

6. Герега А.Н. Физические аспекты процессов самоорганизации в композитах. 1. Моделирование перколяционных кластеров фаз и внутренних границ. // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2013. – Т. 19, №3. – С. 406-419.
7. Герега А.Н., Выровой В.Н., Дрик Н.Г. Моделирование внутренних границ как элементов структуры материала. / Материалы XVII международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам. – М.: Изд-во МАИ, 2011. – С. 57-59.
8. Ostapkevich M., Piskunov S. The Construction of Simulation Models of Algorithms and Structures with Fine-Grain Parallelism in WinALT. // Lecture Notes in Computer Science. – Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – V. 6873. – P. 192-203.
9. Герега А.Н. Моделирование структурных фазовых переходов методом мелкозернистого параллелизма. // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2013. – № 11/12. – С. 10-13.
10. Берлин А.А. Принципы создания композиционных полимерных материалов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
11. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов. – М.: МГУ, 2010. – 98 с.
12. Овчинников В.В. Радиационно-динамические эффекты. Возможности формирования уникальных структурных состояний и свойств конденсированных сред. // УФН. – 2008. – Т. 178, №9. – С. 991-1001.
13. Косевич А.М. Физическая механика реальных кристаллов. – Киев: Наукова думка, 1981. – 328 с.
14. Смирнов Б.М. Свойства фрактального агрегата. // УФН. – 1989. – Т. 157, вып. 2. – 357-360.

УДК 663.938

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ В ЗАДАЧАХ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ

Терзиев С.Г., канд. техн. наук, ассистент, Макиевская Т.Л., канд. техн. наук
Одесская национальная академия пищевых технологий

Анализируются проблемы моделирования процесса экстрагирования при микроволновом подводе энергии. Обосновываются преимущества методов теории подобия. Приведена схема получения модели в критериальной форме. Определены константы в критериальном уравнении.

The problems of modeling extraction process under microwave energy supply are analyzed. Advantages of similarity theory methods are proved. The schemes of receiving the model in criterial form are given. The constants of criterial equation are determined.

Ключевые слова: моделирование, теория подобия, экстрагирование, микроволновые технологии.

Введение. Процесс экстрагирования является ключевым в технологии растворимого кофе. Он в значительной степени определяет энергетические затраты, степень извлечения целевых компонентов, вкусоароматические качества готового продукта [1]. Технологическое оборудование для экстрагирования из зерен кофе отличается громоздкостью, металлоемкостью. Высокотемпературная обработка сырья в экстракторах существенно снижает качество экстракта. Актуальной является задача поиска новых технических решений для процессов экстрагирования из зерен кофе.

Совместные исследования в ОНАПТ и предприятия «Енни Фудз» обосновали перспективы применения микроволновых технологий для интенсификации процесса экстрагирования [2- 4]. Однако совершенствование оборудования такого класса требует решения серьезных проблем по их моделированию. Известные научные школы по проблемам экстрагирования не дает ответов на пути моделирования поставленной задачи. Проблема в сложном, комбинированном воздействии на систему инерционных, диффузионных, и энергетических потоков. В результате эффект определяется рядом движущих сил: традиционных при экстрагировании и специфических. Последние возникают за счет взаимодействием микроволнового поля (МВ) с полярными молекулами сырья. Возникают потоки, движущей силой которых являются турбулентная бародиффузия, вихревая диффузия, механодиффузия [5, 6]. Аналитическое и численное моделирование таких процессов затруднено, а для построения инженерных методик расчета целесообразно привлекать методы теории подобия [7].

Математическая модель процесса проточного экстрагирования в МВ-поле. Моделируются условия массопереноса из кофейного сырья в поток экстрагента, который движется сквозь слой сырья. Наличие трех движущих сил: внутри- внешне- и бародиффузионных, инициирует три массовых потока.

Результирующей эффект учтем эффективным коэффициентом массоотдачи ($\beta\Delta$). Искомая функциональная зависимость коэффициента массоотдачи $\beta\Delta = f(H, L, \rho, \mu, w, D, r, N, k, \Delta X, g)$ определяется 12 параметрами (табл.1):

Таблица 1 – Список параметров

Параметр	Символ	Размерность
Коэффициент массоотдачи	$\beta\Delta$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Высота слоя	H	м
Длина слоя	L	м
Средняя плотность потока	ρ	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Средняя вязкость потока	μ	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$
Средняя скорость потока	w	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Коэффициент диффузии	D	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
Скрытая теплота парообразования	r	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность микроволнового поля	N	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
Проницаемость слоя	k	м^2
Разность концентраций	ΔX	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Гравитационная постоянная	g	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$

