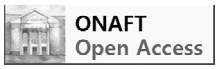
МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

УДК 664.061.4:084

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ГІДРОДИНАМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОТОКІВ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ ВІБРОЕКСТРАГУВАННІ НА ОСНОВІ КОМІРКОВОЇ МОДЕЛІ ІЗ ЗАСТІЙНИМИ ЗОНАМИ
MATHEMATICAL DESCRIPTION OF FLOWS HYDRODYNAMICAL STRUCTURE AT CONTINUOUS VIBROECSTRACTION BASED ON NETWORK WITH DEAD ZONEZ

Мисюра Т.Г., канд. техн. наук, доцент, Зав'ялов В.Л., докт. техн. наук, проф.,
Лобок О.П., канд. фіз.мат. наук, доцент, Бодров В.С., канд. техн. наук, професор,
Попова Н.В., Запорожець Ю.В., канд-ти техн. наук, доценти
Національний університет харчових технологій, м. Київ
Mysiura T.H., Zav'ialov V.L., Lobok O.P., Bodrov V.S., Popova N.V., Zaporozhets Iu.V.
National Uiversity of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



В процесі роботи колонних віброекстракторів безперервної дії під впливом низькочастотних механічних коливань транспортувально-сепарувальних пристроїв (тарілок) в робочому об'ємі апарата утворюється основний двофазовий потік, який можна умовно розбити на ряд послідовно з'єднаних комірок. В таких умовних комірках окрім основного потоку утворюються застійні зони, де затримується частина середовища, зворотні потоки та байпаси (коли частина потоку минає об'єм комірки і відразу попадає на вихід із неї). При такому виникає необхідність визначення характеристик названих гідродинамічних структур, з метою зменшення або повної ліквідації їх негативного впливу на гідродинаміку процесу вцілому – способом вибору їх оптимальних співвідношень щодо результуючих ефектів.

Виходячи з аналізу експериментальних та теоретичних досліджень для складання математичного опису гідродинамічної структури двофазового потоку в колонному віброекстракторі за основу нами прийнято відомий опис структури коміркові моделі – з послідовними "додаванням – ускладненням" її математичними описами "аномальних" структур застійних зон способом складанням та вирішенням відповідних рівнянь матеріальних балансів для екстрагенту та твердої фази та для умов протис-прямованого руху тарілок відповідно, вверх і вниз.

Представлені аналітичні дослідження структури гідродинамічних робочих потоків в умовах твердофазового безперервного віброекстрагування з урахуванням щільності зовнішніх джерел накопичення цільового компонента на основі коміркової моделі із застійними зонами. Аналітичні результати можуть бути використані на стадії проектування, конструювання віброекстракційної апаратури та при розв'язанні оптимізаційних задач.

The main two-phase flow, which can be divided into a number of series-connected cells, is formed in the process of operation of a columnar vibration extractor under the continuous exposure to low frequency mechanical vibrations of transport and separation units (plates) in the working volume of the device. Stagnant zones are formed in such conventional cells, where the part of the medium, backflows and bypasses (when the volume of the flow passes the cell and immediately gets on the way out of it) are held. Therefore, it is necessary to determine the characteristics of these hydrodynamic structures in order to reduce or eliminate their negative impact on the hydrodynamics of the process as a whole. This can be done by selecting the best ratio as to their resulting effects.

After the analysis of experimental and theoretical data on mathematical description of hydrodynamic structure of two-phased flow in columnar vibration extractor, we chose the description of the structure of a cell model, that is, with successive "addition – complication", its mathematical descriptions of "abnormal" structures of stagnant zones means of generating and solving the equations of material balances for an extractant and solid phase and for the conditions of the opposing motion of plates up and down.

Presented analytical studies of the structure of hydrodynamic workflows in terms of solid phase extraction continuous vibration considering external sources of accumulation density target component-based model of the collar stagnant zones. Analytical results can be used at the design stage, construction of vibration equipment and extraction in

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

solving optimization problems.

Ключові слова: математична модель, структура потоків, застійна зона, коміркова модель, віброекстрагування, розподілення речовини.

Keywords: mathematical model, flow structure, congestive zone cellular model, vibration extraction, distribution of matter.

Розроблення нової високоефективної екстракційної апаратури на основі використання низькочастотних механічних коливань в певній мірі віддзеркалює один із основних актуальних напрямів удосконалення виробничої бази переробних галузей промисловості. Поряд із загальними закономірностями, що характеризують інтенсивність масообміну в екстракційній апаратурі, суттєву роль відіграє конструктивне оформлення процесу, яке формує певні гідродинамічні особливості його проведення. Тому, для встановлення, обґрунтованого в заданих технологічних межах зв'язку між конструктивними та технологічними параметрами процесу, ефективним методом є застосування аналітичної теорії структури потоку, що визначає хід технологічного процесу в апараті в цілому [1,2].

