессованию выжимок. Определены удельные расходы энергии на дробление и прессование пеллет из выжимок.

In current paper the technology of pellet producing from grape pomace is considered. The results of researches of pomace grinding and pressing are given. Specific power inputs on grinding and pressing the pellets of grape pomace are determined.

Ключевые слова: биотопливо, виноградные выжимки, дробление, прессование.

Даже при слабом уровне развития возобновляемой энергетики, Украина имеет хорошие условия для внедрения этого направления, прежде всего биотоплива. Страна обладает громадным потенциалом биомассы, которая доступна для производства энергии. Основными составляющими этого потенциала являются отходы сельского хозяйства, древесины, а в перспективе – энергетические культуры, которые активно выращивают в последние годы. Объем энергетического потенциала биомассы составляет 25-38 млн. тонн условного топлива в год. По данным энергетического баланса Украины, для получения энергии в стране используется около 1,3 млн. тонн биомассы, что составляет 0,7% от общего потребления энергии. В основном это шелуха семян подсолнечника, отходы древесины и дрова для населения. Таким образом, такое потенциальное сырье для производства биотоплива как лузга риса, стебли кукурузы, солома пшеницы, биомасса подсолнечника, бытовые отходы, торф, лузга гречки, лигнин гидролизный, кофейный шлам практически не используются [1,2]. Отходы пищевой и перерабатывающей промышленности легко перерабатываются в биотопливо в виде пеллет или брикетов.

Согласно с данными Государственной службы статистики в Украине в 2014 году было переработано 228,93 тысяч тонн винограда. Процент выжимок составляет 10 – 20 % от общей массы винограда. Такое количество отходов создает значительную нагрузку на окружающую среду. Кроме того, предприятия должны расходовать средства на транспортировку и захоронение выжимок на мусорных полигонах. Известно, что в развитых винодельческих странах из виноградных выжимок получают:

- спирт-сырец содержит значительные примеси высших спиртов, альдегидов, летучих кислот, средних эфиров. В некоторых странах его используют непосредственно при изготовлении специальных типов вин (портвейн, мадера, марсала), а также для приготовления граппы, ракии и других крепких алкогольных напитков;

- виноградное масло используется в производстве маргарина, консервной промышленности, изготовлении высококачественного мыла, находит применение для фармацевтических и косметических целей, как полувывсыхающее масло в лакокрасочном производстве, а также для смазки тонких технических деталей. В ряде стран (Италия, Югославия, Испания) масло используется как консервант оливкового, подсолнечного и других масел;

- винный уксус используется как пищевая приправа и в народной медицине;

- пищевой виноградный краситель получают из выжимок красных сортов винограда в виде концентрата или порошка. Энораскраситель используют в кондитерской промышленности, в производстве газированных напитков;

- кормовые продукты. К числу кормовых продуктов, получаемых из отходов виноделия, относятся кормовая мука и кормовые дрожжи. Этот корм используется для скормливания крупному рогатому скоту, овцам, свиньям, птице как в виде самостоятельного корма, так и в качестве добавок в комбикорма (до 10 %) или кормовые смеси. Кормовые дрожжи получают из дрожжевых осадков после отгонки спирта и выделения виннокислых соединений и используют в сухом виде;

- таннин. Аморфный порошок светло-кремового цвета, состоящий из смеси катехинов, лейкоантоцианов и их полимеров, хорошо растворяется в воде и спирте, но нерастворим в органических растворителях;

- водно-спиртовые экстракты, получают путем экстрагирования фенольных, красящих и других экстрактивных веществ, содержащихся в гребнях и выжимках. Их применяют в производстве безалкогольных и слабоалкогольных напитков;

- энантовый эфир представляет собой смесь этиловых эфиров высших жирных кислот, бесцветную, прозрачную и легкоподвижную жидкость. Используется в пищевой и парфюмерной промышленности;

- отходы от переработки винограда широко используются в качестве составных частей удобрений растительного происхождения.

По цвету, выжимки классифицируют на белые и красные. Состав и выход выжимок зависит от способа переработки винограда, его сортовых особенностей и качества прессования. Усредненный состав виноградных выжимок, получаемых с отделением гребней, приведен в таблице 1 [3]:

Таблица 1 – Усредненный состав виноградных выжимок

№ п/п	Элементы состава	Массовая доля, % (от общей массы)
1	Кожица	59,0 – 73,0
2	Частицы мякоти	15,0 – 34,0
3	Остатки гребней	1,0 – 3,3
4	Семена	23,0 – 39,0

Влажность выжимок зависит от качества прессования и колеблется в диапазоне значений 48 – 60%, плотность – 1050,0 – 1200,0 кг/м³, [4, 5].

Химический состав виноградных выжимок следующий (табл.2) [6]:

Таблица 2 – Химический состав виноградных выжимок

Группа веществ	Липиды	Углеводы (в том числе):	- моносахариды	- гemicеллюлозы	- целлюлозы	Лигнин	Белок	Зола	Фенольные соединения
% в пересчете на сухое вещество	9,0	20,1	28,0	15,9	36,1	19,0	15,0	1,5	6,0

Наличие целлюлозы (36,1 %) и лигнина (19,0 %) дает основание допустить, что выжимки могут стать сырьем для производства пеллет.

Целью исследований стала разработка технологии производства пеллет из виноградных выжимок и определение удельных расходов энергии на каждую стадию процесса.

Традиционная схема производства пеллет из древесины предполагает [7]:

1. Грубое дробление. На выходе из дробилки размер материала не должен быть более 25x25x2 мм – это размеры, которые позволяют качественно сушить древесину.
2. Сушка до влажности древесины 8 – 12 %.
3. Тонкое дробление до размеров частиц не более 1,5 мм.
4. Увлажнение водой или паром для улучшения склеивания в процессе прессования.
5. Прессование с помощью матрицы с последующим охлаждением.
6. Упаковка пеллет.

На наш взгляд эта схема может быть взята за основу при производстве пеллет из виноградных выжимок. Экспериментальные исследования предполагали определение удельных расходов энергии при дроблении и прессовании выжимок.

Для измельчения выжимок использовали дробилку. Во время опытов фиксировалась энергия, которая потреблялась оборудованием с помощью амперметра и вольтметра. Удельный расход энергии на дробление при коэффициенте измельчения $i = 10$ и усредненном размере получаемых частиц 1,3 мм составил 0,5 МДж/кг.

Формирование пеллет осуществляли с помощью гидравлического пресса. Максимальное давление создаваемое прессом 6,5 МПа (65 кгс/см²). Предварительно матрица и пуансон нагревались до температуры 120 °С, так как при температуре более 100 °С начинается плавление лигнина и пеллеты получают необходимую прочность. Температуру матрицы определяли дистанционно с помощью пирометра. Энергия прессования, Дж, за один ход пуансона:

$$A = \int_{h_k}^{h_n} F \cdot P \cdot dh \quad (1)$$

где F – площадь поперечного сечения пуансона, м²;

P – давление прессования, Па;

h_n – высота матрицы, м;

h_k – высота пеллеты, м.

Удельный расход энергии на прессование составил 0,37 МДж/кг.

В результате мы получили пеллеты цилиндрической формы, плотностью 1150 – 1200 кг/м³, диаметром и длиной 20 мм.

Изготовленные пеллеты сожгли в специальном стенде (рис. 1), что подтверждает идею о том, что вместо отходов, которые загрязняют окружающую среду, возможно, получить экологически чистое топливо. Остаток золы находится в пределах 1 – 2 %.

