

УДК 663.933.061- 027.332:537-962

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРУВАННЯ ЦУКРОВИХ РОЗЧИНІВ У МІКРОХВИЛЬОВОМУ ВАКУУМ-ВИПАРНОМУ АПАРАТІ

Різниченко Т.А., аспірант,\*

Ружицька Н.В., канд. техн. наук, асистент

Одеська національна академія харчових технологій

Тел. 38(067)5896654

**Анотація** – у статті для інтенсифікації процесу вакуум-випарювання запропоновано забезпечити рівномірність енергопідведення і виключити проміжний теплоносій за рахунок використання мікрохвильових технологій. Показано вплив питомого підведення енергії, тиску в апараті, площі поверхні випаровування на інтенсивність процесу концентрування харчових продуктів на прикладі розчину цукру. коефіцієнти критеріального рівняння періодичного процесу вакуум-випарювання в умовах дії мікрохвильового поля. Наведено та перевірено методику розрахунку процесу вакуум-випарювання в умовах дії мікрохвильового поля.

**Ключові слова** – мікрохвильове поле, вакуум-випарні апарати, цукрові розчини, стевія.

Концентровані і сухі екстракти смакових, ароматичних і біологічно активних речовин з дорогої рослинної сировини мають тривалі терміни зберігання, зручні для транспортування та використання як у харчових і фармацевтичних виробництвах, так і в побуті.

У процесі концентрування екстрактів випарюванням їхня теплопровідність зі збільшенням вмісту сухих речовин зменшується. За рахунок цього у більшості існуючих випарних апаратів не забезпечується рівномірне підведення енергії до продукту, що веде до його «пригоряння», тобто, термічному пошкодженню, а також знижує енергетичну ефективність процесу [1]. При мікрохвильовому підведенні енергія надходить безпосередньо до молекул води в продукті, оскільки сухі речовини, як правило, радіопрозорі. Осередки пароутворення виникають в усьому об'ємі і виконують функцію грючої поверхні. Таким чином площа поверхні теплообміну повинна збільшуватись на порядки. Реалізується схема підведення енергії, яка показала високу ефективність у технологіях сушіння [2, 3].

© Різниченко Т.А., аспірант, Ружицька Н.В., канд. техн. наук, асистент

\*Науковий керівник – д.т.н., професор Бурдо О.Г.

Метою проведених досліджень було визначення впливу параметрів процесу (кількість підведеної енергії, тиск, поверхня випаровування) на швидкість видалення вологи з продукту і використання одержаних залежностей для побудови математичної моделі процесу і розробки інженерної методики розрахунку відповідного обладнання.

При експериментальному моделюванні мікрохвильової вакуум-випарки було проведено досліди для концентрування екстрактів стевії *Stevia Rebaudiana* – природного сахарозамінника, кавового екстракту, розчинів цукру і NaCl. Експерименти проводились під тиском 0,009...0,011 МПа, температура процесу не перевищувала 50 °С.

Відмічено, що в усіх дослідах витрати конденсату протягом 10...20 хвилин сягали постійних значень, тобто, апарат виходить на стаціонарний режим.

Вивчення впливу тиску в апараті і площі поверхні випаровування проводилось за питомого енергопідведення 495 Вт/кг. Встановлено, що збільшення поверхні випаровування при постійному об'ємі продукту веде до збільшення витрат конденсату.

Одержана база експериментальних даних була використана для побудови математичної моделі процесу.

Швидкість протікання процесів випарювання в умовах мікрохвильового підведення енергії визначається складними взаємодіями багатьох факторів, врахувати які в одній універсальній для усіх випадків моделі неможливо. Класичні рівняння процесів теплоперенесення в умовах мікрохвильового енергопідведення не можуть бути застосовані, оскільки неможливо визначити поверхню теплообміну та градієнти температур. Відбувається перетворення одного виду енергії – енергії електромагнітних хвиль в інший – теплову.

Отримати структуру критеріального рівняння для розрахунку мікрохвильових вакуум-випарних апаратів періодичної дії можна методом аналізу розмірностей [4].