Для опису гідродинаміки найбільш поширеними моделями структури потоків апаратів є моделі ідеального витіснення та ідеального перемішування. Однак, в реальних умовах потоки фаз ніколи не відповідають повністю ідеалізованому стану, — задача полягає у встановленні реалій гідродинаміки потоків, особливо в апаратах з розвинутою турбулізацією фаз. Основна складність полягає в описі закономірностей структури потоку, створених поширенням нестаціонарних знакозмінних струменів - імпульсів, генерованих вібруючими перегородками (тарілками) зі струминними елементами. Так, у порожнинах струменевих елементів та в окремих зонах міжтарілочного простору відбуваються складні гідродинамічні явища, що роблять істотний вплив на вихідні характеристики апарата. Зрозуміло, точний облік всіх реальних явищ, супутніх функціонуванню струминного вібропереремішувального пристрою, представляє практично нездійсненне завдання. Однак, на підставі експериментальних та аналітичних досліджень можна дати ряд рекомендацій щодо вибору геометричних параметрів елементів тарілок, достатніх для практичного використання.

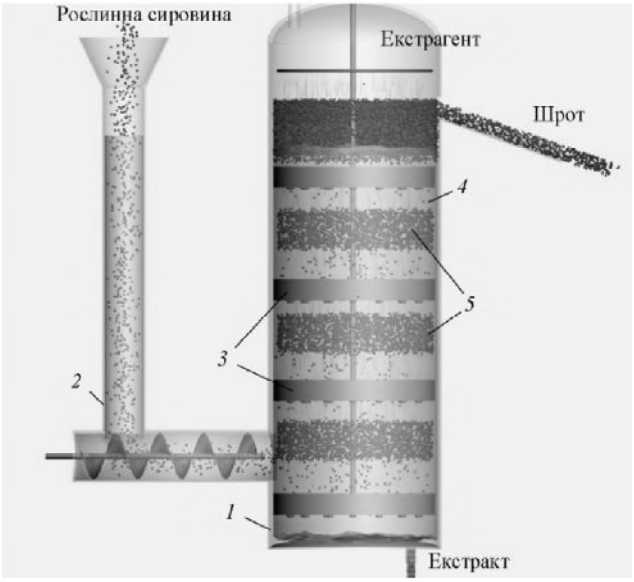


Рис. 1 − Схема утворення рухомих шарів твердої фази у міжтарілковому просторі робочої зони апарата під час протитечійного розділення фаз у віброекстракторі безперервної дії: 1 — корпус; 2 — завантажувальний пристрій; 3 — вібротранспортувальна тарілка; 4 — зона псевдозрідження; 5 — рухомий шар твердої фази

Аналітичний опис структури потоків розлядався для конструкції пілотного віброекстрактора безперервної дії, показаного на рис. 1. В основі транспортувальної здатності віброекстрактора лежать механізми розділення фаз поперечними вібруючими перегородками, які секціонують віброекстрактор, залишаючи можливість з різним гідравлічним опором проникнення твердої фази через їх живий переріз. Ці ефекти доповнюються механізмами фіксації (накопичення) виділеної твердої фази на поверхні тарілок та в міжтарілочному просторі та її подальшого перенесення в зону дії наступної тарілки [3,4,5].

У реальних умовах частка надлишку осаду, зафіксованого на тарілці та у міжтарілочному просторі може гіпотетично розглядатись як така, що протягом певного проміжку часу знаходиться у застійній зоні. Тобто, встановлені в отворах живого перерізу перегородки насадки з різним гідравлічним опором у протилежних напрямках руху створюють різну рушійну силу фільтрування і, як результат, — більше нагромадження осаду твердої фази на одному з боків фільтрувального елемента перегородки, що призводить до транспортування твердої фази по висоті апарата.

Утворений шар твердої фази у міжтарілочному просторі переміщується завдяки постійному намиванню нових шарів на периферії зон локалізації пульсуючих струменів (рис.1). Такі шари стають елементами «природнього» секціонування робочої зони апарата (зони витіснення), що у свою чергу суттєво знижує загальне поздовжнє перемішування в апараті.

Так, пульсуючі струмені формують псевдозріджений стан системи в зонах коливання тарілки в залежності від параметрів коливань: дальність розповсюдження струменів — формує структуру гідродинамічних потоків (рівень поздовжнього перемішування), ступінь їх турбулізації в зоні кожної тарілки, створює різні умови взає-

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

модії фаз - молекулярну, конвективну і турбулентну дифузії.

