

УДК 631.362:665.335.5

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ РИЦИНОВОЇ ОЛІЇ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

Журавель Д. П.<sup>1</sup>, д.т.н.,Дідур В. В.<sup>2</sup>, д.т.н.<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного, м. Запоріжжя.<sup>2</sup>Уманський національний аграрний університет, м. Умань.

**Постановка проблеми.** Для очищення рицинової олії від фосфатидів попередньо здійснюють їх гідратацію при концентрації води 1,5 ... 2 %. Видалення гідратованих фосфатидів пов'язане з певними особливостями: велика в'язкість рицинової олії та її спроможність утримувати гідратовані фосфатиди в майже колоїдному стані. Крім того після очищення олія потребує видалення остатків води [1-3].

Технологія електричного очищення олії полягає в наступному. Після проведення гідратації емульсія підігрівається до температури близько 100 °С. і надходить в ємність, в якій встановлено систему електродів у вигляді паралельних циліндрів. На електроди подається змінна висока напруга, що створює в міжелектродному просторі електричне поле. Величина напруги повинна бути якомога високою, але такою, щоб не виник електричний пробій рідини.

**Основні матеріали дослідження.** Для створення математичної моделі розглянемо в'язку рідину, яка вміщує зважені частинки. Відповідно до другого закону Ньютона рівняння руху частинки в рідині має вигляд:

$$m \frac{dv}{dt} = \vec{F}_e + \vec{F}_c + \vec{F}_g,$$

(1)

де  $m$  – маса частинки; кг; $v$  – швидкість руху частинки, м/с; $\vec{F}_e$  – сила, що діє на поляризовану незаряджену частинку в електричному полі, Н; $\vec{F}_c$  – сила опору в'язкої рідини руху частинки, Н; $\vec{F}_g$  – гравітаційна сила, Н.

Будемо вважати, що частинки мають форму кулі. Гравітаційною силою нехтуємо у зв'язку з її малою величиною у порівнянні з електричною силою.

Для визначення розрахункової формули сили опору рідини руху частинки зробимо оцінку числа Рейнольдса за формулою:

$$R = \frac{va\rho}{\eta}, \quad (2)$$

де  $R$  – число Рейнольдса;

$a$  – радіус кулі, м;

$\rho$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – динамічна в'язкість, Па·с.

При орієнтовній швидкості руху  $V=1$  мм/с, розмірі частинки  $a=50$  мкм, (рицинова олія при  $t=90$  °С) значення числа Рейнольдса становить  $\eta = 0,001$ . Таке значення числа Рейнольдса дає підставу розраховувати силу опору в'язкої рідини руху частинки, що має форму кулі за наступною формулою:

$$\vec{F}_c = 6\pi\eta(\vec{v} - \vec{v}_p)a, \quad (3)$$

де  $\vec{v}_p$  – швидкість руху рідини, м/с.

В створеному неоднорідному електричному полі на краплі вологи та гідратовані фосфатиди діє сила, що забезпечує їх рух до поверхні електродів:

$$\vec{F}_e = 4\pi \cdot \varepsilon_c \cdot a^3 \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} \left( E_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + E_y \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + E_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \right), \quad (4)$$

де  $\varepsilon_c$  – ДП середовища, Ф/м; ( $3 \cdot 10^{-11}$  Ф/м);

$\varepsilon_q$  – ДП речовини кулі, Ф/м; ( $60 \cdot 10^{-11}$  Ф/м);

$\vec{E}$  – діюче значення вектору напруженості електричного поля, В/м.

На підставі другого закону Ньютона складаємо рівняння руху кулі в рідині:

$$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} + \frac{9\eta}{2a^2\rho} \left( \frac{d\vec{r}}{dt} \right) - \frac{3}{4\pi a^3\rho} \vec{F}_e(\vec{r}) = 0, \quad (5)$$

де  $\vec{r}$  – радіус - вектор, м.

Розглянемо рух краплі вздовж лінії, що з'єднує центри електродів.