Все 12 параметров выражаются с помощью только 3 размерных единиц. Согласно π -теореме связь между этими параметрами установлена в виде 9 безразмерных комплексов:

$$\begin{aligned}
 \pi_1 &= \frac{H \cdot \rho \cdot \beta\Delta}{\mu} \\
 \left. \begin{aligned}
 \pi_2 &= \frac{\Delta X}{\rho}; \quad \pi_3 = \frac{H^3 \rho^2 g}{\mu^2}; \quad \pi_4 = \frac{H \rho w}{\mu}; \\
 \pi_5 &= \frac{\rho D}{\mu}; \quad \pi_6 = \frac{H^2 \rho^2 r}{\mu^2}; \quad \pi_7 = \frac{H \rho^2 N}{\mu^3}; \\
 \pi_8 &= \frac{k}{H^2} \quad \pi_9 = \frac{L}{H}
 \end{aligned} \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Видно, что π_4 – это число Рейнольдса, $(\pi_5) \cdot \pi_1$ – число Шмидта, а $\pi_1 / \pi_4 = \beta / w = \text{Stm}$ – массообменное число Стантона, комбинация $\pi_7 (\pi_4 \pi_6)^{-1} = N (r w H^2 \rho)^{-1} = \text{Bu}$ – число энергетического воздействия, предложенное Бурдо О.Г. [2, 3]. Осталось $\pi_8 = \Pi$ – безразмерная проницаемость слоя сырья. Исключив из рассмотрения π_2 – на основе которого строится число Грасгофа массообменного и которое не может оказать практического влияния в поточных аппаратах, а, также, π_9 – значимое только для начальных участках слоя, окончательно получим модель в критериальной форме:

$$\text{Stm} = A (\text{Re})^m (\text{Sc})^n (\text{Bu})^p (\Pi)^k \quad (2)$$

Таким образом, для случая экстрагирования в микроволновом поле при движении раствора сквозь пористый слой массообменное число Стантона определяется числом Рейнольдса, Шмидта, безразмерной параметрической проницаемостью и числом Бурдо, которое устанавливает соотношение мощности поля и той энергии, которая необходима для перевода раствора в паровую фазу.

Константы A, m, n, p и k определяются по результатам экспериментальных исследований.

Обобщение результатов экспериментов.

Полученные данные экспериментальных зависимостей обрабатывались при помощи программного пакета Microsoft Excel с целью оценки скорости процесса, определения значений соответствующих коэффициентов массоотдачи (табл. 2, 3).

Таблиця 2 – Параметров потока под воздействием микроволнового поля

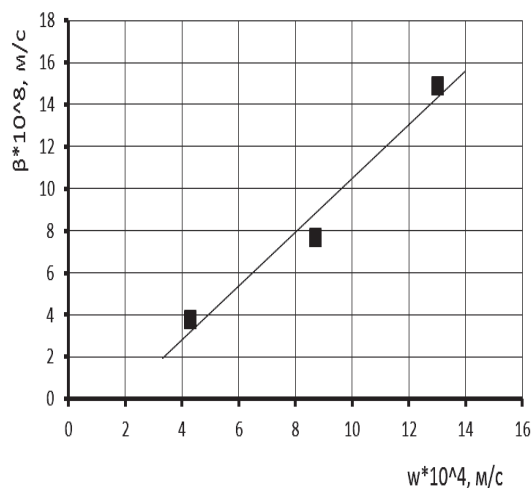
Сз, %	Стек, %	J·104, %/с	Δτ, с	ΔН·103, м	Re
при 40 °С					
1,20	0,23	19,41	600	8	35,75
2,23	0,20	16,63	600	14	35,75
0,59	0,07	5,94	1440	20	35,09
1,87	0,19	15,89	720	27	35,75
при 50 °С					
0,07	0,03	2,77	1920	8	41,20
1,12	0,09	7,39	1680	14	41,90
0,03	0,01	1,19	3480	20	40,50
0,95	0,10	7,94	1560	27	41,90

Аналогично базы экспериментальных данных были обработаны для всех серий опытов при других температурах, мощностей поля, расходов экстрагента, загрузки кассеты. Кинетические зависимости представлены на рис.1.