Итак, по нашим расчетам общие расходы энергии на производство пеллет составят 6,5 – 7 МДж/кг. При предполагаемой теплоте сгорания пеллет 14 – 16 МДж/кг их производство будет экономически целесообразным. Необходи-

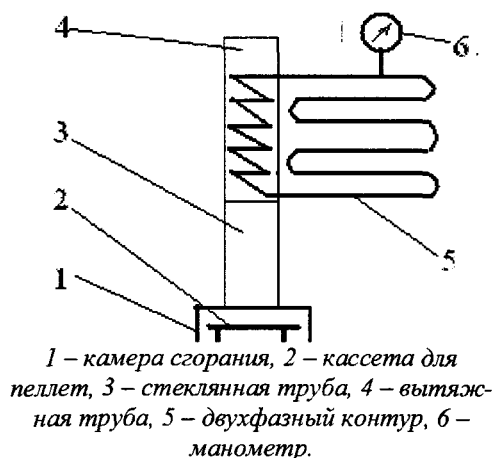


Рис. 1 – Экспериментальный стенд

можно добавить, что пепел, который образуется при сгорании, является высококачественным удобрением, содержащим до 30 % калия и около 10 % фосфорной кислоты.

Литература

1. Перетяка С.Н. Перспективы биотоплива в Украине // Наукові праці ОНАХТ – Одеса. 2010. – Вип. 37, С.203 – 206.
2. Перетяка С.Н. Исследование энергетических характеристик кофейного шлама // Наукові праці ОНАХТ – Одеса. 2011. – Вип. 39, Т. 2, С. 345 – 347.
3. Осипова Л.А. Обоснование и разработка технологии ликеров из виноградных выжимок // Харчова наука і технологія. – 2014. – №3(28). – С. 68 – 72.
4. Сборник технологических инструкций, правил и нормативных материалов по винодельческой промышленности / Под ред. Г.Г. Валуйко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 511с.
5. Валуйко Г.Г. Биохимия и технология красных вин / Г.Г. Валуйко. – М.: Пищ. пром-сть, 1973. – 296 с.
6. Крусір Г.В. Обґрунтування розробки кормової добавки з відходів виноробства / Г.В. Крусір, О.В. Севастьянова, І.Ф. Соколова // Харчова наука і технологія. – 2014. – №1(26). – С. 73 – 79.
7. Практическое руководство по созданию пеллетного производства // ALLIGNO Maschine nexport GmbH / www.Alligno. Ru

ЭНЕРГОМОНИТОРИНГ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСТОРАННОГО И ГОСТИНИЧНОГО КОМПЛЕКСА

Харенко Д.А., канд. техн. наук, ассистент

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В работе на основе широкого анализа литературы определена специфика энергообеспечения предприятий ресторанного и гостиничного комплекса. Предложены пути повышения эффективности использования энергии при соблюдении необходимых условий комфорта. Рассмотрены приоритетные задачи комплекса в условиях энергетического кризиса в Украине.

In current paper a specificity of energy supply of restaurant and hotel complex enterprises is determined on base of wide literature analysis. The ways of increase of efficiency of energy using with keeping the necessary comfort conditions are offered. Priority tasks of complex in conditions of energy crisis in Ukraine are considered.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергетический аудит, рестораны и гостиницы.

Введение. Энергоэффективность является важным приоритетом работы предприятий сферы обслуживания (в частности отелей и ресторанов) в связи с быстро растущим спросом на энергию, значительными трудностями в области энергопоставок и последствиями глобального потепления в мире.

По сравнению с рядом промышленных стран экономика Украины по-прежнему является энергоемкой. В Украине используется почти в три раза больше энергии на единицу валового внутреннего продукта, чем в Польше, и в четыре с половиной раза больше, чем в Германии.

По указанным причинам общенациональное сокращение энергопотребления имеет колоссальное значение для Украины в целом и для ее промышленности в частности. Конкурентоспособность украинской промышленности и ее рост в течение последних нескольких лет могут внезапно остановиться в результате значительного роста энергозатрат.

Основные тенденции энергообеспечения комплекса. Руководители предприятий занимают консервативную позицию относительно потенциала их компаний в области повышения энергоэффективности. По их расчетам, реальная экономия находится в пределах 10-13 процентов, тогда как фактически они могут добиться сокращения энергопотребления на 20-30 процентов.

Предприятия в неполной мере используют возможности энергоаудитов. Проведение энергоаудита предприятия – важный инструмент для определения мер по повышению энергоэффективности и оценки их результатов. Такие аудиты проводились только у 49 процентов опрошенных предприятий. Шестьдесят шесть процентов опрошенных предприятий ссылаются на нехватку средств в качестве основной причины отказа от реализации мер по повышению энергоэффективности. При этом только одна треть из них обращалась за внешним финансированием. Интересно, что более 80 процентов компаний, обратившихся за внешним финансированием, получили его на вполне приемлемые сроки (24-30 месяцев).

Нежелание привлекать внешнее финансирование приводит к отсрочке либо отмене многих выгодных мер по энергосбережению, хотя в долгосрочной перспективе полученные благодаря таким проектам сбережения превысят стоимость кредитов. Более трети опрошенных в ходе исследования предприятий вообще не участвуют в проектах по энергоэффективности. Они объясняют это нежеланием проходить сложные и длительные процедуры получения различных правительственных разрешений, лицензий и т.д. Руководству предприятий следует рассмотреть ряд шагов в целях повышения энергоэффективности для повышения долгосрочной конкурентоспособности предприятий:

- Провести реальную оценку технически достижимой для предприятия экономии энергии и средств. Для этого следует выявить места возникновения энергозатрат посредством мониторинга энергопотребления в конкретных производственных подразделениях, а также отследить наиболее энергоемкое оборудование.

- Разработать стратегический план действий предприятия по энергоэффективности.

- Определить подразделение или назначить сотрудника, ответственного за управление разработкой, реализацией и мониторингом мер по энергоэффективности в рамках предприятия.

- Признать выгоду привлечения долгосрочного внешнего финансирования для реализации проектов по энергосбережению.

- Провести финансовый анализ реализации потенциальных мер по энергоэффективности. Этот анализ приносит двойную выгоду: в качестве инструмента для принятия инвестиционных решений в рамках предприятия, а также для демонстрации обоснованности проекта для потенциальных кредиторов.

Существующая практика повышения энергоэффективности. Хотя это и не очевидно, реализация мер по повышению энергоэффективности тесно связана со стратегией развития предприятия. Такие составляющие, как эксплуатационные затраты, производственные мощности и потребности в капитальных вложениях являются ключевыми составляющими стратегического плана развития предприятия. С другой стороны, если меры по снижению энергозатрат и лежащей в их основе модернизации оборудования не соответствуют стратегии компании, расхождения могут привести к ошибкам в расходовании средств, неспособности добиться производственных целей либо к росту эксплуатационных затрат.

Согласование стратегии развития предприятия с расчетными потребностями в модернизации производственных процессов и планируемыми мерами по снижению энергозатрат является основным условием достижения конкретных целей по снижению энергозатрат предприятия. Замена устаревшего оборудования играет важную роль в снижении энергозатрат, если она является частью плана стратегического развития компании. С одной стороны, продолжение эксплуатации устаревшего оборудования не требует капитальных инвестиций. С другой стороны, использование такого оборудования

зачастую сказывается на высоких эксплуатационных затратах, связанных с более дорогостоящим обслуживанием, частыми выходами из строя, приводящим к перебоям в работе, и более высоким уровнем энергопотребления, связанным с устаревшей конструкцией и высокими потерями.

При разработке стратегии по повышению энергоэффективности, предприятие обязательно должно предусмотреть план замены устаревшего оборудования, установленного более 15 лет назад. Как обсуждалось ранее, эксплуатация устаревшего, изношенного оборудования может являться препятствием для дальнейшего развития производства в целом. Далее в этом отчете мы увидим, что замена устаревшего оборудования является задачей большинства реализованных с 2006 года крупномасштабных проектов по энергоэффективности, а связанные с ними инвестиции представляют значительную часть общих расходов компании.