В загальному вигляді на продуктивність апарата за конденсатом  $v$  впливають кількість підведеної мікрохвильової енергії  $N$ , питома теплота пароутворення розчинника, який видаляється  $r$ , густина розчинника  $\rho$ , площа дзеркала продукту в апараті  $S$ , рівень продукту в апараті  $h$ , об'єм продукту  $V_{np}$ , тиск в апараті та навколишньому середовищі  $P$  та  $P_0$ . Тоді отримуємо наступну залежність у загальному вигляді:

$$v = f(N, r, \rho, S, h, V_{np}, P, P_0). \quad (1)$$

Усі параметри складаються з трьох основних розмірностей: довжини (м), маси (кг) та часу (с). Скориставшись аналізом розмірностей можна функцію (1) замінити залежністю між критеріями

подібності:

$$\frac{N}{v \cdot r \cdot \rho} = \text{Вu}. \quad (2)$$

Вu - число енергетичної дії, яке встановлює співвідношення потужності мікрохвильового поля та енергії, яка необхідна для переведення розчину в пару.

$$\frac{S \cdot h}{V} = F. \quad (3)$$

Комплекс F – враховує вплив площі вільної поверхні, з якої видалається утворена пара.

Вплив тиску враховується комбінацією:

$$\frac{P}{P_0}. \quad (4)$$

Таким чином, із застосуванням чисел подібності отримуємо наступне рівняння:

$$\text{Вu} = A \cdot (F)^n \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right)^m, \quad (5)$$

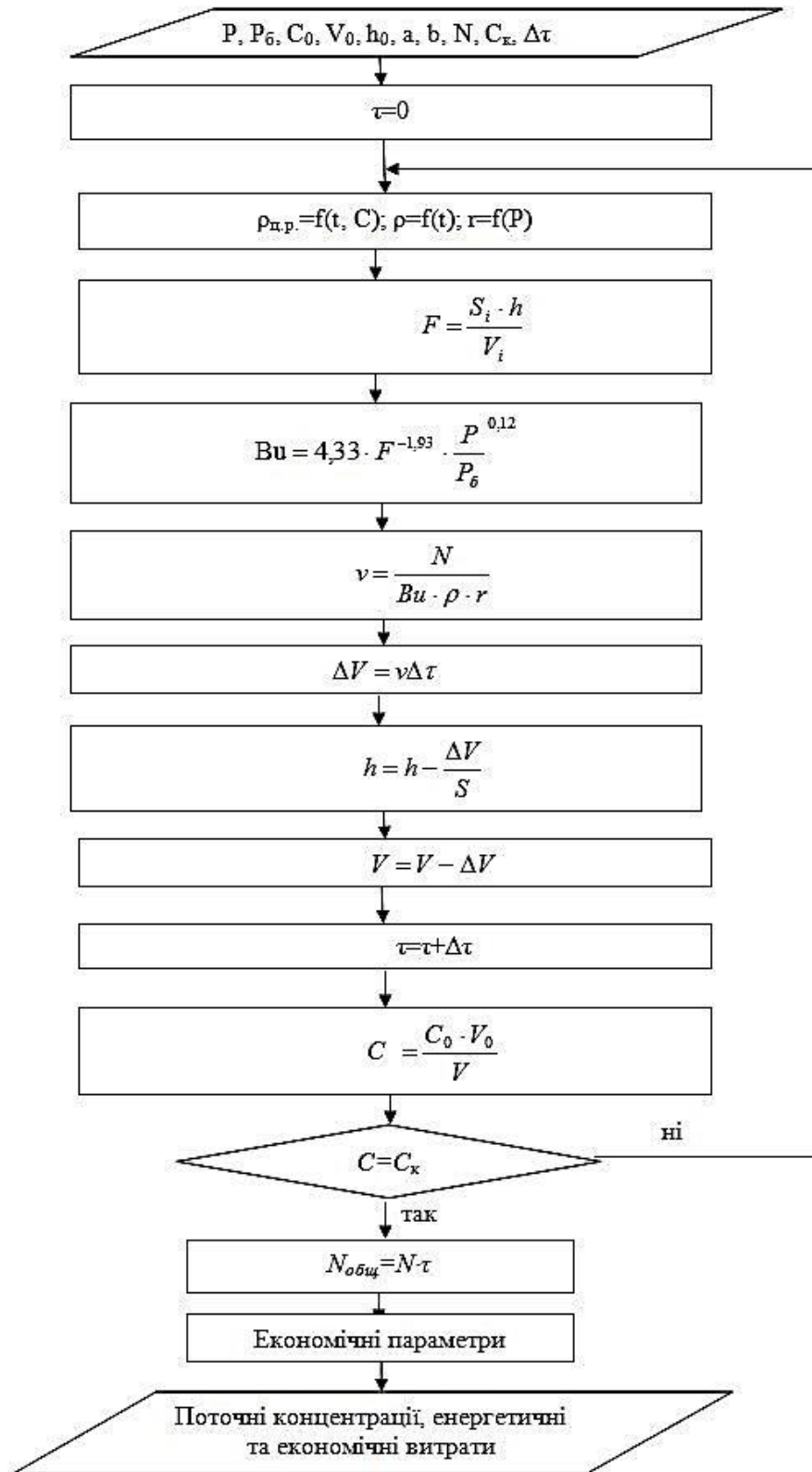
Константи  $A$ ,  $n$ ,  $m$  визначаються експериментально.