В такому випадку потенціал електричного поля між двома паралельними циліндрами описується рівнянням:

$$U(x) = U_{12} \frac{\ln\left(\frac{x-D}{x}\right)}{2 \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)}, \quad (6)$$

де  $U_{12}$  – різниця потенціалів між електродами, В.

$D$  – відстань між осями електродів, м.

$R$  – радіус електродів, м.

Напруженість електричного поля визначається формулою:

$$E(x) = -\frac{dU}{dx} = -U_{12} \frac{D}{2 \cdot (x - D) \cdot x \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)}, \quad (7)$$

Градiєнт напруженості поля:

$$\frac{dE}{dx} = U_{12} \frac{D(2x - D)}{2 \cdot (x - D)^2 \cdot x^2 \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)}. \quad (8)$$

Відповідно до формули (4) маємо:

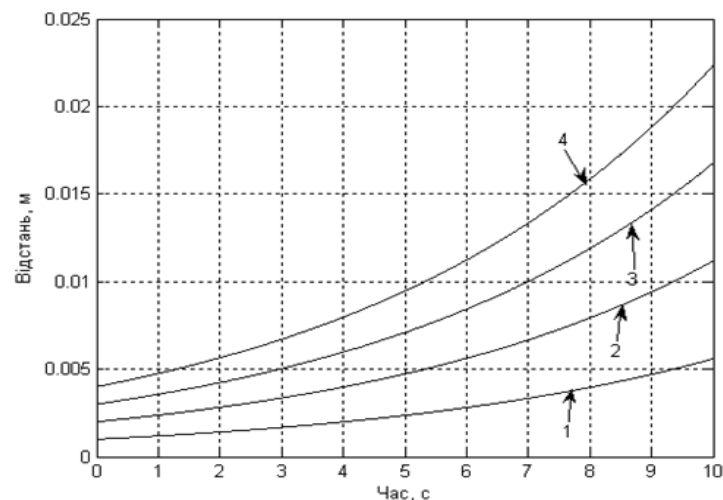
$$\vec{F}_e = 4\pi \cdot \varepsilon_c \cdot a^3 \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} \left( E_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} \right);$$

$$\vec{F}_e = -4\pi \cdot \varepsilon_c \cdot a^3 \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} U_{12}^2 \frac{D^2(2x - D)}{4 \cdot (x - D)^3 \cdot x^3 \cdot \left( \ln\left(\frac{D}{R}\right) \right)^2}. \quad (9)$$

З формул (5) та (9) отримуємо диференціальне рівняння другого порядку руху частинки в в'язкій рідині:

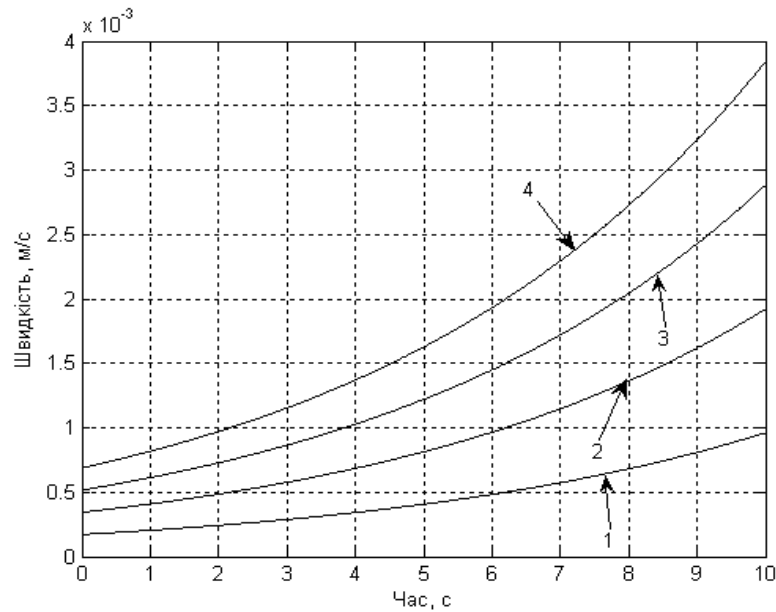
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{9\eta}{2a^2\rho} \left( \frac{dx}{dt} \right) - \frac{3}{\rho} \cdot \varepsilon_c \cdot \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} \left( \frac{D \cdot (U_1 - U_2)}{2 \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)} \right)^2 \cdot \frac{2x - D}{(x - D)^3 \cdot x^3} = 0. \quad (10)$$