На першому етапі аналітичних досліджень попередньо була прийнята коміркова модель аппарата із застійними зонами. При цьому, оцінка структури потоку передбачає такі припущення: концентрація трасера постійна в даному перетині і її зміна є безперервною функцією координати відстані; коефіцієнт поздовжнього перемішування і об'ємна швидкість потоку не змінюються по довжині й перетину каналу.

Під час роботи апарата загальний робочий потік умовно поділено на ряд послідовно з'єднаних комірок. Припустимо, що в цих умовних комірках утворюються застійні зони, в яких затримується частина середовища, зворотні потоки та байпаси (коли частина потоку минає об'єм комірки і відразу попадає на вихід із неї). При такому виникає необхідність визначення характеристик названих гідродинамічних структур, з метою їх зменшення або повної ліквідації, способом вибору оптимальних значень характеристик, які впливають на гідродинаміку процесу.

Розміри застійних зон, зворотних та байпасних потоків визначаються складанням та вирішенням відповідних рівнянь матеріальних балансів для екстрагенту та твердої фази.

В загальному випадку основні рівняння коміркової моделі з застійними зонами (для і-тої комірки) за рідкою фазою (рис. 2) мають вигляд:

$$\begin{cases} V_{1,i} \cdot \dfrac{dC_{l,1,i}}{d\tau} = Q_l \cdot C_{l,1,i-1} - Q_l \cdot C_{l,1,i} + \tilde{Q}_l \cdot C_{l,2,i} - \tilde{Q}_l \cdot C_{l,1,i} \\ V_{2,i} \cdot \dfrac{dC_{l,2,i}}{d\tau} = \tilde{Q}_l \cdot C_{l,1,i} - \tilde{Q}_l \cdot C_{l,2,i} \end{cases}, \tag{1}$$

де $0 \le \tau \le T$ — поточний час перебування індикатора рідкої фази в комірці, с; $V_{1,i}$, $V_{2,i}$ — об'єм, відповідно, проточної і застійної зони i-тої комірки, м^3; $C_{l,1,i}$, $C_{l,2,i}$ — концентрація індикатора, відповідно, в проточній і застійній зоні i-тої комірки, кг/м^3; $\tilde{Q}_l$ — об'ємна швидкість потоку в напрямку застійної зони і назад, м^3/с.

$$\tilde{Q}_l = \beta_{l,i} \cdot Q_l \tag{2}$$

де $0 \le \beta_{l,i} \le 1$ — частка об'ємних витрат основного потоку, якою обмінюються проточна та застійні зони робочого об'єму апарата.

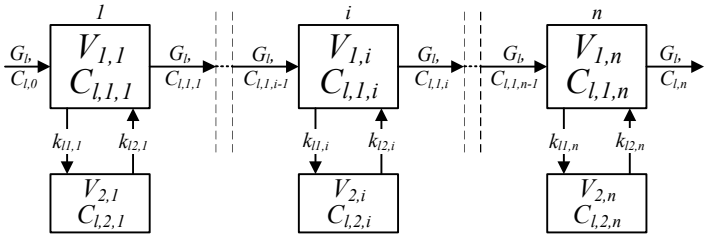


Рис.2 − Параметрична схема до розрахунку коміркової моделі із застійними зонами за рідкою фазою

Об'єм апарата: $$V = \sum_{i=1}^{n} V_i \ , \ V_i = V_{1,i} + V_{2,i} \, . \tag{3}$$

Час перебування частинок в апараті

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i}{Q_l} = \frac{V}{Q_l} \, , \ 0 \le \tau \le T \ , \ 0 \le \frac{\tau}{\theta} \le 1; \ \frac{\tau}{T} = \theta; \ 0 \le \theta \le 1 \, , \tag{4}$$

де τ — поточний час процесу, с; θ — безрозмірнісна величина часу.

Для обезрозмірювання системи (1) розділимо її на $V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}$ і помножимо на T :

$$\begin{cases} \dfrac{V_{1,i} \cdot T}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot \dfrac{dC_{l,1,i}}{d\tau} = \dfrac{T \cdot Q_l}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,1,i-1} - \dfrac{T \cdot Q_l}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,1,i} + \\ + \dfrac{T \cdot \tilde{Q}_l}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,2,i} - \dfrac{T \cdot \tilde{Q}_l}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,1,i}; \\ \dfrac{V_{2,i} \cdot T}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot \dfrac{dC_{l,2,i}}{d\tau} = \dfrac{T \cdot \tilde{Q}_l}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,1,i} - \dfrac{T \cdot \tilde{Q}_l}{V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,2,i} \, , \end{cases} \tag{5}$$

де $V_{\text{інд.}}$ — кількість імпульсно введеного індикатора, кг; $\overline{V}_{\text{інд.}}$ — кількість ступінчасто введеного індикатора, кг.

