

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОХВИЛЬОВОГО ШНЕКОВОГО ЕКСТРАКТОРУ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Всеволодов О.М., к.т.н., доцент, Аль-Хамад І. М., аспірант, Терзієв С.Г., д.т.н, доцент
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Анотація. Проведено критичний аналіз джерел з індустрії харчової промисловості та проблематику розвитку сфери виготовлення фітоекстрактів. Визначено наукові протиріччя традиційного обладнання для екстрагування рослинної сировини. На кафедрі ПОЕМ було сформовано науково-технічну гіпотезу для процесу екстрагування з використанням мікрохвильового випромінювання. Використання мікрохвильової енергії для екстрагування біологічно-активних речовин дозволить значно підвищити ефективність процесу за рахунок інтенсивного впливу МХ на матеріал та руйнування клітинних структур (за рахунок бародифузії), що збільшить вихід цільових фітохімічних речовин, знизить енерговитрати та скоротить час екстрагування порівняно з традиційними методами. Спираючись на параметричну модель процесу екстрагування у мікрохвильовому полі методами теорії подібності, було отримано структуру критеріальної моделі для шару сировини. Основним матеріалом для проведення серії експериментів, була рослинна сировина соя. Експериментальний стенд включав резонаторну камеру, шнековий транспортер, джерела електромагнітної енергії, завантажувальний і розвантажувальний бункери, система подачі екстрагенту, елементи керування установкою. Дуже важливими результатами дослідження є залежності кінцевої концентрації екстракту від потужності магнетрону та від гідромодуля. Аналіз даних експериментальних досліджень показав перевагу мікрохвильового екстрагування, порівняно із традиційними методами екстрагування. Підвищення потужності МХ-енергії може суттєво підвищити кінцеву концентрацію і істотно знизити тривалість, тим самим, знизити витрати енергії на процес екстрагування. Гідромодуль і потужність мікрохвильового поля є найбільш важливими параметрами при виборі раціонального режиму роботи екстракційного обладнання. Узгодження цих параметрів дозволяє збільшити значення коефіцієнта масовіддачі при екстрагуванні.

Ключові слова: екстрагування біологічно активних речовин, МХ-екстрагування, рослинна речовина, шнекові екстрактори, бародифузія.

Вступ. Наразі, динамічно зростає інтерес у фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловості до фітоекстрактів [1]. У фармацевтиці вони використовуються як активні складники у лікарських препаратах. Косметична промисловість застосовує фітоекстракти у виробництві природних косметичних засобів, оскільки вони мають здатність покращувати стан шкіри, волосся та нігтів [2]. У харчовій промисловості фітоекстракти використовуються як натуральні добавки до харчових продуктів, забезпечуючи їм певні смакові та корисні властивості. Зростаючий попит на фітоекстракти в цих галузях свідчить про важливість оптимізації процесів та розробки відповідного обладнання для їх ефективного та якісного виробництва [3].

Екстракційне обладнання переважно це апарати періодичної дії [4]. Проблема таких екстракторів полягає в тому, що вони не ефективні у виробничих масштабах бо вимагають часу на завантаження, розвантаження та очищення, що суттєво уповільнює процес екстракції. Крім того, цей тип екстракторів може призвести до значних втрат продукту та розчинника [5]. Переваги екстракторів безперервної дії полягають у їх високій продуктивності, більш ефективному очищенні продукту та розчинника, а також покращеної стабільності та контрольованості процесу екстракції [6].

У роботі пропонується використовувати мікрохвильове випромінювання у процесах екстракції що дозволяє прискорити процес руйнування клітинних стінок, скоротити час екстрагування, збільшити ефективність вилучення та знизити енерговитрати на процес. Крім того, екстрагування з використанням мікрохвильового випромінювання дозволяє отримувати цільові сполуки високої чистоти та зберігати їх біологічну активність, що підвищує якість продукту та його конкурентоспроможність на ринку. Всі ці переваги роблять безперервні екстрактори з використанням мікрохвильового випромінювання перспективною технологією в процесах отримання фітоекстрактів [7].