Специфика энергообеспечения предприятий ресторанного и гостиничного комплекса. Украинские предприятия за последние несколько лет в определенной степени модернизировали свое производственное оборудование. В результате по состоянию на лето 2008 г. доля компаний, сообщивших об эксплуатации производственного оборудования старше 15 лет, составила 41 процент. Кроме того, исследование показало, что доля устаревшего производственного оборудования (старше 15 лет) является меньшей в тех секторах, предприятия которых демонстрируют наиболее значительный рост оборота по сравнению с предыдущим годом. Так, доля компаний пищевой промышленности, эксплуатирующих производственное оборудование старше 15 лет, составляет только 23 процента. Шестидесят шесть процентов опрошенных компаний этого сектора сообщили о росте продаж в течение 2007 г. более чем на десять процентов по сравнению с предыдущим годом. С другой стороны, 53 процента предприятий химического и нефтехимического сектора по-прежнему эксплуатируют оборудование, которое было установлено, не менее, 15 лет назад. Только 29 процентов предприятий этого сектора сообщили о росте продаж более чем на десять процентов в 2007 г.

Эксплуатация оборудования старше 10 лет неэффективна по двум причинам: его производительность ниже, чем у оборудования, в котором используются более современные технологии, а также более высокие эксплуатационные затраты, так как расходы на обслуживание и количество случаев выхода из строя повышаются в результате естественного износа. Таким образом, достижение дальнейшей экономии энергии в значительной степени будет зависеть от того, насколько компании смогут заменить устаревшее оборудование.

В гостиничном бизнесе коммунальные платежи являются одной из основных затратных статей. Известно, что не менее 40 % всех эксплуатационных расходов составляют топливо и электроэнергия. В нормативную документацию по расчетам потенциала энергосбережения разных стран включаются нормы потребления тепловой и электрической энергии для объектов санаторнокурортного и туристского комплекса. Например, в Правилах Некоммерческого партнерства «СоюзДорЭнерго» России для санаториев и домов отдыха с ванными при всех жилых комнатах установлена норма расхода горячей воды 200 л/сутки, с душами при всех комнатах – 150 л/сутки; расход воды на 1 чел. в санаториях принят равным 120 л/сутки, в домах отдыха – 75 л/сутки. Для пионерских лагерей водопотребление горячей воды составляет от 30 до 130 л/сутки в зависимости от уровня автоматизации обслуживания детей и полноты сервиса.

В Украине утверждены «Межотраслевые нормы потребления электрической и тепловой энергии для учреждений и организаций бюджетной сферы Украины» (Постановление Государственного комитета Украины по энергосбережению от 25.10. 1999 г., № 91 [33]), в которых предприятия рекреационного ти-

па (санатории, дома отдыха, санатории-профилактории, пансионаты) входят в группу объектов нормирования

«Учреждения охраны здоровья». Нормы потребления тепла и электроэнергии рассчитаны для административных регионов Украины с учетом поправочных коэффициентов.

Оптимизация энергетического менеджмента в развитии региональных рекреационных систем предполагает проведение анализа энергетической составляющей в функционировании систем и оценки эффективности энергосбережения. Главными вопросами являются:

- является ли энергетическое обеспечение рекреационной системы качественным и экономически и экологически целесообразным?

- является ли энергоемкость регионального туристско-рекреационного продукта минимальной?

- каковы резервы и способы энергосбережения?

Исследование должно иметь последовательный характер, охватывая весь энергетический цикл, и осуществляться на разных иерархических уровнях:

локальном (конкретные предприятия санаторно-курортного и туристского комплекса);

микрорегиональном (курорты и туристские центры, рекреационные системы административных районов низового уровня);

мезорегиональном (рекреационные системы основных административно-территориальных единиц страны);

макрорегиональном (рекреационная система страны в целом).

Алгоритм аналитико-оценочных работ энергоменеджмента. Общий алгоритм аналитико-оценочных работ определяется на основе общеметодических подходов, но трансформируется с учетом рекреационной специфики. Основными этапами являются:

Этап 1. Проведение энергетического аудита рекреационных предприятий; определение комплекса исходных данных и расчетных показателей энергозатрат и энергоэффективности в производстве туристско-рекреационных услуг.

Этап 2. Оценка потенциала энергосбережения и реального эффекта применения энергосберегающих технологий, ВИЭ и вторичных источников энергии; определение резервов энергосбережения.

Этап 3. Выбор перспективных направлений энергосбережения.

Этап 4. Разработка экономико-организационного механизма стимулирования энергосбережения в развитии региональной рекреационной системы.

Этап 5. Мониторинг и корректировка программ энергосбережения.

Объем расхода тепловой и электрической энергии рекреационных предприятий определяется на основе технических измерений потребленной энергии с помощью приборов и энергетического аудита. Информацию об использовании энергетических ресурсов может дать энергетический паспорт предприятия. Обязательное составление энергетических паспортов бюджетных учреждений предусмотрено во многих странах, однако и для объектов частной формы собственности ведение данного документа представляется целесообразным. В ходе аудита выявляется следующая информация:

технические характеристики объекта (общая и отапливаемая площадь, площадь наружных стен, площадь остекления, основной материал стен, котельное оборудование и др.);

оснащенность приборами учета энергетических ресурсов;

эксплуатационные показатели (число работников, для рекреационных объектов – единовременная емкость и пропускная способность, расчетная температура воздуха в здании, продолжительность урортного сезона, продолжительность отопительного сезона и др.);

теплоснабжение (источники теплоснабжения; тарифы на тепловую энергию и ее передачу; расчетная тепловая нагрузка, Гкал/ч на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и технологические нужды; годовое суммарное и удельное (на 1 чел., на 1 кв.м), в т.ч. фактическое, потребление тепловой энергии и др.);

электроснабжение (мощность установленная/расчетная, квт, в т.ч. на освещение и силовое оборудование;

годовое потребление электроэнергии, квт-ч; поставщик;

тарифы на электроэнергию; удельное (на 1 чел., на 1 кв.м) потребление электроэнергии);

горячее водоснабжение (расход горячей воды, куб. м в час, сутки, месяц, год; источник водоснабжения, тарифы на горячую воду; удельный расход горячей воды);

суммарное годовое потребление топливно-энергетических ресурсов, т у.т.; годовые затраты на топливно-энергетические ресурсы (в т.ч. по видам), тыс. грн.

Все отмеченные показатели анализируются в динамике, что позволит не только установить общий тренд в потреблении энергии, но и выявить проблемы диверсификации. Помимо исходных показателей, в методике анализа и оценки энергетического состояния рекреационной системы региона необходим ряд

дополнительных показателей для определения общего уровня энергоемкости рекреационного продукта, потерь и экономии энергии:

1. удельный вес рекреационных предприятий (в т.ч. санаторно-курортных и туристских) в годовом объеме потребления топливно-энергетических ресурсов региона, %;
2. энергоемкость рекреационного продукта (удельный расход суммарной, в т.ч. тепловой и электрической энергии, в расчете на единицу годового объема производства рекреационных услуг, кг у.т./1000 грн.);
3. удельный расход топливно-энергетических ресурсов в расчете на 1 койко-место предприятий туристско-рекреационного комплекса;
4. удельный расход топливно-энергетических ресурсов в расчете на 1 отдыхающего;
5. число гелиоколлекторов (ветроагрегатов и др.), установленных на рекреационных предприятиях; площадь гелиополя;
6. удельный вес рекреационных предприятий, использующих ВИЭ;
7. объемы потерь топливно-энергетических ресурсов рекреационных предприятий;
8. экономия топливно-энергетических ресурсов за счет снижения потерь;
9. экономия топливно-энергетических ресурсов за счет снижения удельного потребления тепла, электроэнергии и воды при производстве туристско-рекреационных услуг, ккал/чел. в год, кВт-ч/чел. в год, куб. м/1 чел. в год;
10. экономия топливно-энергетических ресурсов за счет перевода рекреационных предприятий на солнечную, ветровую, комбинированную и др. энергию;
11. выбросы вредных веществ в атмосферу от предприятий туристско-рекреационного комплекса, т/год;
12. удельный вес рекреационных предприятий от общего объема выбросов по региону, %;
13. экономия от внедрения энергосберегающих технологий и использования ВИЭ и вторичных источников энергии на рекреационных предприятиях региона, млн. грн.;
14. объем инвестирования в энергосберегающие технологии и внедрение ВИЭ на рекреационных предприятиях, млн. грн.

