

ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ПРИ ЕКСТРАГУВАННІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Макаренко А.А., Авдєєва Л.Ю.

Інститут технічної теплофізики НАН України, tbds_itff@ukr.net

Вступ. Використання препаратів на основі екстрактів лікарської рослинної сировини постійно зростає у медичній, фармацевтичній, хімічній і харчовій промисловості. Це пов'язано з високим вмістом біологічно активних речовин (БАР) і широким спектром дії рослинних екстрактів, а також багатокомпонентним складом та економічною доступністю лікарської рослинної сировини. Технології отримання екстрактів з рослинної сировини, через значне різноманіття видів, складу і фізико-хімічних властивостей рослинної сировини, вимагають свого постійного удосконалення, індивідуальних підходів і застосування інноваційних методів обробки. Традиційні способи вилучення БАР з лікарського рослинної сировини, на відміну від сучасних, малоефективні, характеризуються високою тривалістю та непродуктивними витратами підведеної енергії [1,2].

Для ефективної переробки рослинної сировини потрібне створення і впровадження ефективного технологічного обладнання з високим ступенем впливу на оброблювану сировину і малими питомими енерговитратами і металомісткістю. Це вимагає використання нових підходів і інженерної реалізації при розробці технологій і обладнання, які дозволяють змінити в потрібному напрямку стан системи і швидкість протікання в ній процесів переносу специфіку переробки різного роду рослинної сировини. Особливо важливими на сьогоднішній день є проблеми енергозбереження [2, 3].

В даний час технології із застосуванням гідродинамічної кавітації показують високі результати трансформації твердих і рідких середовищ. Ці технології застосовуються для приготування гомогенних розчинів, емульсій, суспензій та високодисперсних сумішей з різних матеріалів, змішування важко змішуваних середовищ або середовищ, які майже не змішуються. Важливо, що використання технології кавітації забезпечує проведення екологічно безпечних тепломасообмінних процесів на мікро- і нанорівнях, оскільки хімічні каталізатори в процесі обробки сировини не використовуються [4-6].

Метою роботи є дослідження впливу кавітаційних ефектів при екстрагуванні рослинної сировини.

Матеріали та методи. В дослідженнях використовувались кавітаційні реактори типу трубки Вентурі з горловинами сопел від 0,006 м до 0,12 м. Дослідні проби відбирались через 3, 9, 15, 30 циклів. В якості рослинної сировини обрано квітки нагідок (календули лікарської), екстрагентом була використана дистильована вода. Ефективність екстрагування визначали за кількістю сухих речовин в екстракті.

Результати та обговорення. Для гідромеханічних процесів (диспергування, гомогенізації, емульгування) інтенсифікація здійснюється при досягненні високої питомої потужності W_{ef} . Якщо позначити потужність, що вводиться через W_o , то оптимальний рівень інтенсифікації при $W_{ef} = W_o/V_{лок}$ можна досягти

за рахунок посилення потужності або зменшення об'єму локальної зони. Збільшення робочого об'єму апарату призводить до збільшення тривалості обробки дисперсії через багатократну рециркуляцію рідини з пасивної зони в активну і великими непродуктивними втратами енергії. При зменшенні об'єму локальної зони зменшується продуктивність, збільшується тривалість процесу обробки і питомі енерговитрати, тому робочий об'єм апарату не має сильно перевищувати об'єм активної зони. Водночас, при введенні енергії дискретно в кожну з активних зон, тривалість обробки буде мінімальною і найбільш ефективною [6, 7].

Кавітаційні явища *супроводжуються швидким перетворенням енергії з однієї форми в іншу*, а локалізована енергетична дія проявляється у вигляді *короткочасних дискретних імпульсів високої потужності*. Таким чином, використання кавітаційних ефектів є одним із шляхів зменшення непродуктивних енерговитрат. Застосування кавітаційних пристроїв при екстрагуванні, через сильні динамічні ефекти, що виникають в результаті інтенсивного розвитку бульбашок і бульбашкових систем доцільно проводити на стадії підготовки до приготування активованого екстрагенту, або на стадії проведення безпосередньо екстрагування [6, 7, 8].

Для проведення досліджень і визначення ефективності впливу ефектів гідродинамічної кавітації при проведенні масообмінних процесів при екстрагуванні рослинної сировини був використаний експериментальний стенд з кавітаційним змішувачем типу трубки Вентурі. Конструкція апарату, геометричні параметри виконання сопла, параметри течії (абсолютний тиск і швидкість), критичний тиск $P_{\text{кав}}$, а також властивості матеріалу мають суттєвий вплив на гідродинамічні умови проведення кавітаційної обробки і на розвиток кавітаційних ефектів. Його профіль виконання і геометричні розміри можуть змінюватись у залежності від поставленої мети і властивостей сировини.

