

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**



**ОДЕСА
2017**

Публікуються доповіді, представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (4 – 8 вересня 2017 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

доктор техн. наук, професор

О.Г. Бурдо

Ю.О. Левтринська

Е.Ю. Ананійчук

О.В. Катасонов

Одеська національна академія харчових технологій, 2017 р.

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров
Богдан Вікторович
Бурдо
Олег Григорович
Атаманюк
Володимир Михайлович
Васильєв
Леонард Леонідович
Гавва
Олександр Миколайович
Гумницький
Ярослав Михайлович
Долинський
Анатолій Андрійович
Зав'ялов
Владимир Леонідович
Керш
Владимир Яковлевич
Колтун
Павло Семенович
Корнієнко
Ярослав Микитович
Малежик
Іван Федорович
Михайлов
Валерій Михайлович
Паламарчук
Ігор Павлович
Снежкін
Юрій Федорович
Сорока
Петро Гнатович
Тасімов
Юрій Миколайович
Товажнянський
Леонід Леонідович
Ткаченко
Станіслав Йосифович
Ульєв
Леонід Михайлович
Черевко
Олександр Іванович
Шит
Михайл Львович

- голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
- вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
- Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
- Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
- Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАНУ
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Одеська державна академія будівництва та архітектури, д.т.н., професор
- Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
- Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
- Вінницький національний аграрний університет, д.т.н., професор
- Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., член-кор. НАНУ
- Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
- Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
- Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
- Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
- Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.

УДК 664.854

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ В МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНО – ТЕРМОРАДІАЦІЙНОГО СУШІННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ

Малежик І.Ф. д-р техн. наук, Бурлака Т.В. аспірант,
Дубковецький І.В. канд. техн. наук, доцент, Деканський В.Є. асистент
Національний університет харчових технологій

APPLICATION OF THE POSSIBILITY THEORY IN MODELING OF THE PROCESS OF CONVECTIVE - THERMORADIATIVE DRYING OF CULTIVATED MUSTS

Malezhik I.F. Dr. Tech. Sciences, Burlaka T.V. postgraduate, Dubkovetsky IV Cand.
Tech. Sciences, associate professor (docent), dekansky V.E. assistant National University
of Food Technology

Анотація: Дослідження процесів, що протікають в технологічних установках, встановлення закономірностей їх протікання, знаходження залежностей, необхідних для їх аналізу і розрахунку, можна проводити різними методами: теоретичним, експериментальним, подоби.

Теоретичний метод заснований на складанні та вирішенні системи диференціальних рівнянь, що описують процес. Однак багато процесів технології такі складні, що вдається лише скласти систему диференціальних рівнянь і встановити умови однозначності. Вирішити ці рівняння відомими в математиці методами не представляється можливим.

Експериментальний метод дозволяє на основі досвідчених даних отримати емпіричні рівняння, що описують даний процес. Складнощі експериментального методу полягають у необхідності проведення великої кількості дослідів на реальних технологічних установках.

Складність деяких процесів іноді не дає змоги або розв'язати складену систему диференціальних рівнянь з використанням найкращих ЕОМ, або навіть поставити математичну задачу. У таких випадках змінні величини спочатку групують у безрозмірні комплекси або на основі диференціальних рівнянь, або шляхом використання методу аналізу розмірностей, а відтак одержують загальну функціональну залежність між цими комплексами. В основі даного методу лежить друга теорема Федермана - Бекінгема, що дає можливість обробки експериментальних даних у формі загального критеріального рівняння.

Інтенсивність досліджуваного процесу сушіння визначають коефіцієнтом масовіддачі β і коефіцієнтом тепловіддачі α . У зв'язку з труднощами, що виникають в результаті аналітичного моделювання, слід застосувати експериментальне моделювання, основною науковою базою якого є теорія подібності і метод «аналізу розмірностей». На основі його загальних принципів встановлюємо вид критеріального рівняння для розрахунку коефіцієнта масовіддачі β і коефіцієнтом тепловіддачі α .

Abstract: The study of processes occurring in technological installations, the establishment of the laws of their flow, finding dependencies necessary for their analysis and calculation, can be carried out by various methods: theoretical, experimental, similarities.