Це рівняння не розв'язується аналітично, тому використано чисельне розв'язання методом Рунге-Кутта в середовищі програми MATCAD. Отримано залежності координати руху частинки від часу, та її швидкості від часу при різних початкових умовах (рис.1, рис.2). Ці залежності отримані для електродів радіусом  $R=1$  мм, при відстані між осями  $D=10$  мм, напрузі на електродах  $U_{12}=5$  кВ, для частинки діаметром  $a=50$  мкм з  $\varepsilon_q=6 \cdot 10^{-10}$  Ф/м, при в'язкості рідини  $\eta=0,05$  Па·с та  $\varepsilon_c=3 \cdot 10^{-11}$  Ф/м і початковими координатами  $x_{01}=0,1$  мм,  $x_{02}=0,2$  мм,  $x_{03}=0,3$  мм,  $x_{04}=0,4$  мм.



1 – 0,001 м; 2 – 0,002 м; 3 – 0,003 м; 4 – 0,004 м.

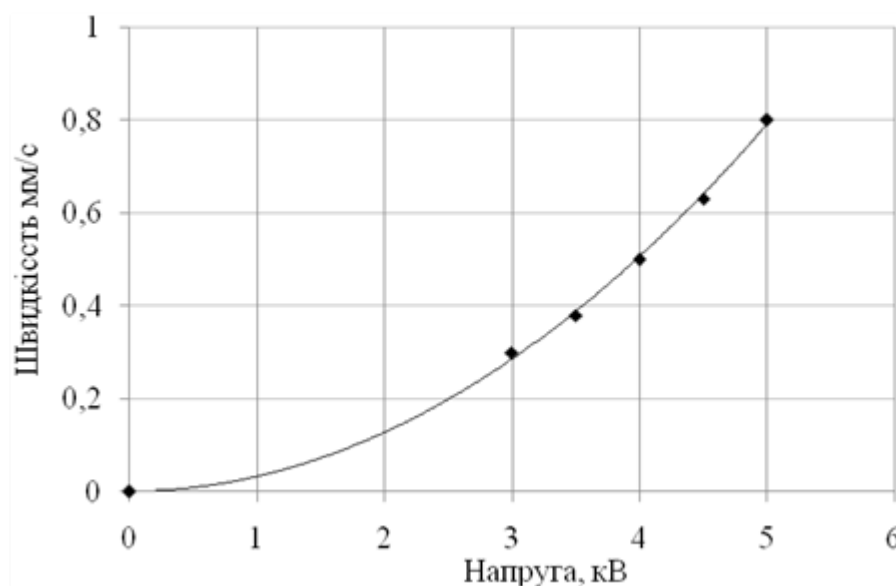
**Рис. 1. Залежність відстані від часу при початку руху з точок з координатами**



1 – 0,001 м; 2 – 0,002 м; 3 – 0,003 м; 4 – 0,004 м.

**Рис. 2. Залежність швидкості від часу при початку руху з точок з координатами**

З отриманих залежностей можна визначити швидкість частинки в момент стикання з електродом при різних початкових координатах. Аналіз залежностей (рис.1 і рис. 2) показав, що ця швидкість не залежить від початкової координати руху і для вказаних умов складає 0,8 мм/с. Аналогічні розрахунки було проведено для напруг на електродах: 3 кВ; 3,5 кВ; 4 кВ; 4,5 кВ; 5 кВ. В результаті отримані залежності швидкості осадження частинок на електроди від величини напруги (рис.3).