Були проведені дослідження по впливу тривалості екстрагування в кавітаційному змішувачі на вихід сухих речовин в екстракт при різних значеннях чисел кавітації. Отримані результати свідчать, що збільшення тривалості екстрагування в кавітаційному змішувачі призводить до збільшення вмісту сухих речовин в усіх зразках. Найбільшою інтенсивністю характеризуються масообмінні процеси, які відбуваються під впливом кавітаційної обробки впродовж перших 15 циклів для всіх дослідних зразків. При подальшій обробці інтенсивність масообмінних процесів поступово знижується. Збільшення діаметру горловини сопла, а відповідно і числа кавітації, призводить до зменшення інтенсивності масообмінних процесів, що призводить до зменшення приросту кількості СР в екстракті. Найменші значення кількості СР в екстракті спостерігались у зразка, отриманого в результаті обробки в соплі з найбільшим числом кавітації рівним 1,36. Процес екстрагування з найменшим числом кавітації (діаметр горловини сопла 6 мм) відбувався найбільш ефективно, але при цьому, через високу дисперсність через 15 циклів обробки отриманого зразка, був ускладнений процес його фільтрування. Дослідження показали високу ефективність кавітаційної обробки на масообмінні процеси при екстрагуванні водної суспензії квіток нагідок лікарських.

Висновки. Використання гідродинамічної кавітації при екстрагуванні дозволяє ефективно провести процес диспергування рослинної суспензії із активним руйнуванням клітинних стінок, які характеризуються високою міцністю, інтенсифікувати масообмінні процеси, збільшити кількість виділених БАР, зменшити тривалість і енерговитрати при проведенні процесу.

Геометрія трубки Вентурі має значний вплив на інтенсивність масообміну при екстрагуванні методом гідродинамічної кавітації. Соплу з мінімальним діаметром горловини сопла (6 мм) відповідає найменше число кавітації, що свідчить про найбільшу ефективність диспергування, але висока дисперсність отриманої суспензії ускладнює відділення нерозчинних речовин з екстракту. У наших дослідженнях було встановлено, що раціональним є використання сопла з діаметром 8 мм та 10 мм. Тривалість обробки має становити не більше ніж 60 циклів, щоб уникнути перегріву суміші та запобігти критичного показника дисперсності при якому процес фільтрування і розділення екстракту від виснаженої сировини значно ускладнюється.

Список використаної літератури:

1. Benincá C., Pacheco Ortiz R., Gonçalves F., Martins M., Mangrich A., Zanoelo E. Pressure cycling extraction as an alternative to percolation for production of instant coffee, *Separation and Purification Technology*, 2016, V. 164. P. 163-169
2. Oscar Zannou, Hojjat Pashazadeh, Salam A. Ibrahim, Ilkay Koca, Charis M. Galanakis, Green and highly extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity from kinkeliba (*Combretum micranthum* G. Don) by natural deep eutectic solvents (NADESs) using maceration, ultrasound-assisted extraction and homogenate-assisted extraction, *Arabian Journal of Chemistry*, 2022, V. 15, Is.5, 103752
3. Hasan M. M. N., Karim M. R., Haseeb A. S. M. A., and Akanda H. M., Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from medicinal plants: A review, *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 26, no. 3, pp. 705-714, 2018.
4. B. Ravishankar, K. G. Gurudatt, and B. N. Raghunandan, Cavitation assisted extraction of bioactive compounds from plants - A review, *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 6, pp. 3158-3167, 2015.
5. Mahdi Jafarian M., Saeid Hosseini S., and Barzegar F., Cavitation-assisted extraction of bioactive compounds from plants: A review, *Journal of Herbal Medicine*, vol. 12, pp. 1-10, 2018.
6. Долінський А.А., Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А. Кавітаційні технології для виробництва нанопрепаратів. Київ: Наук. Думка. 2020. 112 с.
7. Долинский А.А. Иваницкий Г.К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. Київ: *Наукова думка*, 2008. 382 с.
8. Процеси та обладнання глибокої переробки органічної сировини: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, освітня програма підготовки «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Г.К. Іваницький, А.Р. Степанюк – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 292 с.