The theoretical method is based on the compilation and solving of a system of differential equations describing the process. However, many processes of technology are so complex that we can only complete the system of differential equations and establish the conditions of uniqueness. It is not possible to solve these equations in methods known in mathematics.

The experimental method allows us to obtain empirical equations describing this process on the basis of experimental data. The complexity of the experimental method consists in the necessity of conducting a large number of experiments on real technological installations.

The complexity of some processes sometimes does not make it possible either to solve a complex system of differential equations using the best computers, or even to put a mathematical problem. In such cases, variables are initially grouped into dimensionless complexes either on the basis of differential equations, or by using the dimensional analysis method, and thus obtain a general functional relationship between these complexes. The

308

basis of this method lies in the second theorem of Federmann-Buckingham, which enables the processing of experimental data in the form of a general criterion equation.

The intensity of the investigated drying process is determined by the coefficient of mass-transfer β and the coefficient of heat transfer α . In connection with the difficulties arising from the analytical modeling, experimental simulation should be applied, the basic scientific base of which is the theory of similarity and the method of "dimensional analysis". On the basis of its general principles, we establish the kind of a criterion equation for calculating of mass-transfer coefficient β and the coefficient of heat transfer α .

Ключові слова: коефіцієнт масовіддачі, тепловіддача, аналіз розмірностей, сушіння, культивовані гриби.

Keywords: mass-transfer coefficient, heat transfer, dimensional analysis, drying, cultivated mushrooms.

Вступ. Раціональні параметри сушіння та інтенсифікація процесу досягається комбінацією таких параметрів сушіння, як форма та розміри матеріалу, його питоме навантаження, швидкість руху і температура теплоносія. Істотний вплив на тривалість процесу має температура сушильного агента. Підвищенням температури досягається інтенсифікація зневоднення, час теплового впливу зводиться до мінімуму, що забезпечує економічність процесу. Однак при виборі теплового режиму необхідно враховувати гранично-допустиму температуру конкретного матеріалу, що визначається його термостійкістю. Аналіз хімічного складу культивованих грибів глина звичайна показує, що вони складаються з таких важливих для організму людини термолабільних речовин як білки, вуглеводи, органічні кислоти, ферменти, в яких відбуваються зміни при температурах 65–70°C. Тому одержати продукт високої якості можливо за умови, що температура матеріалу в процесі сушіння не перевищує свого критичного значення. Звідси витікає, що температуру теплоносія протягом усього процесу сушіння необхідно змінювати відповідно до закономірностей переносу теплоти і вологи у конкретному матеріалі.

Комбінація конвективного і терморадіаційного сушіння при імпульсному донесенні теплоти до поверхні культивованих грибів дозволяє досягнути бажаних якісних технологічних характеристик і зменшити витрати енергії в порівнянні з конвективним чи терморадіаційним сушінням. Це було доведено серією досліджень відображених в статтях [2,3,4]. Але система процесу описується великою кількістю факторів, які характеризують кінетику конвективно-терморадіаційного сушіння. Тому доцільно використовувати методи математичного моделювання для прогнозування оптимальних умов проведення процесу. Аналітичне моделювання, що використовувалось для опису процесу конвективно-терморадіаційного сушіння, є дещо спрощеним та не враховує факторів визначення імпульсного введення променевої енергії на поверхні продукту та в приміжовому паро-повітряному шарі. У зв'язку з труднощами, що виникають в результаті аналітичного моделювання, слід застосувати експериментальне моделювання, основною науковою базою якого є теорія подібності і метод «аналізу розмірностей».

Результати. Математичний опис процесу конвективно-терморадіаційного сушіння було одержано емпіричним методом. Інтенсивність процесу видалення вологи при конвективно-терморадіаційному сушінні визначають коефіцієнтом масовіддачі від приміжового шару до паро-повітряного середовища, що оточує продукт. Інтенсивність процесу видалення вологи також залежить від теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем, що характеризується коефіцієнтом тепловіддачі.