Аналіз проблематики та останніх досліджень. Сучасні тенденції у сфері медицини, фармакології та харчової промисловості підкреслюють важливість використання натуральних джерел біологічно активних речовин (БАР), таких як поліфеноли, флавоноїди, антиоксиданти та інші природні сполуки [8]. Ці речовини мають широкий спектр корисних властивостей, зокрема протизапальні, антибактеріальні, протипухлинні, що робить їх цінними для розробки нових препаратів і функціональних продуктів.

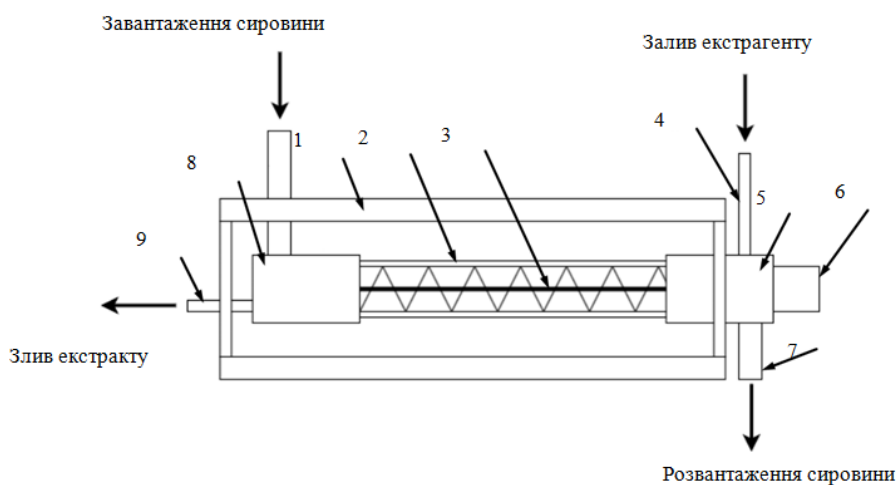
Екстрагування БАР є складним процесом, що потребує ефективних технологій для збереження максимальної активності та біодоступності сполук [9]. Застосування мікрохвильової енергії для екстрагування стає дедалі більш популярним завдяки своїм численним перевагам: швидкість процесу, зниження потреби у

розчинниках, підвищена селективність, та мінімізація впливу температури на нестабільні сполуки. Цей метод дозволяє зменшити витрати енергії та часу, підвищуючи вихід БАР з рослинної сировини [10].

Прогнози на майбутнє українського продукту фітопрепаратів є позитивними, оскільки спостерігається зростаючий інтерес до природних, екологічно чистих продуктів і збільшується свідомість людей про користь рослинних компонентів для здоров'я і добробуту [11]. Проведемо аналіз конструкції, принципів дій, переваг та недоліків традиційних апаратів для екстрагування. Етап екстракції включає в себе вибір розчинника, співвідношення розчинник-сировина, температуру та час екстракції.

Таким чином у доступній літературі не знайдено інформації стосовно екстракторів безперервної дії й з мікрохвильовими інтенсифікаторами.

Методи та результати досліджень. Метою роботи є розробка та дослідження мікрохвильового екстрактору безперервної дії. Розробка базується на наступній гіпотезі: «Організація завантаження, розвантаження та транспортування твердої сировини за допомогою шнеку, який розташований у радіо прозорому реакційному об'ємі, формування протитечійного руху сировини та екстрагенту, обробка їх у резонаторній камері мікрохвильовим полем дозволить створити енергоефективний екстрактор безперервної дії». Обмеження у такому апарата – наявність в екстрагенті полярних молекул. Принципова схема такого апарата наведена на рис.1.



1- корпус екстрактора; 2- скляна труба; 3- шнек; 4- система подачі екстрагенту; 5- корпус підшипників; 6- двигун; 7- розвантажувальний бункер для сировини; 8- завантажувальний бункер для сировини; 9- патрубок для зливу екстракту.

Рис. 1 – Схема установки

При розробці апарата залучались методи математичного моделювання та експерименту. Ключові параметри, що впливають на процес, визначено за допомогою параметричної моделі (рис.2).