Зробимо заміну $$x_{1,i}=\frac{V_{1,i}}{V_{\text{інд.}}+\overline{V}_{\text{інд.}}}\cdot C_{l,1,i},\ x_{2,i}=\frac{V_{2,i}}{V_{\text{інд.}}+\overline{V}_{\text{інд.}}}\cdot C_{l,2,i}. \tag{6}$$

Після підстановки (6) в (5), отримуємо:

$$\frac{dx_{1,i}}{d\theta}=\frac{V}{V_{1,i}}\cdot x_{1,i-1}-\frac{V}{V_{1,i}}\cdot x_{1,i}+\beta_{l,i}\cdot\frac{V}{V_{2,i}}\cdot x_{2,i}-\beta_{l,i}\cdot\frac{V}{V_{1,i}}\cdot x_{1,i}. \tag{7}$$

Для другого рівняння: $$\frac{dx_{2,i}}{d\theta}=\beta_{l,i}\cdot\frac{V}{V_{1,i}}\cdot x_{1,i}-\beta_{l,i}\cdot\frac{V}{V_{2,i}}\cdot x_{2,i}. \tag{8}$$

Зробивши заміну $\mu_i=\frac{V_i}{V}$, $V_{1,i}=\alpha_i\cdot V_i$, $V_{2,i}=(1-\alpha_i)\cdot V_i$, $0<\alpha_i\le 1$

отримуємо:
$$\begin{cases}\dfrac{dx_{1,i}}{d\theta}=\dfrac{1}{\alpha_i\cdot\mu_i}\cdot x_{1,i-1}-\dfrac{1+\beta_{l,i}}{\alpha_i\cdot\mu_i}\cdot x_{1,i}+\dfrac{\beta_{l,i}}{\alpha_i\cdot\mu_i}\cdot x_{2,i}\\ \dfrac{dx_{2,i}}{d\theta}=\dfrac{\beta_{l,i}}{\mu_i\cdot(1-\alpha_i)}\cdot x_{1,i}-\dfrac{\beta_{l,i}}{\mu_i\cdot(1-\alpha_i)}\cdot x_{2,i}\end{cases} \tag{9}$$

Обезрозмірюємо початкові умови $x_{1,1}(0)=\frac{1}{\alpha_i}$, $x_{1,i}(0)=0$, $x_{2,i}(0)=0$, $i=2,\dots,n$. (10)

Позначимо $p_i=\frac{1}{\alpha_i\cdot\mu_i}$, $a_i=-\frac{1+\beta_{l,i}}{\alpha_i\cdot\mu_i}$, $b_i=\frac{\beta_{l,i}}{\alpha_i\cdot\mu_i}$, $c_i=\frac{\beta_{l,i}}{\mu_i\cdot(1-\alpha_i)}$, $d_i=-\frac{\beta_{l,i}}{\mu_i\cdot(1-\alpha_i)}$. (11)

Тоді система (9) набуває вигляду:

$$\begin{cases}\dfrac{dx_{1,i}}{d\theta}=P_i\cdot x_{1,i-1}+a_i\cdot x_{1,i}+b_i\cdot x_{2,i};\\ \dfrac{dx_{2,i}}{d\theta}=c_i\cdot x_{1,i}+d_i\cdot x_{2,i}.\end{cases} \tag{12}$$

Представивши рівняння (12) у векторній формі, матимемо:

$$A=\left[\begin{array}{cc|cc|c|c|c}
a_1 & b_1 & p_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0\\
c_1 & d_1 & 0 & 0 & & & & \\
\hline
0 & & a_2 & b_2 & p_2 & 0 & \dots & 0\\
 & & c_2 & d_2 & 0 & 0 & & \\
\hline
0 & 0 & & & a_3 & b_3 & \dots & 0\\
 & & & & c_3 & d_3 & & \\
\hline
0 & 0 & 0 & & & & \dots & 0\\
 & & & & a_4 & b_4 & & \\
 & & & & c_4 & d_4 & & \\
\hline
\dots & \dots & \dots & & \dots & & \dots & p_{n-1} \quad 0\\
 & & & & & & & 0 \quad 0\\
\hline
0 & 0 & 0 & & 0 & & \dots & a_n \quad b_n\\
 & & & & & & & c_n \quad d_n
\end{array}\right],\qquad z=\begin{bmatrix}z_{11}\\ z_{21}\\ z_{12}\\ z_{22}\\ z_{13}\\ z_{23}\\ z_{14}\\ z_{24}\\ \dots\\ z_{1n}\\ z_{2n}\end{bmatrix}. \tag{13}$$