Складання критеріального рівняння в залежності від коефіцієнта масовіддачі. Коефіцієнт масовіддачі залежить від наступних параметрів: швидкість теплоносія (w), розміри частинок сировини (d), коефіцієнт дифузії (D), питома маса продукції (P_s), густина вологи (ρ_b), в'язкість (μ). В досліджуваних умовах бародифузія пов'язана з впливом інфрачервоного випромінювання визначається різницею тисків, величина яких прямо пропорційна енергії випромінювання і тієї енергії, яка необхідна для пароутворення (r) і потужності опромінення (N_{op}).

$$\beta = f(d, D, \mu, r, N_{op}, \rho_b, w, P_s)$$

Припустимо, що $w, d, D, P_s, \rho_b, \mu, r, N_{op}$ мають невідомі показники ступеня k, l, m, n, o, p, s, t . Таким чином, шукану функціональну залежність можна представити у наступному вигляді

$$\beta = d^k \cdot D^l \cdot \mu^m \cdot r^n \cdot N_{op}^o \cdot \rho_b^p \cdot w^r \cdot P_s^s$$

Основні складові формули занесено в табл.1.

Табл 1. Основні параметри досліджуваного процесу

№	Найменування параметра	Символ	Степінь	Розмірність
1	Середній коефіцієнт масовіддачі	β		$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
2	Розміри частинок	d	k	м
3	Коефіцієнт дифузії	D	l	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
4	В'язкість	μ	m	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$
5	Питома теплота пароутворення	r	n	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
6	Потужність ІЧ – генераторів	$N_{\text{оп}}$	o	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
8	Густина вологи	$\rho_{\text{в}}$	p	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
9	Швидкість теплоносія	w	r	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
10	Питома маса продукції	P_s	s	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$

Очевидно, що для даного факторного простору число змінних 9 за кількості розмірностей 3. Тому за π - теоремою кількості безрозмірних комплексів $9 - 3 = 6$.

Для здійснення математичного аналізу рівняння складаємо матрицю в табл.2.

Табл.2 Матриця розмірностей досліджуваного степеневого ряду

	k	l	m	n	o	p	r	s	β
M			1		1	1		1	0
L	1	2	-1	2	2	-3	1	-2	1
τ		-1	-1	-2	-3		-1		-1

Всі ці параметри складаються з трьох основних розмірностей: маси (M), довжини (L), часу (τ), (табл. 2). Розмірності параметрів, що входять в рівняння, відомі, його можна записати:

$$[L\tau^{-1}] = [L]^k [L^2\tau^{-1}]^l [ML^{-1}\tau^{-1}]^m [M^2L^{-2}]^n [ML^2\tau^{-3}]^o \cdot [ML^{-3}]^p [L\tau^{-1}]^r [ML^{-2}]^s$$

або, розкривши дужки, одержимо:

$$[L\tau^{-1}] = L^{k+2l-m+2n+2o-3p+r-2s} \cdot M^{m+o+p+s} \cdot \tau^{-1-m-2n-3o-r}$$

Зрівняємо показники ступенів при однакових символах розмірностей і одержимо три рівняння:

$$\begin{cases} k+2l-m+2n+2o-3p+r-2s=1 \\ m+o+p+s=0 \\ -1-m-2n-3o-r=-1 \end{cases}$$

$$m=1-l-2n-3o-r$$

$$p=-1+l+2n+2o+r-s$$

$$k=1-2l+1-l-2n-3o-r-2n-2o-3-3l+6n+6o+3r-3s-r+2s$$

$$k=-1+2n+o+r-s$$

Одержані значення підставимо в рівняння.

$$\beta = d^{-1+2n+o+r-s} \cdot D^l \cdot \mu^{1-l-2n-3o-r} \cdot r^n \cdot N_{\text{оп}}^o \cdot \rho_{\text{в}}^{-1+l+2n+2o+r-s} \cdot w^r \cdot P_s^s$$

Згрупуємо величини за показниками ступенів і одержимо критеріальне рівняння у вигляді:

$$\frac{\beta d \rho}{\mu} = \left(\frac{\mu^2}{d^2 r \rho^2} \right)^{-n} \cdot \left(\frac{d N_{\text{оп}} \rho^2}{\mu^3} \right)^o \cdot \left(\frac{d^2 \rho w}{\mu} \right)^r \left(\frac{\mu}{D \rho} \right)^{-1} \left(\frac{P_s}{d \rho} \right)^s$$