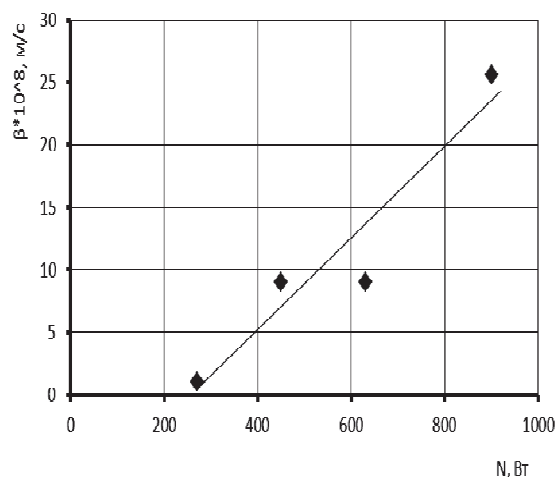
Таблиця 3 – Интенсивность массоотдачи под воздействием микроволнового поля

ΔС тек, %	w·104, м/с	Vp·106, м3/с	Сз, %	β·108, м/с
при 40 °С				
1,49	4,3	1	1,43	3,8
1,96	8,7	2	1,87	7,7
0,18	13,0	3	0,20	14,9
при 50 °С				
1,26	4,3	1	1,20	2,9
1,00	8,7	2	0,95	4,0
0,01	13,0	3	0,01	5,1

Установлено, что при увеличении скорости потока в 2,5...3,5 раза коэффициент массоотдачи увеличивается в 2,7...5 раз соответственно. А при одинаковых числах Re и безразмерной параметрической проницаемости Π значение коэффициента массоотдачи возрастает в 4 раза при увеличении мощности микроволнового поля в 2 раза.



а)



б)

Рис. 1 – Зависимость коэффициента массоотдачи от скорости потока экстрагента (а) и мощности микроволнового поля (б)

Методом наименьших квадратов проведена обработка массива экспериментальных данных. Установлены константы при числе Рейнольдса (рис.2)

Показатель степени при числе Шмидта принят традиционным (0,43). Далее установлена степень влияния величины энергетического (микроволнового) воздействия (рис.3).

Таким образом, обработка массива экспериментальных данных позволила получить соотношение для расчета интенсивности массопереноса при экстрагировании из кофейного шлама в условиях действия микроволнового поля. В критериальной форме модель для расчета числа Стантона массообменного имеет вид:

$$St_m = 0,004 (Re)^{-0,5} (Sc)^{0,43} (\Pi)^{0,6} (Bu)^{0,33} \quad (3)$$

Соотношение (3) рекомендуется для расчета и оптимизации микроволновых экстракторов из кофейного шлама. При использовании другого сырья методика обобщения базы экспериментальных данных остается аналогичной. Но саму базу экспериментальных данных следует получить.

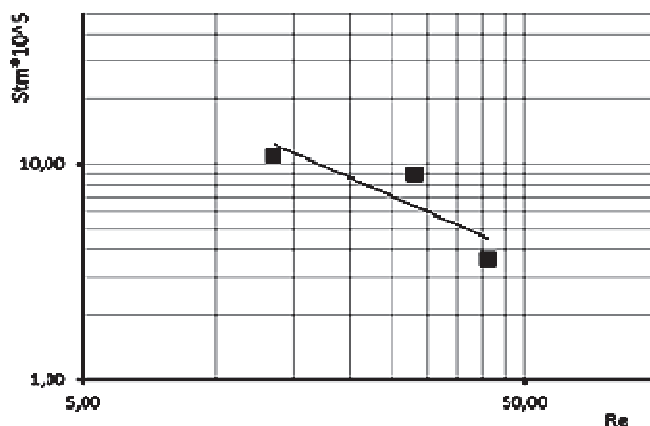
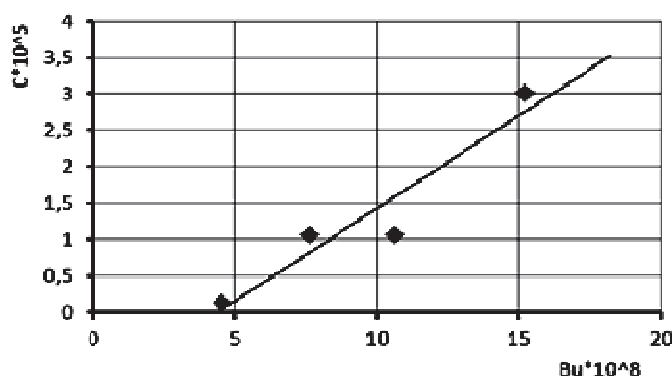


Рис. 2 – Зависимость числа Стантона от числа Рейнольдса (при $N = 450$ Вт/кг и температуре экстрагента 30°C)



$$C = \frac{St_m}{Re^{-0,5} \cdot Sc^{0,43}}$$

Рис. 3 – Зависимость комплекса чисел подобия C от числа парообразования Bu (значение безразмерной параметрической проницаемости $\Pi = 0,93$)

Выводы. Интенсивность массоотдачи может определяться моделью в виде критериального уравнения зависимости массообменного числа Стантона от чисел Шмидта, числа Бурдо и параметрического комплекса, учитывающего проницаемость слоя. Движущей силой массопереноса считается степень истощения твердой фазы.