Практика повышения энергоэффективности на предприятиях ресторанного и гостиничного комплекса. На данный момент в большинстве украинских гостиницах просматривается тенденция экономии энергии при помощи установки энергосберегающих ламп, датчиков движения, использования ключей доступа для подачи электроэнергии в номер. В то же время, меры по энергосбережению довольно редко затрагивают системы отопления, холодоснабжения, вентиляции и кондиционирования гостиницы, хотя именно на них приходится львиная доля расходов.

Ясно, что основополагающим условием экономии энергоресурсов является их учет. Но сами приборы учета не могут рассматриваться как энергосберегающее оборудование, так как счетчик фиксирует фактический расход энергоресурсов на объекте в соответствии, с показаниями которого происходят расчеты с поставщиком. Следовательно, прибор учета стимулирует энергосбережение, делая его экономически выгодным потребителю. Каждый управляющий гостиницей часто сталкивается с проблемой, когда номера в отеле полностью не заняты, а эксплуатационные расходы велики. Отсутствие возможности удаленного контроля и дифференцированного учета не позволяет отследить правильность режимов работы оборудования. Соответственно, ограничены возможности планирования и оценки эффективности энергосберегающих мероприятий.

Можно, конечно, поддерживать температуру в номерах при помощи термостатов, е подконтрольных диспетчеру инженерной службы отеля, но это отрицательно сказывается на экономии энергоресурсов и в заселенном, и в свободном номере. А связь тут следующая: для скорейшего достижения желаемой температуры в номере гость устанавливает крайние положения задатчика термостата (обычно это минимум +10°C и максимум +30°C). В этот момент сам гость может даже не находиться в номере, что приводит к ничем не оправданному «перегреву» или «переохлаждению» номера. После того, как гость покинул гостиницу, в обязанности горничных обычно входит установка термостата в экономный режим (примерно на +18°C), но проследить за этим не представляется возможным. То есть, эффективность энергосбережения здесь зависит от человеческого фактора — добросовестности сотрудников отеля и сознательности гостя.

Кроме того, любая неисправность в работе инженерных систем может быть обнаружена только при непосредственном обходе инженера или при поступлении жалоб со стороны постояльцев.

Логической вершиной оптимизации энергопотребления гостиницы считается применение энергосберегающего оборудования в совокупности с наличием контуров регулирования на всех уровнях распределения энергоресурсов и создание единой системы управления и мониторинга.

Система управления отоплением, запрограммированная на экономию ресурсов, будет следить за присутствием или отсутствием гостя. Если гость в номере — комфорт и удобство на самом высоком уровне. Если гость покидает номер — система автоматически переходит в режим экономии энергии. Так же система автоматически уменьшит отопление при открывании окна, отключит кондиционер во время проветривания, увеличит мощность вентиляции при увеличении числа людей в помещении (например, во время семинаров и конференций).

Такие системы позволяют добиться экономии энергоресурсов, а также существенно экономят время и трудозатраты обслуживающего персонала.

Выводы. Анализ литературных источников [1 - 25] позволяет утверждать, что оптимизации расходов, необходимых для обеспечения нормального функционирования рекреационных предприятий, приобретает сегодня максимальную актуальность и для повышения конкурентоспособности необходимо внедрять энергоэффективные технологии.

Литература

1. Алгоритм формирования региональных программ энергосбережения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: un/files/energo_review/algorithmregionalnyhprogrammef.pdf.
2. Афган Н.Х. Концепция устойчивого развития энергообеспечения / Н.Х., Афган, М.Г.Карвальо, М. Кумо // Теплоэнергетика. – 2000. – № 3. – С. 70-77.
3. Башта А.І. Методологічні основи енергозбереження в розвитку рекреаційної системи: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора. екон. наук: спец. 08.00.04 «Економіка та управління національним господарством» / А.І. Башта. – Сімферополь, 2012. – 40 с.
4. Энергосбережения. Інформаційно-енергетичні паспорти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.carpathia.gov.ua/ua/publication/content/5335.htm>.
5. Мараховский А.В. Применение современных цифровых технологий для энергосбережения в курортно-рекреационной сфере / А.В. Мараховский // Матеріали доповідей учасників міжнар. н-п конференції «Інформаційні технології в управлінні туристичною та курортно-рекреаційною економікою». Бердянськ, 15-16 вересня 2006 р.
6. Методика розрахунку показника енергоспоживності валового регіонального продукту. Наказ № 63 від 21.07.11/ Державне Агентство з енергоефективності та енергозбереження України. – К., 2011. – 45 с.
7. Методика экспресс-оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС: РД 153-34.1-09.321-2002. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 71 с.
8. Методические материалы по вопросам энергосбережения (для бюджетных организаций) / Министерство промышленности и энергетики Красноярского края [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.google.com.ua/url?sa=t&rc=j&q=&esrc=s&source=web&cd=21&ved=0CCAQFjAАОВQ&url>.
9. Могиленко А. Энергосбережение и энергоэффективность. Важные аспекты мониторинга и анализа / А. Могиленко, Д. Павлюченко // Новости электротехники. – 2012. – №4 (76) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2011/70/08.php>.
10. Правила расчета потенциала энергосбережения / Некоммерческое партнерство «Межрегиональное объединение организаций энергетического обследования транспортного комплекса «СоюзДорЭнерго». – М., 2010. 55с.
11. Практическое руководство по повышению энергоэффективности муниципальных систем / Под редакцией А.С. Копеца и Р.В. Кишкани — Донецк, 2007. — 204 с..
12. Про затвердження Міжгалузевих норм споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України / Державний комітет України з енергозбереження [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0175-00>.
13. Рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения нетрадиционных солнечных и солнечно-теплонасосных систем теплоснабжения на гражданских и промышленных объектах. – М., 1987. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/RekomendaciiRekomendacii61.html>.
14. Садилов П.В. Инженерная экология: роль нетрадиционных источников энергии в обеспечении устойчивого развития горно-климатического курорта «Красная Поляна» / П.В. Садилов, А.Н. Волков // Инженерная экология. – 2001. – № 3. – С. 48-53.
15. Садилов П. Комплексное использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в системе устойчивого энергоснабжения рекреационного региона / П. Садилов, А. Волков // Топливно-энергетический комплекс Кубани. – 2001. – № 1. – С. 46-50.
16. Україна на шляху до енергетичної ефективності. / За редакцією М. П. Ковалко, М. В. Рапшуна, і др. Методологія розробки. Основні напрями і механізми реалізації Комплексної державної програми

- енергосбереження України до 2010 року. Науково-практичне видання. – К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 1997. – 225 с.
17. Ус А.Г. О некоторых аспектах повышения эффективности работ по энергосбережению /А.Г. Ус, А.И. Коновалов [Электронный ресурс].–Режим доступа: <http://www.gstu.by/sites/default/files/issues/vestnik/2010-03.pdf>.
 18. Устойчивый Крым. Энергетические стратегии XXI века / [под ред. В.С. Тарасенко]. – Симферополь: Сонат, 2001. – 400 с.
 19. Шкрет А.Ф. Методические особенности оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий / А.Ф. Шкрет // Материалы Четвертой Российской научно-технической конференции «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности», Ульяновск, 24-25 апреля 2003 г. –Ульяновск, 2003.
 20. Шкурупская И.А. Экономическая эффективность гелиоэнергетического оборудования [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/9079/1/Shkurypska.doc>
 21. Энциклопедия энергосбережения / Данилов Н.И., Щелоков Я.М. –Екатеринбург:Сократ, 2002. – 351 с.
 22. Hay J.E., McKay D.C. Estimating solar irradiance on inclined surfaces: a review and assessment of methodologies // International Journal of Solar Energy. –1985. –Vol. 4, № 4- 5. –P. 203 –240.
 23. Kapur J.C. Role of Renewable Energy for the 21st century // Renewable Energy. –1999. – № 16. –P. 1245-1250.
 24. Mazzuracchio P., Raggi A., Barbiri B. New Method for Assessment the Global Quality of Energy System // Applied Energy. –1996. –Vol. 53. –P. 315-324.
 25. Sarafidis I., Diakoulaki D., Papayannakis L., Zervos A. A regional planning approach for the promotion of renewable energies // Renewable Energy. –1999. –Vol. 18.1. P. 317–30.