Групи $\frac{\beta d \rho}{\mu}$ і $\frac{\mu}{D \rho}$ дають відношення коефіцієнта конвективного масообміну до коефіцієнта дифузії – число Шервуда:

$$\frac{\beta d \rho}{\mu} \cdot \frac{\mu}{D \rho} = \frac{\beta d}{D} = Sh$$

Відношення кількості руху потоку води до дифузійного потоку – число Шмідта:

$$\frac{\mu}{D \rho} = \frac{\nu}{D} = Sc$$

Комбінація:

$$\left(\frac{\mu^2}{d^2 r \rho^2} \right)^{-n} \cdot \left(\frac{dN_{on} \rho^2}{\mu^3} \right)^0 = \frac{N_{on}}{\mu dr} = Bu$$

число Бурдо, число енергетичної дії, що встановлює співвідношення між енергією випромінювання і енергією, яка необхідна для перетворення в пару води.

Відношення $\frac{d \rho w}{\mu}$ - число Рейнольдса:

$$\frac{d \rho w}{\mu} = Re$$

Комплекс $\left(\frac{P_s}{d \rho} \right)^5 = A$ є безрозмірним і враховує продуктивність досліджуваного процесу.

Отже структура критеріального рівняння через числа подібності буде наступною:

$$Sh = A \cdot Sc^0 \cdot Re^\pi \cdot Bu^\epsilon$$

Константи A, π, σ, ϵ визначаються експериментально і наведені в дод.

Табл 3. Параметри критеріїв подібності і досліджуваного процесу

№	Sc	Sc ⁰	Re	Re ^π	Bu	Bu ^ε	A	Sc ⁰ · Re ^π	Sc ⁰ · Re ^π · Bu ^ε
1.	0,214	2,434	2549,751	358,82	6,076 · 10 ⁻¹⁰	9,787 · 10 ⁵	0,04	-2,281	21,022
2.	0,218	2,408	3569,652	461,82	9,015 · 10 ⁻¹⁰	7,573 · 10 ⁵	0,083	-2,351	21,258
3.	0,223	2,377	4589,552	557,60	1,196 · 10 ⁻⁹	6,302 · 10 ⁵	0,129	-2,386	21,292
4.	0,227	2,353	5609,453	648,17	1,365 · 10 ⁻⁹	5,783 · 10 ⁵	1,833	-2,414	21,402

В результаті визначених констант із графічних залежностей та на основі розрахункових і експериментальних даних отримані критеріальні рівняння можна представити у вигляді:

$$Sh = A \cdot Sc^{-0,58} \cdot Re^{0,75} \cdot Bu^{-0,65}$$

Складання критеріального рівняння в залежності від коефіцієнта тепловіддачі. Коефіцієнт тепловіддачі характеризує інтенсивність теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем. Він чисельно дорівнює кількості теплоти, що віддається (або приймається) одиницею поверхні в одиницю часу при різниці температур між поверхнею тіла і навколишнім середовищем в 1°.

Особливий вплив на теплообмін чинять наступні фізичні параметри: теплопровідність λ , питома теплоємність c , густина ρ , коефіцієнт температуропровідності a і коефіцієнт в'язкості μ .

Коефіцієнт тепловіддачі залежить від наступних параметрів: швидкість теплоносія (w), розміри частинок сировини (d), коефіцієнт дифузії (D), питома маса продукції (P_s), густина води (ρ_B), в'язкість (μ). В досліджуваних умовах бародифузія пов'язана з впливом інфрачервоного

випромінювання визначається різницею тисків, величина яких прямо пропорційна енергії випромінювання і тієї енергії, яка необхідна для пароутворення (r) і потужності опромінення ($N_{\text{оп}}$).

$$\alpha = f(w, d, \rho, \lambda, c, \mu, r, N_{\text{оп}}, P_s, a)$$

Припустимо, що $w, d, \rho, \lambda, c, \mu, r, N_{\text{оп}}, P_s, a$ мають невідомі показники ступеня $a, b, c, d, e, k, l, m, n, o$. Таким чином, шукану функціональну залежність можна представити у наступному вигляді

$$\alpha = w^a \cdot d^b \cdot \rho^c \cdot \lambda^d \cdot c^e \cdot \mu^k \cdot r^l \cdot N_{\text{оп}}^m \cdot P_s^n \cdot a^o$$

Основні складові формули заносимо в табл. 4.