**Рис. 3. Залежність швидкості частинки в момент стикання з електродом від напруги**

При роботі флотаційної камери в безперервному режимі об'єм води в одиницю часу, що подається в камеру дорівнює:

$$Q_{\text{в}} = N \cdot Q_{\text{с}}, \quad (11)$$

де  $Q_{\text{с}}$  – продуктивність по воді, м<sup>3</sup>/с;

$N$  – вміст води в суміші, в.о.;

$Q_{\text{с}}$  – продуктивність по суміші, м<sup>3</sup>/с.

Об'єм води в одиницю часу, що виділяється на електродах у вигляді пари:

$$Q_{\text{в}} = \pi \cdot N \cdot v \cdot d \cdot l, \quad (12)$$

де  $v$  – швидкість зважених крапель води, м/с;

$d$  – діаметр електроду, м;

$l$  – довжина електроду, м.

З рівняння балансу води в камері:

$$N \cdot Q_{\text{с}} = \pi \cdot N \cdot v \cdot d \cdot l, \quad (13)$$

Отримуємо вираз для розрахунку загальної довжини електродів:

$$l = \frac{Q_{\text{с}}}{\pi \cdot v \cdot d}. \quad (14)$$

При роботі флотаційної камери в періодичному режимі зменшення об'єму води в одиницю часу, повинно дорівнювати об'єму води, що виділяється на електродах:

$$V \cdot \frac{dN}{dt} = \pi \cdot N \cdot v \cdot d \cdot l, \quad (15)$$

де  $V$  – об'єм камери, м<sup>3</sup>.

При розв'язанні цього диференціального рівняння отримуємо:

$$N = N_0 e^{-\frac{\pi \cdot v \cdot d \cdot l}{V} t}, \quad (16)$$

де  $N_0$  – початковий вміст води в суміші, в.о.

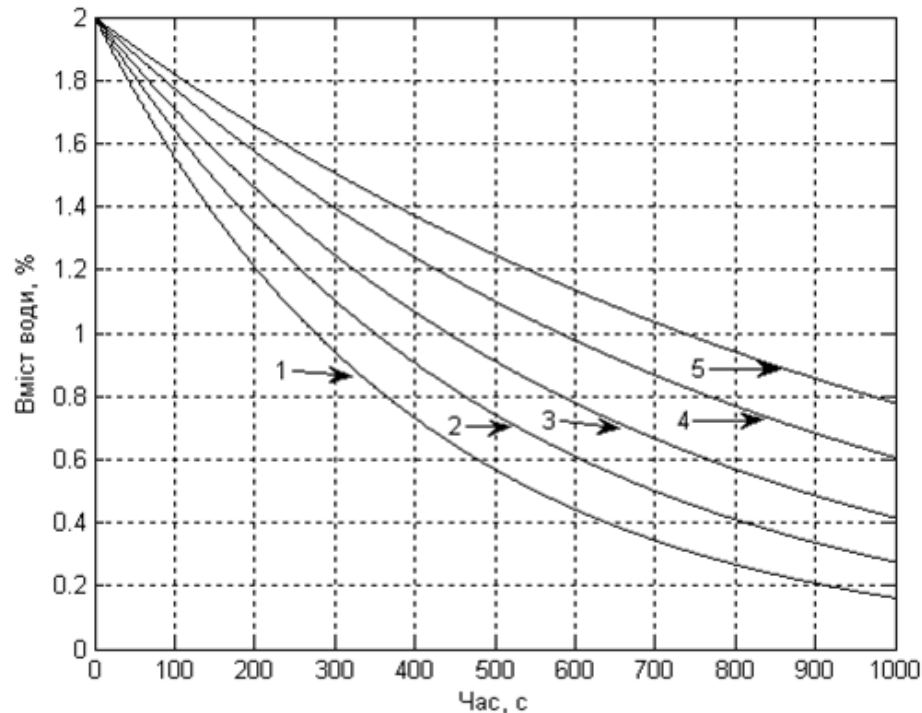
Отримане рівняння дозволяє розрахувати теоретичне значення зменшення вмісту води в олії з часом під дією електричного поля при різних умовах та порівняти результат з експериментальними даними.