УДК 664.085.4-03

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

**Яровий І.І., канд. техн. наук, асист., Катасонов О. В., інженер
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса**

В статті відображено один з варіантів вирішення технічної проблеми, пов'язаної зі складністю вимірювання температури в об'ємі дослідного зразка, що обробляється в середовищі потужного мікрохвильового електромагнітного поля. Задля розкриття змісту і важливості проблеми, стаття відображає поточний етап експериментів та їх місце в комплексі досліджень процесів мікрохвильового сушіння рослинної сировини. З метою спрощення процесу вирішення подібних проблем іншими дослідниками, стаття ілюструє процес вирішення проблеми шляхом вибору конкретних зразків обладнання та програмного забезпечення, використаних в ході розробки дослідного стенду і методів досліджень.

The paper describes one of the variants of solving the technical problems associated with the complexity of measuring the temperature in the test sample is processed in the environment of a powerful electromagnetic field. For disclosure of the content and importance of the problem, the article reflects the current stage of experiments and their place in the complex research of the processes of microwave drying of vegetable raw materials. To simplify the process of solving such problems by other researchers, the article illustrates the process of solving problems by selecting specific models of equipment and software used in the course of stand development research and research methods.

Ключові слова: мікрохвильовий нагрів, вологовидалення, сушіння, рослинна сировина, вимірювання температури, надвисокочастотне електромагнітне поле, неконвективні способи сушіння.

Для сучасних технологій сушіння характерне загострення трьох основних проблем: енергетична ефективність процесу вологовидалення, екологічна безпека технології сушіння та безпека отриманих висушених продуктів. На сьогодні сушку рослинної сировини, зернових культур зокрема, здійснюють переважно в шахтних сушильних установках, конвективним способом, застосовуючи в якості сушильно-

го агенту суміші газів – продуктів згоряння вуглеводнів та атмосферного повітря. Не можна вважати таку технологію повністю безпечною ні з точки зору екології ні з позиції безпечності продуктів вироблених із зернової сировини. Далеко не кращим чином виглядають конвективні технології сушіння і з точки зору енергетичних витрат, а на фоні стрімкого подорожчання енергоносіїв, ця сторона проблеми стає все більш актуальною.

При всій різноманітності існуючих методів вологовидалення абсолютна більшість з них використовують конвекційний механізм енергопідводу. А саме недоліки конвективного енергопідводу, як то: декілька разова конверсія, використання агенту сушки, складність контролю та керування процесом нагрівання сировини, висока енергоємність сушильних установок, тощо, не дозволяють прогнозувати значного росту якісних показників сушіння для традиційних способів вологовидалення. Названі недоліки можуть бути лише компенсованими або частково усуненими, так як природа цих недоліків лежить у фізичних явищах та обмеженнях притаманних самому конвективному способу теплопередачі.

Протягом декількох останніх років на кафедрі процесів, апаратів та енергетичного менеджменту ОНАХТ системно проводяться дослідницькі роботи за проблематикою сушіння рослинної сировини з використанням технологій мікрохвильового (МХ) нагріву. Використання для енергопідводу електромагнітного мікрохвильового поля, вимагає нових підходів до конструювання сушильних МХ апаратів, до принципів управління і контролю за процесом сушіння.

Досвід отриманий при проведенні досліджень пов'язаних з обробкою вологих матеріалів мікрохвильовим електромагнітним полем доводить, що через складність та велику кількість чинників, процес взаємодії надвисокочастотного електромагнітного поля з рослинною сировиною - вологим матеріалом з різномірною, волокнисто-капілярною структурою піддається аналітичному аналізу лише у найбільш узагальненому вигляді. Саме тому основним напрямом робіт в дослідженні процесів вологовидалення у мікрохвильовому електромагнітному полі обрано їх фізичне моделювання, з наступним аналізом результатів.

Для проведення фізичного моделювання процесу мікрохвильової сушки рослинної сировини на кафедрі створено експериментальну сушильну установку, конструкцію якої приведено на рис. 1. Створення діючого зразка мікрохвильової сушарки передувало дослідження впливу мікрохвильового поля на нерухомі зразки рослинної сировини, аналіз та вибір конструктивних характеристик елементів сушарки, побудова окремого сушильного модулю та дослідження характеристик процесу мікрохвильового нагріву рухомого шару рослинної сировини.

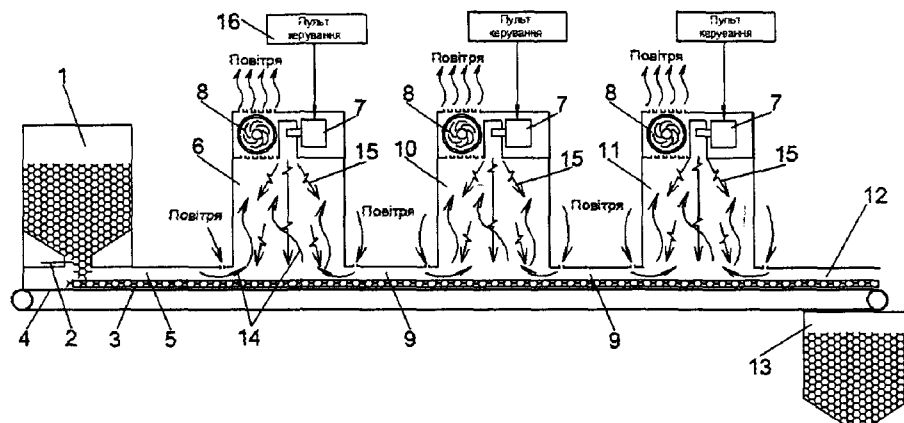


Рис. 1 – Структурна схема модульної мікрохвильової стрічкової сушильної установки.

Установка складається з: бункера для вологого матеріалу 1, з дозуючим пристроєм 2, стрічкового конвеєра 4, для транспортування шару матеріалу 3 через зони сушки, вхідного 5 і вихідного 12 шлюзових тунелів. Основою установки є камери мікрохвильової сушки матеріалу 6, 10 і 11, кожна з яких обладнана магнетроном (генератором мікрохвильового випромінювання) 7 і вентилятором 8. Камери з'єднані між собою шлюзовими тунелями 9. Також сушарка має бункер для обробленого матеріалу 13 і систему управління потужністю магнетронів сушильних камер 16.

В результаті експериментальних випробувань були визначені основні залежності між потужністю мікрохвильового випромінювання, що підводиться до сушильних камер і температурою шару зернової сировини (рис. 2), між температурою шару сировини і швидкістю руху шару сировини через сушильні камери (експозицією сушки) (рис. 3), та деякі інші.



Рис. 2 – Залежність температури шару сировини на виході сушильних камер від потужності МХ випромінювання. 1, 2, 3 – номери камер.



Рис. 3 – Залежність температури шару сировини на виході сушильних камер від швидкості руху шару. 1, 2, 3 – номери камер.

Виявлені залежності температури шару сировини від потужності випромінювання у сушильній камері та від експозиції сушки близькі до лінійних.

Зниження вмісту вологи у сировині, визначалося за результатами вимірювання вологості зерна до і після його обробки, максимальне зниження вологості складало 3,7% при використанні повної потужності МХ випромінювання камер, рис. 4.