Табл 4. Основні параметри досліджуваного процесу

№	Найменування параметра	Символ	Степінь	Розмірність
1	Коефіцієнт тепловіддачі			кг/(с ³ ·К)
2	Швидкість теплоносія	w	a	м·с ⁻¹
3	Розміри частинок	d	b	м
4	Густина вологи	ρ_B	c	кг·м ⁻³
5	Коефіцієнт теплопровідності	λ	d	м·кг/(с ³ ·К)
6	Питома (масова) теплоємність	c	e	м ² /(с ² ·К)
7	В'язкість	μ	k	кг·м ⁻¹ ·с ⁻¹
8	Питома теплота пароутворення	r	l	м ² ·с ⁻²
9	Потужність ІЧ – генераторів	$N_{\text{оп}}$	m	кг·м ² ·с ⁻³
10	Питома маса продукції	P_s	n	кг·м ⁻²
11	Коефіцієнт температуропровідності	a	o	м ² ·с ⁻¹

Для здійснення математичного аналізу рівняння складаємо матрицю в табл. 5.

Табл 5. Матриця розмірностей досліджуваного степеневого ряду

	a	b	c	d	e	k	l	m	n	o	α
M			+1	+1		+1		+1	+1		+1
L	+1	+1	-3	+1	+2	-1	+2	+2	-2	+2	0
τ	-1			-3	-2	-1	-2	-3		-1	-3
K				-1	-1						-1

Всі ці параметри складаються з чотирьох основних розмірностей: маси (M), довжини (L), часу (τ), температури (K) (табл. 5). Розмірності параметрів, що входять в рівняння, відомі, його можна записати:

$$[M\tau^{-3}K^{-1}] = [L\tau^{-1}]^a \cdot [L]^b \cdot [ML^{-3}]^c \cdot [ML\tau^{-3}K^{-1}]^d \cdot [L^2\tau^{-2}K^{-1}]^e \cdot [ML^{-1}\tau^{-1}]^k \cdot [L^2\tau^{-2}]^l \cdot [ML^2\tau^{-3}]^m \cdot [ML^{-2}]^n \cdot [L^2\tau^{-1}]^o$$

або, розкривши дужки, одержимо:

$$[M\tau^{-3}K^{-1}] = M^{c+d+k+m+n} \cdot L^{a+b-3c+d+2e-k+2l+2m-2n+2o} \cdot \tau^{-a-3d-2e-k-2l-3m-o} \cdot K^{-d-e}$$

Зрівняємо показники ступенів при однакових символах розмірностей і одержимо три рівняння:

$$\begin{cases} c + d + k + m + n = 1 \\ a + b - 3c + d + 2e - k + 2l + 2m - 2n + 2o = 0 \\ -a - 3d - 2e - k - 2l - 3m - o = -3 \\ -d - e = -1 \end{cases}$$

$$d = 1 - e$$

$$c = e - k - m - n$$

$$a = 3 - 3d - 2e - k - 2l - 3m - o$$

$$a = e - k - 2l - 3m - o$$

$$b = -a + 3c - d - 2e + k - 2l - 2m + 2n - 2o$$

$$b = -1 - k - 2m + e - n - o$$

Одержані значення підставимо в рівняння:

$$\alpha = w^{e-k-2l-3m-o} \cdot d^{-1-k-2m+e-n-o} \cdot \rho^{e-k-m-n} \cdot \lambda^{1-e} \cdot c^e \cdot \mu^k \cdot r^l \cdot N_{\text{оп}}^m \cdot P_s^n \cdot a^o$$

Згрупуємо величини за показниками степенів і одержимо критеріальне рівняння у вигляді:

$$\frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \left(\frac{wd\rho c}{\lambda} \right)^e \cdot \left(\frac{wd\rho}{\mu} \right)^{-k} \cdot \left(\frac{r}{w^2} \right)^l \cdot \left(\frac{wd}{a} \right)^{-o} \cdot \left(\frac{N_{\text{оп}}}{w^3 d^2 \rho} \right)^m \cdot \left(\frac{P_s}{d\rho} \right)^n$$

Критерій Нусельта – розглядають як співвідношення між інтенсивністю теплопередачі та напругою температурного поля в прикордонному шарі потоку теплоносія.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

Критерій Пекле

$$Pe = \frac{wd\rho c}{\lambda}$$

Критерій Рейнольдса - міра відношення сил інерції та молекулярного тертя, визначає подібність режиму течії в системі.