Обробка масиву експериментальних даних дозволяє рекомендувати для розрахунку процесу випарювання цукрових розчинів у мікрохвильовому вакуум-випарному апараті наступне рівняння:

$$\text{Вu} = 4,33 \cdot F^{-1,93} \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right)^{0,12} \quad (6)$$

Задача проектування мікрохвильового вакуум-випарного апарату пов'язана з розрахунком витрат вторинної пари в умовах електрофізичного підведення енергії до продукту. Це дає можливість визначити поточні та кінцеву концентрації сухих речовин у продукті та визначити ефективну тривалість процесу. Основними незалежними вхідними параметрами є початковий стан продукту або розчину (об'єм, початкова концентрація сухих речовин, кінцева (за вимогами технології) концентрація сухих речовин, температура), регульовані параметри установки (геометричні розміри вакуум-камери, тиск у камері, питома потужність) та параметри навколишнього середовища (атмосферний тиск). Змінними параметрами будуть поточні концентрації сухих речовин, температура процесу, рівень продукту в апараті.

Скорочена блок схема розрахунку для апарату з ємністю у формі прямокутної призми наведена на рис. 1.



$\tau$  – час роботи апарату;  $C$  – поточна концентрація сухих речовин у розчині;  $C_k$  – кінцева концентрація сухих речовин у розчині, яку необхідно одержати;  $a, b$  – ширина та довжина ємкості;  $N_{общ}$  – загальні витрати енергії на процес.

Рис. 1. Скорочена блок-схема розрахунку процесу випарювання у мікрохвильовому вакуум-випарному апараті.

Для оцінки адекватності моделі та методики проведено порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними (рис.2).