Литература

1. Нахмедов Ф.Г. Технология кофепродуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 184 с.
2. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе- вода».- Одесса, 2007.- 176с.
3. Burdo O.G., Terzsev S.G., Knuish A.I., Kovalenko E.A. The New Ways of organization Heat Transfer in Food Industry Apparatuses /Proc. 5–th Int. Heat Pipes Symp.– Melbourne (Australia).– 1997.– P.7–14.
4. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А. Электромагнитные технологии обезвреживания сырья /Problemele energeticii regionale, Chisinau, №1 (18), 2012.- pp.69- 79.

5. Бурдо О.Г., Пищевые наноэнерготехнологии – Херсон, 2013 – 294с.
6. Бурдо О.Г. Механодиффузионный эффект массопереноса при экстрагировании в электромагнитном поле /«Харчова наука і технологія», № 4, 2012р., с.53-57.
7. Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах. Одесса, 2008. – 348 с.

УДК 664.8.047:536.6

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОЇ ГІГРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПАРЕНХІМНИХ ТКАНИН КАРТОПЛІ

Дмитренко Н.В., Іванов С.О., Декуша Л.В., канд. техн. наук, ст. н. співр.,
Снежкін Ю.Ф., д-р техн. наук, професор
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

У статті наведені результати експериментального дослідження впливу попередньої гігротермічної обробки на теплові характеристики та ефективність процесу конвективного сушіння паренхімних тканин картоплі. Показано, що попередня гігротермічна обробка тканин картоплі призвела до збільшення як їх теплоємності, так і теплоти випаровування з них вологи. Але, за тих самих інших умов, процес сушіння гігротермічно обробленої картоплі виявився більш оптимальним, судячи зі зменшення за абсолютною величиною критерію Ребіндера.

The article represents the results of a study of the influence preliminary hydrothermal treatment on thermal characteristics and efficiency of convective drying process of potato parenchyma. It is shown that the preliminary hydrothermal treatment of potato tissue caused an increase in their heat capacity and heat of vaporization of them moisture. But, under otherwise identical conditions, the drying process of treated potato was more optimal, judging by the decrease in the criterion Rebinder absolute value.

Ключові слова: картопля, сушіння, гігротермічна обробка, теплоємність, теплота випаровування, критерій Ребіндера.

Сушіння вологої сировини є одним з найефективніших засобів її підготування до довгочасного зберігання та наступної переробки. Однією з можливостей збереження кольору, смаку, запаху, вітамінної активності рослин в процесі промислового сушіння є їх попереднє бланшування. Під час такої гігротермічної обробки відбуваються складні фізичні, фізико-хімічні, структурні та біохімічні перетворення: інактивуються ферменти, припиняються окисні процеси, клітини набухають, протоплазма коагулює і відстає від клітинних оболонок. Бланшування картоплі призводить, до того ж, до часткової або повної клейстеризації крохмалю паренхімних тканин. Все це, в свою чергу, здатне призвести до змін у співвідношенні вільної та зв'язаної води в рослинних тканинах [1] і, як наслідок, до змін в їх теплоємності і теплоті випаровування з них вологи. Оскільки ефективність процесу сушіння в кожний конкретний момент часу відслідковують за співвідношенням між теплотою, яку витрачено на нагрів матеріалу, та теплотою, яку витрачено на випаровування з нього вологи (за критерієм Ребіндера Rb), можна припустити, що застосована попередня обробка призведе до змін і в цьому оптимізаційному критерії.

Експериментальне дослідження впливу гігротермічної обробки паренхімних тканин картоплі на їх теплові характеристики та оптимізаційний критерій їх сушіння є основною метою роботи.

Спеціально для такого роду досліджень в ІТТФ НАН України було розроблено установку синхронного теплового аналізу ДМКИ-01 [2, 3] – диференціальний мікрокалориметр випаровування, що суміщує в собі можливості диференціальної мікрокалориметрії і термогравиметрії. Прилад дозволяє визначати питому теплоту випаровування вологи з таких речовин як харчові, фармацевтичні, лакофарбні матеріали, розчини і розчинники. Через конструктивні особливості його можна використовувати також для виміру їхньої теплоємності.

Для дослідження було використано зразки паренхімних тканин картоплі сорту «Дніпрянка» (селекція Інституту картоплярства НАН України) розмірами від 1х2х2 мм до 2х3х3 мм. Попередню обробку проводили шляхом нагрівання зразків в киплячій воді до моменту досягнення ними температури 95 °С. Підсушування зразків необробленої картоплі, для отримання необхідного спектру вологості при визначенні теплоємності, проводили в вакуумній шафі, щоб запобігти ферментативному потемненню.