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu}$$

Критерій Прандтля є мірою відношення інтенсивності передачі кількості руху за рахунок молекулярного переносу та інтенсивності переносу кількості теплоти за рахунок вільної конвекції, визначає подібність температурних та швидкісних полів.

$$Pr = \frac{wd}{a}$$

Фізичний сенс числа Bu полягає в тому, що встановлюється співвідношення між енергією випромінювання і тією енергією, яка необхідна для перетворення на пару всієї води, яка знаходиться в продукті.

$$Bu = \frac{N_{\text{оп}}}{rwd^2\rho}$$

Комплекс $\left(\frac{P_s}{d\rho} \right)^s = A$ є безрозмірним і враховує продуктивність досліджуваного процесу.

Отже структура критеріального рівняння через числа подібності буде наступною:

$$Nu = A \cdot Pe^\sigma \cdot Re^\pi \cdot Pr^\epsilon \cdot Bu^\zeta$$

Константи $A, \sigma, \pi, \epsilon, \zeta$ визначаються експериментально.

Табл 6. Параметри критеріїв подібності і досліджуваного процесу

№	Pe	Pe ^σ	Re	Re ^π	Pr	Pr ^ε	Bu	Bu ^ζ	A
1.	5681,286	29,12	6249,4	189,45	103,84	0,039	48,57·10 ⁻⁷	408350,17	50,3663
2.	7530,719	32,51	5917	183,34	136,84	0,032	71,82·10 ⁻⁷	543299,62	104,2654
3.	9179,104	35,11	5609,5	177,56	165,93	0,028	86,24·10 ⁻⁷	620949,71	160,9756
4.	10742,76	37,34	5371,4	173,00	193,07	0,025	96,82·10 ⁻⁷	675680,19	220,8835

В результаті визначених констант із графічних залежностей та на основі розрахункових і експериментальних даних отримані критеріальні рівняння можна представити у вигляді:

$$Nu = A \cdot Re^{0,39} \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{-0,7} \cdot Bu^{0,73}$$

Висновок. За даними експериментальних досліджень, при використанні методу аналізу розмірності та теореми Федермана-Бекінгема було побудовано критеріальні рівняння процесу масообміну та теплообміну при конвективно-терморадіаційному сушінні культивованих грибів, що визначаються критеріями Пекле, Ренольдса, Прандля, Бурдо, функцією, яка характеризує продуктивність досліджуваного процесу; та дозволяє сформулювати рекомендований ряд параметрів робочого режиму. Показники степеня визначались дослідним шляхом, для чого будувался графік залежності у логарифмічній системі координат.

Література

1. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1982. – 655 с.
2. Дубковецкий І.В., Малежик І.Ф., Бурлака Т.В. / Визначення основних тепломасообмінних параметрів сушіння культивованих грибів при різних способах енергопідведення // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: 2016. – Вип. 1. – Том. 80. – С. 53-58.
3. Дубковецкий І.В., Малежик І.Ф., Бурлака Т.В. / Вплив швидкості теплоносія на основні тепломасообмінні параметри конвективно-терморадіаційного сушіння культивованих грибів // Наукові праці НУХТ. – 2016. – Том 22. – №4. – С.141-148.
4. Бурлака Т. В., Дубковецкий И.В., Малежик И. Ф., Жукова Я.Ф. / Исследование биологически активных веществ при сушке культивированных грибов вешенки / Научни трудове Хранителни технологии. – Пловдив: 2015. – Том LXII. – С. 331-336

УДК 664.061.4:084

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПІРЧАСТОЇ МОДЕЛІ ІЗ ЗВОРОТНИМИ ПОТОКАМИ В ВІБРОЕКСТРАКТОРАХ МИСЮРА Т.Г., канд. техн. наук, доцент, ЗАВ'ЯЛОВ В.Л. докт. техн. наук, проф., ЛОБОК О.П., канд. фіз.мат. наук, доцент, ПОПОВА Н.В., ЗАПОРОЖЕЦЬ Ю.В. канд-ти техн. наук, доценти