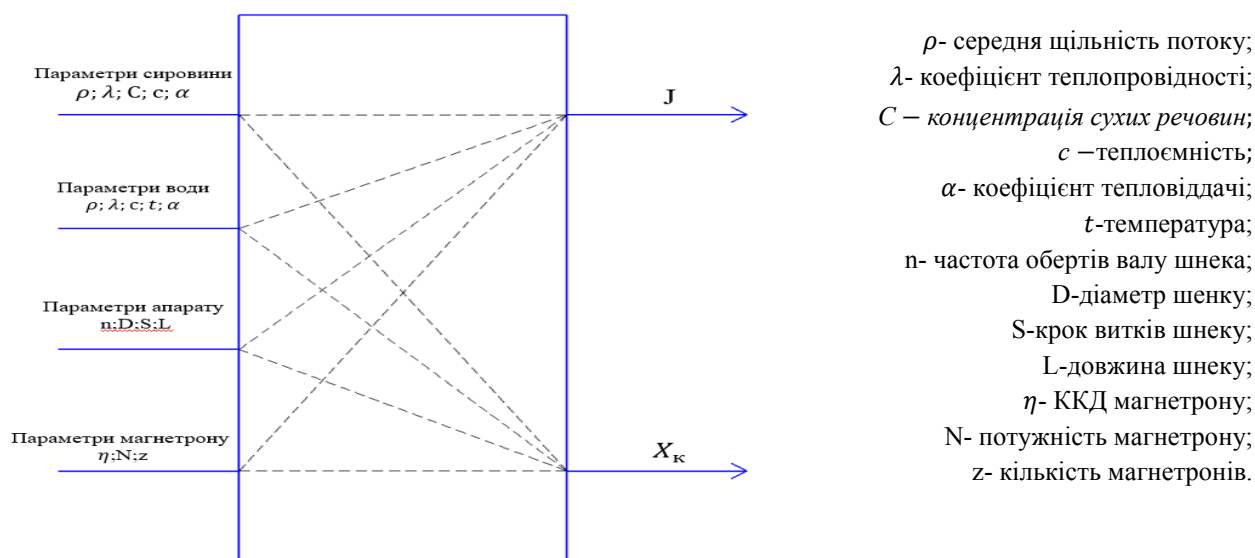


Рис. 2 – Параметрична схема процесу екстрагування у мікрохвильовому полі

Характеристика параметрів наведена в табл.1.

Таблиця 1

Характеристика параметрів процесу екстрагування у мікрохвильовому полі

Назва	Позначення	Розмірність	
Потужність мікрохвильового поля	N	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^3$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
Середня щільність потоку	ρ	$\text{кг} / \text{м}^3$	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Середня в'язкість потоку	μ	$\text{Па} \cdot \text{с}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$
Розмір часток	d	м	м
Різниця концентрацій	ΔC	$\text{кг} / \text{м}^3$	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Середня витрата сировини	G_c	$\text{кг} / \text{с}$	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$
Гравітаційна константа	g	$\text{м} / \text{с}^2$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Коефіцієнт дифузії	D	$\text{м}^2 / \text{с}$	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
Питома теплота пароутворення	r	$\text{Дж} / \text{кг}$	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Середня витрата екстрагенту	$G_{\text{э}}$	$\text{кг} / \text{с}$	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$
Ефективний коефіцієнт масовіддачі	β	$\text{м} / \text{с}$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$

Складання математичної моделі проводилось на основі спрощеної фізичної моделі (рис. 3).

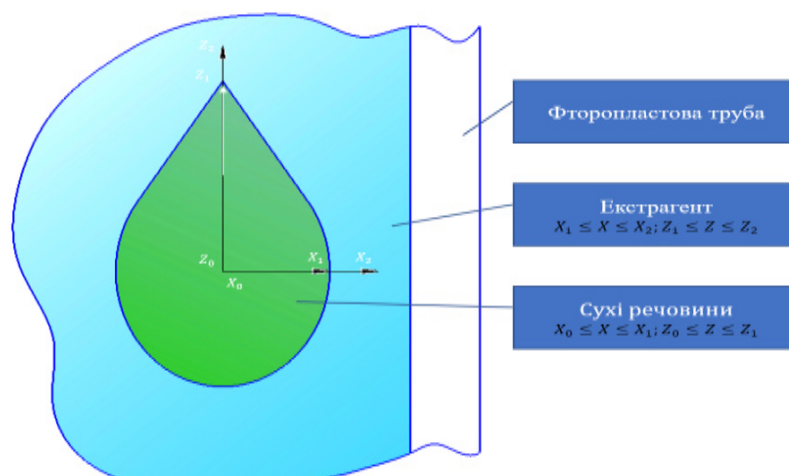


Рис. 3 – Фізична схема процесу екстрагування

Для двовірної моделі записано рівняння енергії (1)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Система доповнюється універсальними рівняннями сплошності, Наве-Стокса, відповідними умовами однозначності. Рівняння конвективного масоперенесення (зміни концентрації екстракту) визначається рівнянням (2).