Таким чином, маємо $$\begin{cases}\dfrac{dz}{d\theta}=A\cdot z+f;\\ z(0)=z^0.\end{cases} \tag{14}$$

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

$$z^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \text{--------} \\ \dots \\ \text{--------} \\ \dfrac{V_{\text{інд.}}}{\alpha_n \cdot \left(V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}\right)} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \text{--------} \\ \dots \\ \text{--------} \\ \dfrac{\overline{V}_{\text{інд.}}}{\left(V_{\text{інд.}} + \overline{V}_{\text{інд.}}\right) \cdot \mu_n \cdot \alpha_n^2} \\ 0 \end{bmatrix}. \tag{15}$$

Якщо, $Q_{l,i} = \begin{vmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{vmatrix}$, $P_{l,i} = \begin{vmatrix} p_{l,i} & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$, то матриця A (13) перетворюється в наступний вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} Q_{l,1} & P_{l,1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_{l,2} & P_{l,2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & Q_{l,3} & P_{l,3} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{l,n} \end{bmatrix}. \tag{16}$$

В загальному випадку основні рівняння коміркової моделі з застійними зонами (для *i*-тої комірки) за твердою фазою (рис. 3) мають вигляд:

$$\begin{cases} V_{1,i} \cdot \dfrac{dC_{c,1,i}}{d\tau} = Q_c \cdot C_{c,1,i+1} - Q_c \cdot C_{c,1,i} + \tilde{Q}_{c,i} \cdot C_{c,2,i} - \tilde{Q}_{c,i} \cdot C_{c,1,i}; \\ V_{2,i} \cdot \dfrac{dC_{c,2,i}}{d\tau} = \tilde{Q}_{c,i} \cdot C_{c,1,i} - \tilde{Q}_{c,i} \cdot C_{c,2,i}, \end{cases} \tag{17}$$

де $0 \le \tau \le T$ — поточний час перебування трасера твердої фази в комірці, с; $V_{1,i}$, $V_{2,i}$ — об'єм, відповідно, проточної і застійної зони *i*-тої комірки, м^3; $C_{c,1,i}$, $C_{c,2,i}$ — концентрація трасера, відповідно, в проточній і застійній зоні *i*-тої комірки, кг/м^3; $\tilde{Q}_c$ — об'ємна швидкість потоку в напрямку застійної зони і назад, м^3/с.

$$\tilde{Q}_{c,i} = \beta_{c,i} \cdot Q_c; \tag{18}$$

де $0 \le \beta_{l,i} \le 1$ — частка об'ємних витрат основного потоку, якою обмінюються проточна та застійні зони робочого об'єму апарата.

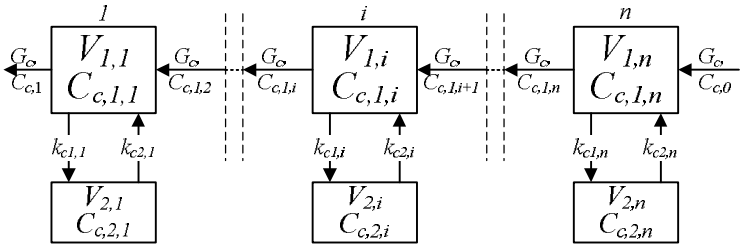


Рис. 3 − Параметрична схема до розрахунку коміркової моделі із застійними зонами за твердою фазою

Аналогічно, використовуючи викладену вище методику, отримаємо кінцеву матрицю до розрахунку моделі із застійними зонами за твердою фазою

$$A = \begin{bmatrix} Q_{c,1} & P_{c,1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_{c,2} & P_{c,2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & Q_{c,3} & P_{c,3} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{c,n} \end{bmatrix}. \tag{19}$$

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

Для ідентифікації та оптимізації отриманих значень параметрів математичних моделей (16) та (19) була розроблена програма розрахунку в пакеті MATLAB (рис. 5). Також для спрощеного введення початкових параметрів та для наочного зображення результатів розрахунків було створено віртуальний тренажер, головне вікно якого зображене на рис. 5, а вікно налаштувань − на рис. 6.