Національний університет харчових технологій, м. Київ

IDENTIFICATION OF THE COMPLETE MODEL PARAMETERS WITH REFRACTIVE FLOWS IN VIABROETRACTORS Mysurya T.G., Cand. Tech. Sciences, associate professor, ZAV'YALOV VL Doc. Tech. Sciences, prof., LOBOK O.P., Cand. Physical weight Sciences, associate professor, POPOVA NV, ZAPORozHETS Yu.V. Kanti tech Sciences, associate professors National University of Food Technologies, Kyiv

Анотація: Ефективна робота віброекстракційної апаратури передбачає оптимізацію співвідношення між мікро-і макромасштабними параметрами дії турбулентних пульсуючих струменів, що можливо здійснити лише при більш глибокому аналізі їх природи на стадії генерування віброперемішувальними пристроями і розповсюдження в робочому об'ємі апарата. Разом з тим, відомі методи розрахунку гідродинамічних, теплових і масообмінних характеристик традиційних екстракторів є непридатними у практичному використанні для віброекстракторів.

В представлених матеріалах зосереджено увагу на математичному описі моделі структури потоків на основі реальної комірчастої моделі із зворотними потоками за результатами випробувань пілотного віброекстрактора безперервної дії колонного типу.

Показано, що в реальних умовах ідеалізовані моделі структури потоків в апаратах з інтенсивним гідродинамічним режимом руху фаз не забезпечують належну точність опису гідродинамічної

Безбах И. В., Кепин Н. И.	
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ, ИСПОЛЗУЮЩИХСЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ	
Недбайло А. Є.	285
КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	
Тришин Ф. А., Терзиев С. Г., Орловская Ю. В.	289

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОНВЕКТИВНО – ТЕРМОРАДІАЦІЙНОГО СУШІННЯ	
Малежик І. Ф., Бурлака Т. В., Дубковецький І. В., Деканський В. Є.	296
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМІРЧАСТОЇ МОДЕЛІ ІЗ ЗВОРОТНИМИ ПОТОКАМИ В ВІБРОЕКСТРАКТОРАХ	
Мистюра Т. Г., Зав'ялов В. Л., Лобок О. П., Попова Н. В., Запорожець Ю. В.	302
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІННОВАЦІЙНИХ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ПОЛІМЕРІВ	
Бухкало С. І.	309
ДОСВІД РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНО - ІНТЕГРОВАНОГО СТЕНДУ ДЛЯ СУПРОВОДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ МІКРОХВИЛЬОВОГО-ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ	
Яровий І. І.	313
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВОГО КЛАСТЕРА В ПРОЦЕССАХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ	
Иваницкий Г. К.	319
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭКСТРАКТА СТЕВИИ В МИКРОВОЛНОВОМ ВАУУМ-ВЫПАРНОМ АППАРАТЕ	
Бурдо О. Г., Ружицкая Н. В., Резниченко Т. А., Резниченко Д. Н.	322
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ РОЗПЛАВУ КОМПОЗИЦІЇ ПОЛІЕТИЛЕН – КАУЧУК	
Гоцький Я. Г., Двойнос Я. Г.	327
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	
Бурдо О. Г., Давар Ростами Пур	335
ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ ТА ПІКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОТИ	
Остапенко О. П.	331
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ТОРФА И БИОМАССЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВ	
Снежкин Ю. Ф., Коринчук Д. Н.	337
ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ВЫМОРАЖИВАНИЯ БЛОКА ЛЬДА	
Тришин Ф. А., Трач А. Р.	343
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	
Бурдо О. Г., Давар Ростами Пур, Масельская Я. А.	347
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИКРОВОЛНОВОЙ ЛЕНТОЧНОЙ СУШИЛКИ	
Бурдо О. Г., Маренченко Е. И., Пилипенко Е. А., Балагура В. В.	355
АНАЛІЗ ОПОРІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ РЕЧОВИНИ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ ПРИ НАНОФІЛЬРАЦІЇ ТА ЗВОРОТНОМУ ОСМОСІ	
Гулієнко С. В.	364
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОТИТЕЧІЙНОГО ЕКСТРАКТОРА З ПІДВОДОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ	
Левтринська Ю. О., Зиков А. В., Терзів С. Г.	367
К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ КАПЕЛЬ ХЛАДАГЕНТА В ФИЛЬТРЕ ЭЖЕКТОРЕ	
Когут В. Е., Бушманов В., Хмельнюк М. Г.	374