Крім цього з цього рівняння можна розрахувати потрібну довжину електродів для забезпечення технологічних вимог до процесу очищення:

$$l = -\frac{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) \cdot V}{\pi \cdot v \cdot d \cdot t}. \quad (17)$$

Для перевірки математичної моделі процесу очищення рицинової

олії в електричному полі було побудовано графічні залежності вмісту води в олії від часу за формулою (16) при напругах на електродах: 3 кВ; 3,5 кВ; 4 кВ; 4,5 кВ; 5 кВ, що відповідають швидкостям осадження на електроді 0,3 мм/с, 0,38 мм/с, 0,5 мм/с, 0,63 мм/с, 0,8 мм/с. Отримані теоретичні залежності (рис.4) побудовані для об'єму рідини  $10^{-3} \text{ м}^3$ , діаметру електродів  $10^{-3} \text{ м}$ , довжини електродів 1 м та початкового вмісту води 2 %.



1 – 5 кВ; 2 – 4,5 кВ; 3 – 4 кВ; 4 – 3,5 кВ; 5 – 3 кВ.

**Рис. 4.** Теоретичні залежності вмісту води від часу при напрузі на електродах

**Висновки.** Таким чином, в результаті моделювання процесу очищення ріцинової олії в електричному полі отримали числові значення швидкості частинки в момент стикання з електродом при різних початкових координатах, встановлено, що вона не залежить від початкової координати руху і для вказаних умов складає 0,8 мм/с. Отримані також залежності швидкості осадження частинок на електроди від величини напруги та вмісту води від часу при напрузі на електродах, що дозволить в подальшому розробити алгоритм інженерного розрахунку конструкційних параметрів флотаційної камери.

#### Список використаних джерел

1. Дідур В. В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння ріцини в умовах малотоннажного підприємства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Мелітополь, 2021. 44 с.

2. Журавель Д.П. Обґрунтування технологій отримання рицинової олії. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі», Запоріжжя, 2022. С. 25-28.

3. Дідур В.В. Методика проектування технологічних комплексів для очищення рослинних олій. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2016. Вип. 16, Т. 2. С.224- 232.

УДК 664.858

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЖЕМУ З ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

Стоянова О.В., к.т.н., доц.

Зубкова К.В., к.т.н., доц.

Маковецька О.А., здобувач СВО «Магістр»

Стельмашенко І.В., здобувач СВО «Бакалавр»

*Херсонський національний технічний університет, м. Хмельницький.*

**Постановка проблеми.** Джем являє собою суміш цукрів, з м'якоттю та/або пюре одного чи кількох видів фруктів і води доведених до відповідної желеподібної консистенції [1]. Виробництво джемів в промислових масштабах здійснюється вакуумним методом, що дозволяє за короткий час довести пюре і фруктову масу до необхідної густини і знизити втрати вітамінів. У галузі переробки фруктів ця технологія дуже поширена.

В Україні виробниками запропоновано крафтове виробництво концентрованих фруктових консервів: імбирно-лимонний джем, варення апельсинове з лавандою, полунично-лимонний джем, полуниця з ревенем та м'ятою, полуниця з чорним перцем та ваніллю, полуниця з бананом, динно-грушевий конфітюр з анісом [2]. Для розширення асортименту варто звернути увагу на овочеву сировину - моркву, яка може бути повністю або частково використана для приготування джемів [3,4].

Переробним підприємствам необхідно підвищити свою конкурентоспроможність і розробити нові продукти, такі як овочеві джеми.

**Основні матеріали дослідження.** Морква (*Daucus carota* L.) є одним із найбільш ідеальних овочів завдяки її різноманітності та фітохімічному вмісту, особливо фенолів, поліацетиленів і каротиноїдних сполук.