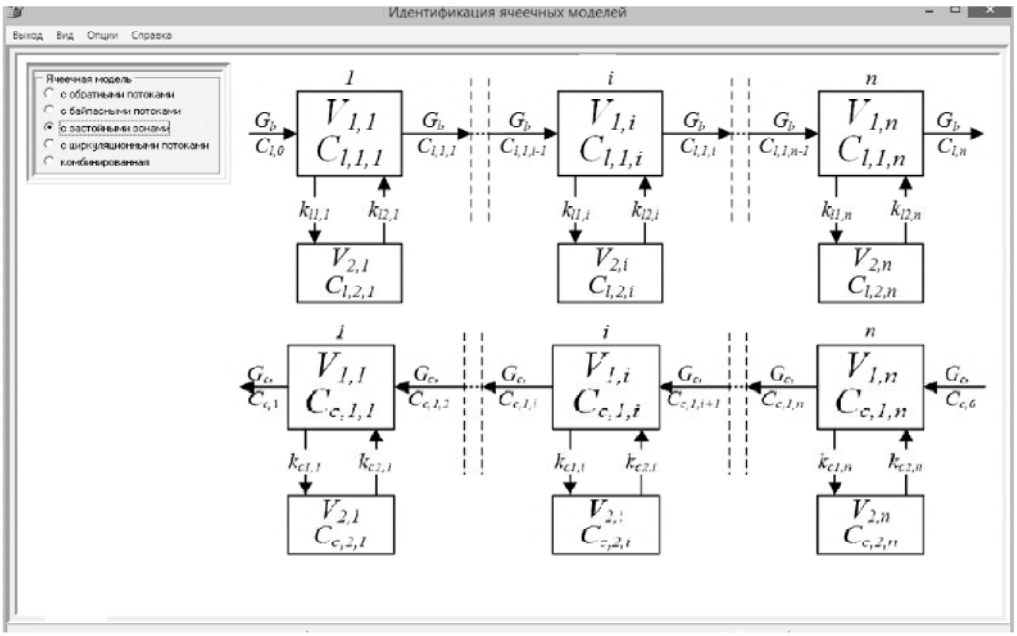


Рис. 5 − Загальний вигляд головного вікна віртуального тренажера

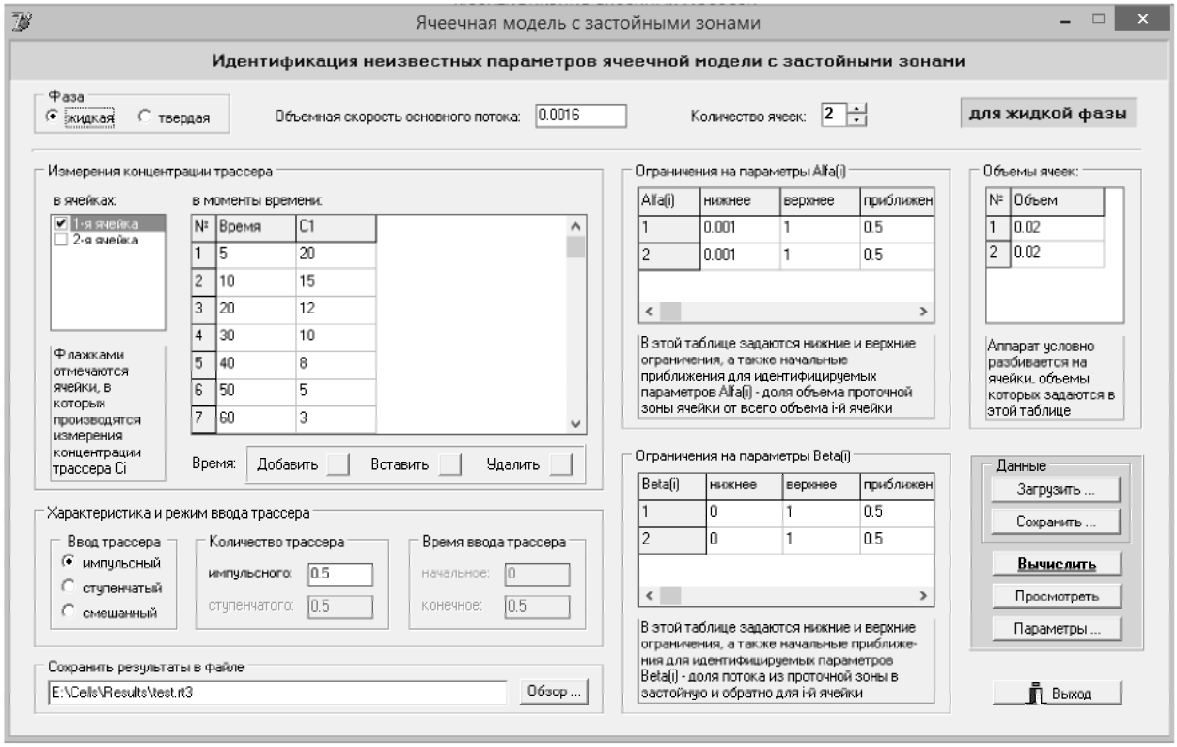


Рис. 6 − Вікно налаштувань та введення вхідних даних віртуального тренажера

Створена за відповідним алгоритмом програма розрахунків реалізована за допомогою пакета MatLAB і дозволяє визначити розподіл концентрацій екстрактивної речовини за проточними і застійними зонами окремо по кожній фазі в часі, а також у кожній комірці. На рис. 7, 8 і 9 як приклад зображено результати даної програми.