Рис. 4 – Залежність результуючого зниження вологості сировини від потужності випромінювання МХ генераторів

Основні характеристики експериментальної мікрохвильової сушильної установки:

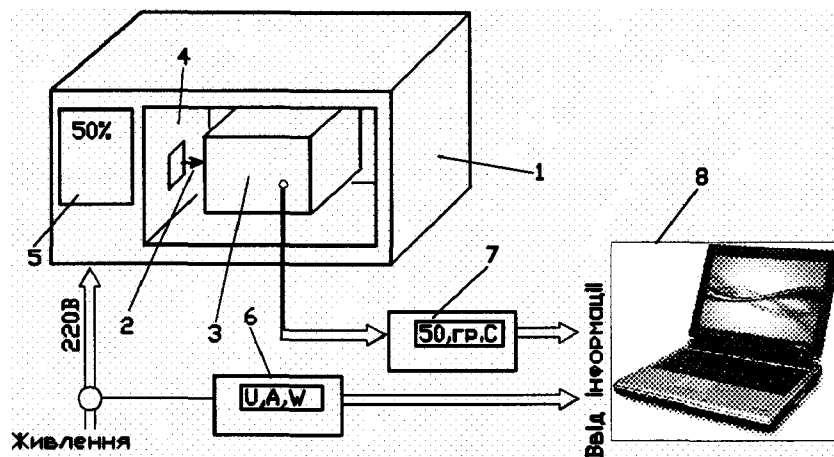
Частота випромінювання МХ генераторів:	2450 ± 50 MHz
Споживана електрична потужність установки:	≤ 2,6 кВт
Споживана електрична потужність МХ генераторів:	≤ 2,4 кВт (регулюється)
Вихідна потужність МХ генераторів:	≤ 1,5 кВт
Швидкість стрічки конвеєра установки:	0-0,3 м/хв. (регулюється)
Продуктивність сушарки по зерну (20% в.в.):	3-10 кг/год (залежить від режиму)
Продуктивність по вилученій волозі:	0,3-0,4 кг/год.
Габаритні розміри установки (д/ш/в):	3000*600*1200 мм

Подальшим розвитком ідеї використання енергії мікрохвильового електромагнітного поля для нагрівання та сушіння рослинної сировини, після апробації способу на прикладі стрічкової сушильної установки, стало завдання класифікації та оптимізації енергетичних витрат в даному процесі.

Метою поточного етапу дослідження є визначення залежностей, що описують взаємодію МХ поля з об'ємним шаром рослинної сировини, в тому числі матеріалів з різною внутрішньою структурою (в межах декількох типів сировини).

Одним з ключових параметрів, що характеризують динаміку процесу мікрохвильового нагріву є температура шару сировини, що піддається обробці електромагнітним полем. Особливості розподілу мікрохвильової енергії в резонаторі (сушильній камері) та її взаємодії з вологим матеріалом, значно ускладнюють використання традиційних засобів термометрії. Додатково, нерівномірність розподілу енергії в межах об'єму вологого матеріалу – об'єкту сушки, вимагає одночасної, динамічної реєстрації параметрів для декількох рознесених в об'ємі точках, з подальшим усередненням та обробкою результатів.

В одному з останніх експериментів досліджувався об'ємний розподіл виділення тепла в середовищі вологої зернової сировини під впливом МХ випромінювання. Методика проведення експериментів вимагала багатоточкового контролю зміни температури в об'ємі досліджуваного зразка (сипучий матеріал в радіо прозорому контейнері) з високою точністю та динамікою: не гірше ніж $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ та не рідше ніж 1 вимір кожні 10 с.. Для вирішення технічної задачі вимірювання (моніторингу) температурного поля в об'ємі зразка складено дослідний стенд на основі мікрохвильової печі з споживаною електричною потужністю 800 Вт. Конструкція стенду показана на рис. 5.



1 – МХ піч; 2 – МХ випромінювання; 3 – контейнер з дослідним зразком; 4 – МХ камера; 5 – регулятор потужності; 6 – контрольні прилади; 7 – модуль цифрового вводу; 8 – ноутбук.

Рис. 5 – Конструкція стенду для дослідження процесу мікрохвильового нагріву

За планом експериментальних досліджень температура в об'ємі зразка (зернової сировини) вимірювалась в декількох (шести) точках за різними векторами: по осі випромінювання, на паралельних осі векторах по вертикальній та горизонтальній нормалях до осі антени мікрохвильового генератора.

Одним з найбільш складних моментів у питаннях вимірювання температури в умовах потужного МХ поле є те, що традиційні засоби (датчики) контролю, а саме термопари та термометри опору використовувати доволі складно, для перших необхідне якісне екранування від впливу МХ випромінювання, для других проблематичними є їх габаритні характеристики і також необхідне екранування вимірювальної лінії.

Проблему створення багатоканальної системи моніторингу температури вдалось вирішити використанням сучасної елементної бази: цифрових датчиків температури DS18B20 компанії DALLAS-MAXIM з однопровідним інтерфейсом 1-Wire®. Загальний вид датчиків показано на рис. 2б, загальний вигляд вимірювальної «термокоси» з шести датчиків показано на рис 2в.

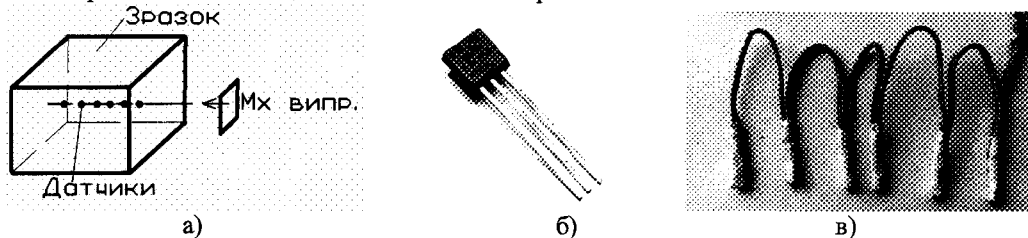


Рис. 6 – Цифрові датчики температури: а – приклад розташування в об'ємі зразка; б – датчик температури DS18B20; в – вимірювальна «термокоса».

Вихідний сигнал датчиків є цифровим, на нього не впливає МХ випромінювання, в діапазоні досліджуваних процесів датчик забезпечує точність до 0,1 °С, періодичність вимірювання (опитування датчиків) складала 3 секунди що краще ніж достатньо для дослідження кінетики МХ нагріву в межах конструкції дослідного стенду.

Впливу МХ випромінювання на датчики вдалось уникнути шляхом екранування як самих датчиків так і вимірювальної лінії. Протягом декількох серій експериментів система багатоканального контролю температури працювала добре. Зразок графіку зміни температури в контрольних точках об'єму зразка приведено на рис. 7а.

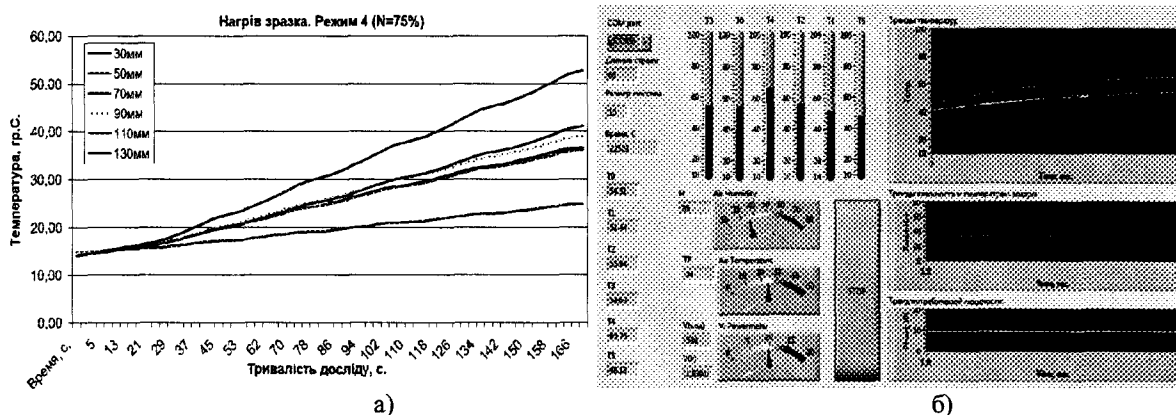


Рис. 7 – Результати моніторингу температури: а – в документі; б – на екрані комп'ютера.