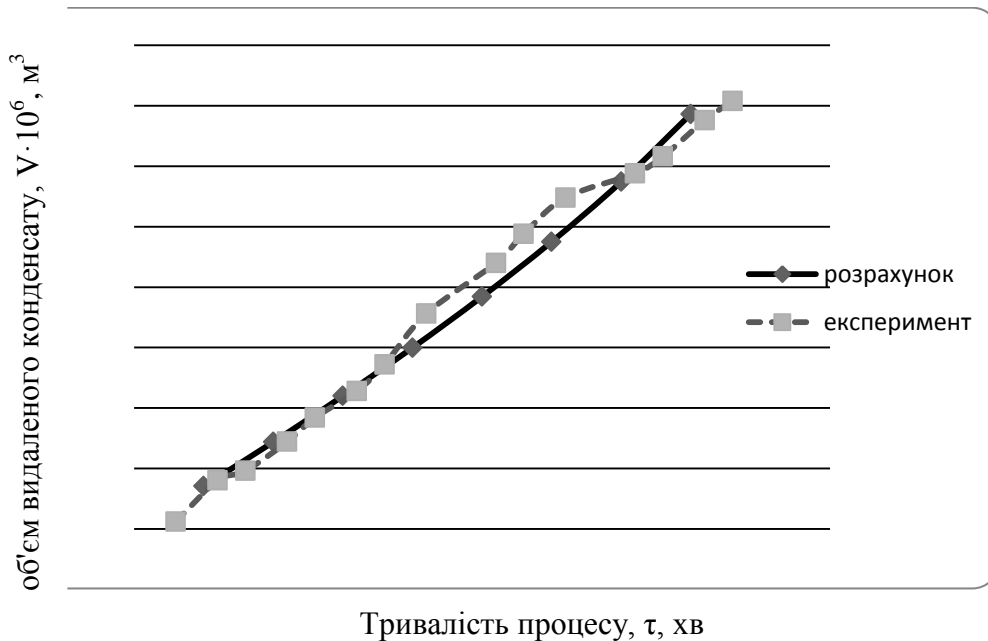


Рис. 2. Порівняння розрахункових та експериментальних даних.

Відносна похибка не перевищує 11% і, в середньому, складає 7,7%. Таким чином, модель та методика можуть бути використані для розрахунку відповідного обладнання.

*Висновки.* Структуру критеріального рівняння визначено методом «аналізу розмірностей». Число енергетичної дії, яке встановлює співвідношення потужності мікрохвильового поля та енергії, яка необхідна для переведення розчину в пару, визначається безрозмірним критерієм площі та безрозмірним тиском в апараті. У результаті обробки експериментальних даних визначено коефіцієнти критеріального рівняння. Визначальний вплив на інтенсивність випарювання чинять потужність електромагнітного поля та вільної поверхні, з якої видаляється утворена пара. Розроблена методика розрахунку може бути використана при проектуванні відповідного обладнання. Також можливе подальше використання розробленої методики для різних геометричних конфігурацій робочої ємності за умови відповідної адаптації розрахунків площі дзеркала та рівня продукту.

Література:

1. Бурдо, О.Г. Исследование вакуум-выпарных аппаратов нового типа / Бурдо О.Г., Ружицкая Н.В., Макаренко Т.А., Малашевич С.А. // Наукові праці ОНАХТ. – Вип. 45, Т.2. – Одеса, 2014. – С.212–214

2. Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок. – Одесса: «Полиграф», 2010. – 368 с.

3. *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.

4. *Бурдо, О.Г., Калинин, Л.Г.* Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах: Учебник. – Одесса: Друк, 2008. – 348с.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЦЕССА КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ САХАРНЫХ РАСТВОРОВ В МИКРОВОЛНОВОМ ВАКУУМ-ВЫПАРНОМ АППАРАТЕ**

Резниченко Т.А., Ружицкая Н.В.

**Аннотация – в статье для интенсификации процесса вакуум-выпарки предложено обеспечить равномерность энергоподвода и исключить промежуточный теплоноситель за счет использования микроволновых технологий. Показано влияние удельного энергоподвода, давления в аппарате, площади поверхности испарения на интенсивность процесса концентрирования пищевых продуктов на примере раствора сахара. Получено критериальное уравнение периодического процесса вакуум-выпарки в условиях действия микроволнового поля. Приведена методика расчета процесса вакуум-выпарки в условиях действия микроволнового поля.**

### **MODELING AND CALCULATION METHOD OF PROCESS OF SUGAR SOLUTIONS CONCENTRATION IN MICROWAVE VACUUM EVAPORATOR**

T. Riznychenko, N. Ruzhitska

**Summary – in current paper for vacuum-vaporization process intensification it is offered to provide energy supply uniformity and exclude intermediate heat medium by using of microwave technologies. The influence of specific energy supply, pressure in the apparatus, evaporation surface area on food products concentration process is shown on the example of sugar solution. The criterion equation of periodical vacuum-vaporization process under microwave field action conditions is obtained. The vacuum evaporation process under microwave field action calculation method procedure is introduced.**