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

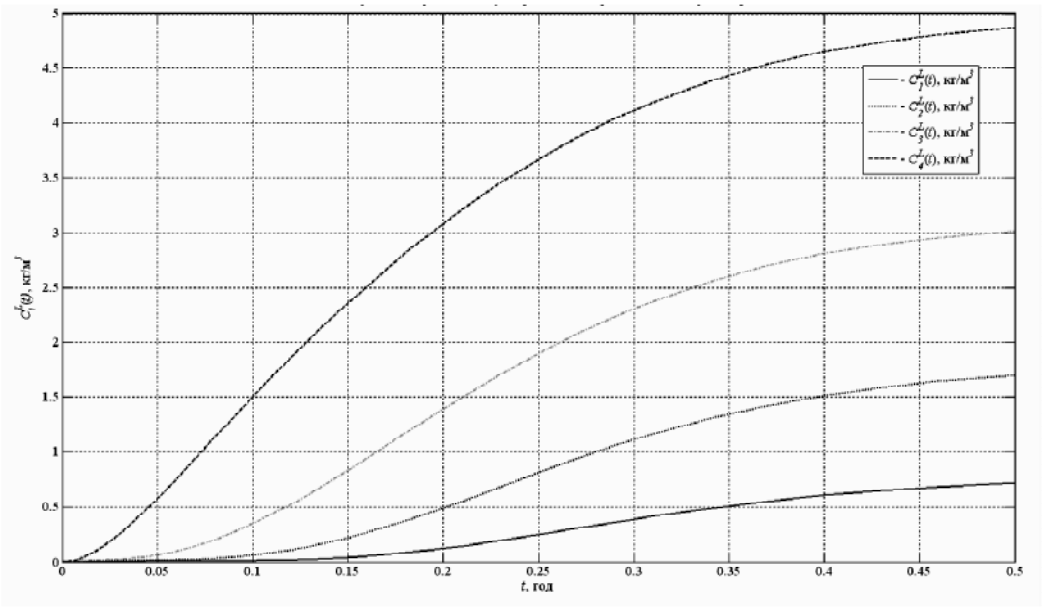


Рис. 3 − Вміст екстрактивних речовин в проточних зонах рідкої фази

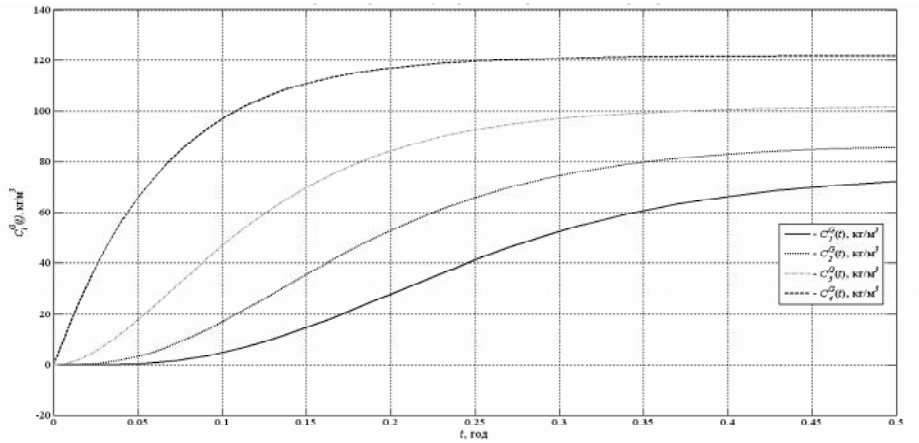


Рис. 4 − Вміст екстрактивних речовин в проточних зонах твердої фази

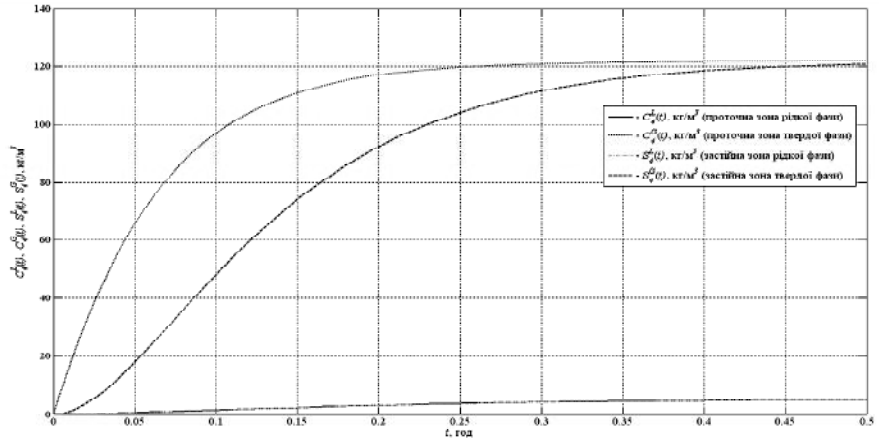


Рис. 5 − Вміст екстрактивних речовин в *n*-ій комірці

Висновки. В результаті аналітичних досліджень структури гідродинамічних робочих потоків в умовах твердофазного неперервного віброекстрагування з урахуванням щільності зовнішніх джерел накопичення цільового компонента на основі коміркової моделі із застійними зонами, отримано відповідні математичні моделі, які

можуть бути використані на стадії проектування, конструювання віброекстракційної апаратури колонного типу та при розв'язанні оптимізаційних задач.

Література

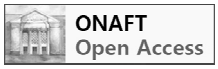
1. Городецкий И.Я. Вибрационные массообменные аппараты / И.Я. Городецкий, А.А. Васин, В.М. Олевский, П.А. Лупанов / под ред. В.М. Олевского, — М.: Химия, 1980. — 192 с.
2. Vladimir Zavialov. Development of mathematical models of external mass exchange under conditions of vibroextraction from vegetable raw materials. / Vladimir Zavialov, Viktor Bodrov, Taras Misyura, Nataliya Popova, Yuliya Zaporozhets Vadim Dekanskiy — Chemistry & Chemical Technology, 2015, 9(3), 367-374.
3. Пат. винах. 86485 Україна, МІЖ[6] B 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В.Л., Запорожець Ю.В., Бодров В.С.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. — № a200707563; заявл. 05.07.07; опубл. 27.04.09, Бюл. №8.
4. Зав'ялов В.Л. Математичне моделювання структури потоків в віброекстракторах безперервної дії колонного типу з вібруючою системою розділення фаз / Зав'ялов В.Л., Лобок О.П., Мисюра Т.Г., Запорожець Ю.В., Попова Н.В., Бодров В.С. — Одеса: Наукові праці ОНАХТ. — № 43. Том 2., 2013. — с. 26-29.
5. Зав'ялов В.Л. Закономірності дії пульсуючих потоків в умовах протитечійного розділення фаз при віброекстрагуванні із рослинної сировини. / Зав'ялов В.Л., Мисюра Т.Г., Бодров В.С., Запорожець Ю.В., Попова Н.В., Деканський В.С. — Будапешт: Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences — III (5), Issue:41. — 2015. — С. 95—99.