Зважаючи на необхідність візуалізації поточної інформації про динаміку змін температури в досліджуваному зразку, для її відображення та наступної реєстрації використано комплекс у складі цифрового модуля вводу виводу на основі мікропроцесора ATmega328 модель Arduino Uno та програмного комплексу LabVIEW 2012 компанії National Instruments (використовувалась trial-версія програми). Загальний вид віртуального приладу побудованого для метрологічного супроводу експериментів на дослідному стенді показано на рис. 7б. Результати вимірювань за допомогою програмного комплексу, в реальному часі відображались на екрані монітора та фіксувались в електронний файл, зміст якого використовувався в подальшому для документування результатів експериментів.

Таким чином, на основі раніше виконаних досліджень, в процесі експериментального моделювання процесів сушіння вологих матеріалів рослинного походження під впливом мікрохвильового електромагнітного поля, вирішено проблему метрологічного супроводу, моніторингу та документування фізичного експерименту по одному з ключових параметрів процесу.

Література

1. Бурдо, О.Г. Нові принципи термообробки зерна [Текст] / О.Г. Бурдо, Зиков, С. Гайда // Наук. пр. /ОДАХТ. - О, 1999. - Вип. 20. - С. 223-229;
2. Яровой И.И. Разработка ленточной установки для обезвоживания растительного сырья электромагнитным полем. Диссертация на соискание н/с к.т.н.; ОНАПТ, г. Одесса, 2013 г.
3. УДК 66.047.55.086.2-035.2.
4. www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html
5. www.arduino.cc/
6. www.ni.com/labview/

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Авдєєва Л.Ю., 4, 216
 Альхури Юсеф, 118
 Атаманюк В.М., 46, 194
 Бандура В.М., 131
 Безбах И.В., 181
 Безгін М.М., 198, 209
 Белоусов М.Ю., 101
 Бендерська О.В., 43
 Березовська Н. І., 186
 Бессараб О.С., 43
 Беляновська О.А., 176
 Бодров В. С., 39
 Боровков С.А., 8
 Бурденко Т.И., 101
 Бурдо А.К., 143
 Бурдо О.Г., 67, 81, 118
 Бурлака Т.В., 12, 18
 Бухкало С.І., 122
 Воробей Н.Г., 129
 Воробйов Л.Й., 26
 Гальчак В.П., 219
 Гаращенко В.І., 105
 Гаращенко О.В., 105
 Гоженко Л.П., 138
 Головка Д.А., 112
 Головка И.Д., 112
 Горбунов К.А., 163, 173
 Госовський Р.Р., 194
 Гриценко О.Ю., 134
 Гузьова І.О., 46
 Гусарова Е.В., 26
 Давыдов В.А., 163, 173
 Деканський В. Є., 39
 Декуша Г.В., 216
 Декуша Л.В., 26
 Дементьева Т.Ю., 63
 Демчина О.І., 219
 Демчук Д.Ю., 98
 Дмитренко Н.В., 26, 52
 Долінський А.А., 4
 Дубковецький І.В., 12, 18, 22
 Євчук Я.В., 18
 Жеплінська М.М., 43
 Жукотський Е.К., 4, 216
 Зав'ялов В. Л., 39
 Запорожець Ю. В., 39, 70, 75
 Зейналієва Ю., 46
 Зыков А.В., 168
 Іваницький Г.К., 138
 Катасонов О. В., 227
 Кіндзера Д.П., 194
 Ковальов А.В., 60
 Козлов Я.М., 176
 Коломієць О.В., 176
 Коломієць Р. А., 22
 Коляновська Л.М., 56
 Корінчук Д.М., 98, 198, 204, 209
 Косів Р. Б., 186
 Копаренко В.А., 163, 173
 Кошелева М.К., 89
 Крутякова В.И., 101
 Лазарів І.Р., 43
 Лапіна Н. В., 70
 Левтринская Ю.О., 81
 Ляшенко А. В., 151
 Ляшко Г. В., 70
 Макаренко А.А., 4
 Макаренко Т.А., 67
 Малапєвич С.А., 67
 Малєжик І.Ф., 12, 18, 22
 Микичак Б.М., 46
 Мисюра Т. Г., 39, 70, 75
 Мусій Р.Й., 219
 Мыколив И.М., 60
 Овчарук І.І., 126
 Осадчук П.И., 213
 Осипенко Т.Н., 101
 Остапенко О. П., 157
 Пазюк В. М., 29
 Пазюк О.Д., 29
 Паляниця Л. Я., 186
 Пасічний В. М., 22
 Перетяка С.Н., 213
 Петрова Ж.О., 33, 190
 Погорілий Т. М., 78
 Поперечный А.Н., 8
 Попова Н. В., 39, 70, 75
 Потапов В.А., 134
 Прищепа Ю. Ю., 70
 Прокопенко О.М., 176
 Резниченко Д.Н., 168
 Рибачок А. В., 70, 75
 Рудобашта С.П., 89
 Ружицкая Н.В., 67
 Самойленко К.М., 29, 33
 Селихов Ю.А., 163, 173
 Сиротюк С.В., 219
 Смирнов Г.Ф., 168
 Снежкин Ю.Ф., 26, 29, 33, 91, 198, 204, 209
 Солодкая А.В., 63
 Сороковая Н.Н., 91
 Сороковой Р.Я., 91
 Степчук І.В., 198
 Страшинський І. М., 22
 Стрельченко Л.В., 18, 22
 Сухий К.М., 176
 Сухий М.П., 176
 Терзиєв С.Г., 81
 Турчина Т.Я., 216
 Харандюк Т. В., 186
 Харенко Д.А., 222
 Целень Б.Я., 109
 Чайка О.І., 138
 Чорний В. М., 70
 Шалова Н.В., 101
 Шапарь Р.А., 91
 Шаркова Н.О., 216
 Швед Д.М., 126, 129
 Швед М.П., 126, 129
 Шит М.Л., 147
 Якушенко Е.Н., 134
 Яровий І.І., 227

ЗМІСТ

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ І ОБЛАДНАННЯ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИСПЕРСНОЇ СИСТЕМИ З ФОСФОЛІПІДАМИ	
Долінський А.А., Авдєєва Л.Ю., Жукотський Е.К., Макаренко А.А.....	4
ЭКСТРАКТОР ДЛЯ МАЛОТОННАЖНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ	
Поперечный А.Н., Боровков С.А.....	8
ДОСЛІДЖЕННЯ СУШІННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ РІЗНИМИ ІНФРАЧЕРВОНИМИ ВИПРОМІНЮВАЧАМИ	
Бурлака Т.В., Дубковецький І.В., Малєжик І.Ф.....	12
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ КОНВЕКТИВНО - ТЕРМОРАДІАЦІЙНОГО СУШІННЯ ГЛОДУ	
Дубковецький І.В., Малєжик І.Ф., Стрельченко Л.В., Євчук Я.В.....	18
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ БІЛКІВ СОЄВОГО КОНЦЕНТРАТУ «Pro-Vo KM», «БЕЛКОТОН С 95» ТА ЇХ КОМБІНАЦІЇ КОНВЕКТИВНО-ТЕРМОРАДІАЦІЙНИМ СПОСОБОМ	
Стрельченко Л. В., Дубковецький І. В., Страшинський І. М., Малєжик І. Ф., Пасічний В. М., Коломієць Р. А.....	22
ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТРАТ ТЕПЛОТЫ НА ИСПАРЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЯБЛОЧНОГО СОКА	
Снежкин Ю.Ф., Гусарова Е.В., Дмитренко Н.В., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й.....	26
ЗАСТОСУВАННЯ СТУПІНЧАТИХ РЕЖИМІВ ПРИ СУШІННІ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ	
Снежкін Ю.Ф., Пазюк В. М., Самойленко К.М., Пазюк О.Д.....	29
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТИ ВИПАРОВУВАННЯ ВОЛОГИ З БЕТАНІНОВМІСНОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В ПРОЦЕСІ ЗНЕВОДНЕННЯ МЕТОДОМ СИНХРОННОГО ТЕПЛОВОГО АНАЛІЗУ	
Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Самойленко К.М.....	33
ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ПРИ ВІБРОЕКСТРАГУВАННІ ІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	
Зав'ялов В.Л., Мисюра Т.Г., Бодров В.С., Попова Н.В., Запорожець Ю.В., Деканський В.Є....	39
ОЧИЩЕННЯ ТОПНАМБУРОВОГО ЕКСТРАКТУ ВАПНЯНИМ МОЛОКОМ	
Жеплінська М.М., Бессараб О.С., Бендерська О.В., Лазарів І.Р.....	43
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЦУКАТІВ З ГАРБУЗА	
Гузьова І.О., Атаманюк В.М., Микичак Б.М., Зейналієва Ю.....	46
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШКИ НА ТЕПЛОТУ ВИПАРОВУВАННЯ ВОЛОГИ З РОСЛИННИХ ТКАНИН	
Дмитренко Н.В.....	52
ЗАЛЕЖНІСТЬ ПИТОМОГО ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВІД ГІДРОМОДУЛЯ ТА ПИТОМОЇ ПОТУЖНОСТІ ПРИ ЕКСТРАГУВАННІ НАСІННЯ СОЇ	
Коляновська Л.М.....	56
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОПОГЛОЩЕНИЯ В ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПЕЧАХ С КОНВЕКТИВНЫМ ОБОГРЕВОМ	
Ковальов А.В., Мыколив И.М.....	60
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООБМЕНА НЕПОДВИЖНОГО СЛОЯ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ	
Дементьева Т.Ю., Солодкая А.В.....	63
КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЭКСТРАКТОВ СТЕВИИ В МИКРОВОЛНОВОЙ ВАКУУМ-ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ	
Бурдо О.Г., Ружицкая Н.В., Макаренко Т.А., Малашевич С.А.....	67
АНАЛІЗ ДИСПЕРСНОГО СТАНУ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЗЕРНОВОГО ПОХОДЖЕННЯ	
Чорний В. М., Прищепа Ю. Ю., Лапіна Н. В., Ляшко Г. В., Рибачок А. В., Мисюра Т. Г., Попова Н. В., Запорожець Ю. В.....	70

