

обігрівання відбивальної поверхні за рахунок перетворення енергії вторинної пари елементами Пельтье у напругу живлення нагрівачів. Площа відбивальної поверхні вдосконаленої зрізуючої лопаті становить 0,06 м<sup>2</sup> та потребує ~ 15...20 Вт живлення для автономної роботи ГПРЕНВТ. Це, забезпечить додаткове нагрівання, перемішування та уловлюванню шару сировини, що зрізується.

Отримані розрахункові показники ресурсоефективності: питомі витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту в РПВ – 408 кДж/кг, в порівнянні з базовим ВВА – 1019 кДж/кг. При цьому забезпечується наступна тривалість термічної обробки: РПВ – 60 с та 1 година у базовому ВВА, відповідно, що має суттєво зниження температурного впливу на сировину.

### **Список літератури**

1. Шкуратов, О., Дребот, О., & Чудовська, В. (2014). *Концепція розвитку органічного землеробства в Україні до 2020 року*. Київ: ТОВ «Екоінвестком».
2. Загорулько, А., Загорулько, О. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу. (2015). (Патент України № 108041). <https://uapatents.com/5-108041-gnuchkijj-plivkovijj-rezistivnijj-elektronagrivach-viprominyuyuchogo-tipu.html>

**УДК 664.061.4**

## **7. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРІОДИЧНОГО ТВЕРДОФАЗОВОГО ЕКСТРАГУВАННЯ ЦІЛЬОВИХ КОМПОНЕНТІВ**

**В. Л. Зав'ялов, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова, В. М. Чорний,  
Ю. В. Запорожець, В. Є. Деканський**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

Стан теорії твердофазового екстрагування в сучасній інженерії відрізняється значною емпірикою при узагальненні дослідних даних. Недостатньо робіт, які розкривають механізми, що лежать в основі явищ перенесення в багатофазових середовищах. При цьому використання

теоретичних моделей часто обмежено можливостями застосування до окремих процесів при стаціонарних умовах, зростає вимога до точності розрахунків і моделювання, підвищується роль теорії.

При твердофазовому екстрагуванні процес зазвичай розглядається як нестационарний і час екстрагування в цілому визначається часом вилучення цільового компонента з частинок сировини [1].

Це може відбуватися у декілька стадій. Розчинення твердої фази відбувається поки цей процес не набуває рівноважного стану, коли при даній концентрації в екстрагенті розчинення речовин припиняється.

Рідина всередині клітини і зовні складає єдину фазу і при рівноважному стані концентрація її повинна бути всюди однаковою. Але як тільки знижується концентрація екстрагента зовні частинки сировини, виникає градієнт концентрацій, що сприяє дифузійному руху екстрактивних речовин всередині частинки, і починається подальше розчинення речовин до наступної фази рівноваги, але при нижчій концентрації екстрагенту в клітинах сировини і зовні. Цей закон є доречним лише у випадку стаціонарної дифузії. Оскільки при екстрагуванні з твердого тіла має місце нестационарна дифузія, то поле концентрацій безперервно змінюється.

Порівняння ефективності процесу за екстракційними кривими показує, що його стадії можливо умовно розбити на два періоди. В перший період процес протікає з більшою швидкістю до перегину кривої. У цей період екстрагується більша частка речовини, в основному найменш міцно зв'язана з матеріалом (адсорбована на стінках зруйнованих клітин та у мікрокапілярах).

На другий період після перегину кривої екстрагується речовина, що зосереджена всередині незруйнованих клітин та в мікрокапілярах.

Отже, залишається нез'ясованим ряд питань, пов'язаних з можливістю первісного оцінювання процесу за зовнішнім виглядом екстракційних кривих, побудованих за їх математичним описом та апроксимованими дослідними даними про перебіг процесу.

Зважаючи на те, що процес вилучення компонентів із сировини

характеризується зміною в часі відхилення його концентрації від рівноважного стану в екстрагенті приймаємо за вихідну систему:

$$\begin{cases} dc/dt = f(c^* - c); \\ c(t_0) = c_0, \end{cases}$$

де  $dc/dt$  — швидкість зміни функції  $f(c)$  — за час  $t$ ;  $(c - c^*)$  відхилення поточного значення функції  $c$  від деякої сталої  $c^*$ ,  $k$  — змінний коефіцієнт, вибраної апроксимуючої функції  $f(z) = k(z, t) \cdot z$ . Враховуючи, що  $k \neq \text{const}$  розглянуто випадок коли функція  $k(z, t)$  в рівнянні  $f(z) = k(z, t) \cdot z$  лінійною відносно  $z$ , тобто має вигляд  $k(z, t) = a + bz$ . Враховуючи характер зміни екстракційної кривої, отримали математичний опис процесу твердофазового вилучення цільових компонентів, що відповідає початковій лінійній його частині, коли лімітуючою стадією процесу є зовнішнє масоперенесення.

$$c(t) = \begin{cases} c^* - a(c^* - c_0) / [a \cdot e^{a(t-t_0)} + b(c^* - c_0) \cdot (e^{a(t-t_0)} - 1)], & \text{якщо } a \neq 0; \\ c^* - (c^* - c_0) / [1 + b(c^* - c_0) \cdot (t - t_0)], & \text{якщо } a = 0. \end{cases}$$

Для експериментального оцінювання запропонованої методики математичного та графічного супроводу вилучення цільових компонентів було проведено ряд дослідів з побудовою експериментальних екстрактивних кривих насичення сухими речовинами екстракту та здійснено перевірку моделі на адекватність.

Таким чином, обґрунтовано метод первісного узагальнення та аналізу фізичних ефектів, що супроводжують процес твердофазового екстрагування. Отримані результати можуть бути використані при конструюванні та оптимізації роботи екстракційної апаратури.