УДК 641.5

СИСТЕМНО-ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО ЖАРЕННЯ БІФШТЕКСІВ
SYSTEM-DYNAMIC PROCESS MODELING OF INFRARED STEAKS FRYING

Потапов В.О., д-р техн. наук, професор, Костенко С.М.
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків
Potapov V.O., Kostenko S.M.
Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



У роботі проведено імітаційне моделювання процесу інфрачервоного жарення біфштексів за використання програмного комплексу Vensim, що реалізує системно-динамічну технологію потокового типу. Використання системно-динамічного моделювання уможливлює повну та якісну оцінку впливу таких факторів, як коефіцієнт відбивача, потужність апарату, ціна електроенергії, на характер та значення вихідної функції, тобто реалізацію біфштексу, а також вартість витраченої електроенергії. В імітаційній моделі досліджувався вплив наявності відбивача променевого потоку в апараті інфрачервоного жарення на вихід продукту та витрати електроенергії. Профіль рефлектора забезпечує рівномірне опромінення приймача опуклого перерізу, тобто біфштексу. Використання в апараті відбивача променевого потоку призводить до збільшення виходу продукту на 20 %, скорочення терміну жарення на 40 %, скорочення вартості електроенергії на 35 %. Використання спрофільованих відбивачів, які забезпечують рівномірне опромінювання опуклого теплоприймача, покращує органолептичні властивості продукції та підвищує енергоефективність інфрачервоного обладнання харчових виробництв. Експериментування з імітаційними моделями процесів теплової обробки надає системне підґрунтя для інтенсифікації та оптимізації процесів та обладнання харчових виробництв.

Simulation process modeling of infrared steaks frying using the software package Vensim, that implements the system-dynamic technology of streaming type, is carried out in the work. The use of system-dynamic modeling makes it possible to complete and qualitative assessment of the impact of factors such as reflector coefficient, power unit, electricity price, to the nature and value of the output function, i.e. the realization of steak, and the cost of electricity con-