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССУ ЭКСТРАГУВАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ГІРКИХ НАСТОЯНОК	
Рибачок А. В., Чорний В. М., Мисюра Т. Г., Попова Н. В.....	75
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ В КОМІРЦІ РОЗЧИНУ САХАРОЗИ ПРИ ЇЇ ОДНОЧАСНОМУ КОНТАКТУ З ПАРОВОЮ БУЛЬБАШКОЮ ТА КРИСТАЛОМ ЦУКРУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТАЛИХ АБО ЗМІННИХ КОЕФІЦІЕНТІВ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМІРК ПРИ МАСОВІЙ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЦУКРУ	
Погорілий Т. М.....	78
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КОФЕ	
Терзиев С.Г., Левтринская Ю.О., Бурдо О.Г.....	81

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ БЕЗОПАСНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Кошелева М.К., Рудобахта С.П.....	89
СПОСОБ СУШКИ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛО В ЛЕНТОЧНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВОГО НАСОСА	
Сорокова Н.Н., Снежкин Ю.Ф., Шапарь Р.А., Сороковой Р.Я.....	91
ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	
Корінчук Д.М., Демчук Д.Ю.....	98
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МАЛОТОННАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ (МБСЗР)	
Крутякова В.И., Белоусов М.Ю., Осипенко Т.Н., Бурденко Т.И., Шалова Н.В.....	101
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ МАГНІТНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ	
Гарашенко О.В., Гарашенко В.І.....	105
СПОСІБ БЕЗРЕАГЕНТНОЇ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ КИСЛОГО КОНДЕНСАТУ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ	
Целень Б.Я.....	109
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОСОБО ЧИСТЫХ ФЕРРАТОВ (VI)	
Головко Д.А., Головко И.Д.....	112
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА	
Бурдо О.Г., Альхури Юсеф.....	118
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ПЛІВКОВИХ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ	
Бухкало С.І.....	122
РЕСУРСΟ-ЕНЕРГООЩАДНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ	
Швед М.П., Швед Д.М., Овчарук І.І.....	126
РЕСУРСΟ-ЕНЕРГООЩАДНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ	
Швед М.П., Швед Д.М., Воробей Н.Г.....	129
ОБҐРУНТУВАННЯ ІЧ-ОБРОБКИ НАСІННЯ СОНЯШНИКА ПЕРЕД ЙОГО ОБРУШУВАННЯМ	
Бандура В.М.....	131
ФИЛЬТРАЦИОННАЯ СУШКА ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ	
Потапов В.А., Якушенко Е.Н., Гриценко О.Ю.....	134
ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЙНОГО РЕАКТОРА ПУЛЬСАЦІЙНОГО ТИПУ ДЛЯ ЕКСТРАГУВАННЯ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	
Іваницький Г.К., Чайка О.І., Гоженко Л.П.....	138
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	
Бурдо А.К.....	143

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ І ТЕПЛОВИХ ТРУБ. НЕЕНЕРГОЄМНІ ПРОДУКТИ ТА МАТЕРІАЛИ

ТЕПЛОНАСОСНАЯ ПАСТЕРИЗАЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА	
Шит М.Л.	148
НАУКОВІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ АГРОПРОМУ	
Ляшенко А. В.	152
МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОКОМПРЕСІЙНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ СТАНЦІЙ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ТА КОГЕНЕРАЦІЙНИМ ПРИВОДОМ	
Остапенко О. П.	157
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ	
Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Давыдов В.А.	163
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ ВВУ С ТЕПЛОМ НАСОСОМ	
Смирнов Г.Ф., Зыков А.В., Резниченко Д.Н.	168
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	
Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Давыдов В.А.	173
ОСНОВНІ РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНОГО АДСОРБЦІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА НА ОСНОВІ КОМПОЗИТНОГО СОРБЕНТУ «СИЛКАГЕЛЬ/Na ₂ SO ₄ »	
Коломієць О.В., Белянська О.А., Сухий К.М., Прокопенко О.М., Козлов Я.М., Сухий М.П.	176
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕКУПЕРАТИВНЫХ СУШИЛОК НА БАЗЕ ТЕРМОСИФОНОВ	
Безбах И.В.	181
ЗБРОДЖУВАННЯ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНОВОГО ПИВНОГО СУСЛА ДРІЗДЖАМИ РІЗНИХ РАС	
Косів Р. Б., Березовська Н. І., Паляниця Л. Я., Харандюк Т. В.	186
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЕКСТРАГУВАННЯ ГУМУСОВИХ ТА ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН	
Петрова Ж.О.	190
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СУШІННЯ ПОДРІБНЕНИХ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ	
Кіндзера Д.П., Атаманюк В.М., Госовський Р.Р.	194
АНАЛІЗ ЕНЕРГОВИТРАТ СТАДІЇ ТЕРМОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ БІОМАСИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА	
Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М., Безгін М.М., Степчук І.В.	198
ЗАЛИШОК ПІСЛЯ ЕКСТРАКЦІЇ ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН З ТОРФУ ЯК СИРОВИНА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БІОПАЛИВА	
Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М.	204
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ БІОСИРОВИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА	
Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М., Безгін М.М.	209
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ ИЗ ВИНОГРАДНЫХ ВЫЖИМОК	
Перетяка С.Н., Осадчук П.И.	213
ТЕХНОЛОГИЯ ВІТЧИЗНЯНОГО ПРОДУКТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ДІЄТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ «БЛОК ГІДРОЛІЗОВАНИЙ СУХИЙ»	
Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Декуша Г.В., Авдєєва Л.Ю., Турчина Т.Я.	216
СОНЯЧНІ ПОВІТРЯНІ ТЕПЛОВІ КОЛЕКТОРИ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОЇ СУШКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	
Мусій Р.Й., Демчина О.І., Сиротюк С.В., Гальчак В.П.	219
ЕНЕРГОМОНІТОРИНГ ПРІДПРИЯТТІЙ РЕСТОРАННОГО И ГОСТИНИЧНОГО КОМПЛЕКСА	
Харенко Д.А.	222
ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ	
Яровий І.І., Катасонов О. В.	227