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial c}{\partial x} + w_z \frac{\partial c}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

В результаті визначено ключові параметри, що впливають на кінетику процесу екстрагування.

Вплив температури та інтенсивності енергопідведення. Досліди проводились на експериментальному стенді «Електродинамічний екстрактор», який складається з баку для екстрагента (води) з гнучким патрубком що з'єднує бак з робочим модулем, і ємністю для злива екстракту. Металевий резонаторний корпус, в якому розміщуються блоки масообмінних модулів, оснащений генератором мікрохвильового випромінювання. Система керування дозволяє регулювати потужність випромінювання установки. При проведенні досліджень сировини використовували наступне устаткування:

1. Мікрохвильовий екстрактор ;
2. Ваги фірми “Techno wagy” моделі TBE-6 з максимально допустимою вагою до 6 кг, точністю в одну цифру після крапки і допустимою похибкою до 0,1 г;
3. Пірометр фірми “Benetech” моделі GM320, діапазон вимірювальних температур пірометра складає від -50°C до 380°C.

Досліджувана сировина завантажувалася в ємність, розташовану всередині корпусу, і знаходилася нерухомо відносно стінок. Сировиною для проведення експериментальних досліджень використовувалася необроблена соя, як екстрагент – вода. Основна частина дослідів була орієнтована на дослідження кінетики екстрагування із соєвої сировини.

Сою екстрагували водою при комбінованому електромагнітному впливі в умовах проточного проведення процесу.

У процесі екстрагування в імпульсному електромагнітному полі параметр температури безпосередньо пов'язаний з потужністю випромінювання, тому серія дослідів вивчала не роздільне, а спільний вплив цих параметрів на основний кінетичний параметр - коефіцієнт масовіддачі (β). Експеримент проводився під впливом імпульсного електромагнітного поля різної потужності (рис.4).

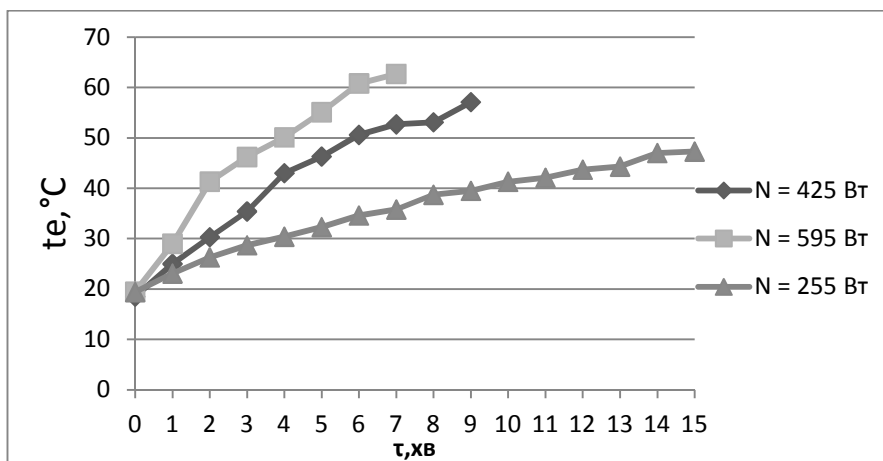


Рис. 4 – Залежність температури від потужності магнетрону

За результатами дослідів (рис. 4) можна дійти висновку, що з підвищенні потужності МВ-енергії вдвічі температура екстрагента підвищується майже 2 рази.

Спостереження показали (рис. 5), що підвищення потужності МВ-енергії може підвищити вихід екстрактивних речовин із соєвої сировини та знизити тривалість, а, отже, знизити енергоємність процесу виробництва екстрактів сої із соєвої сировини.

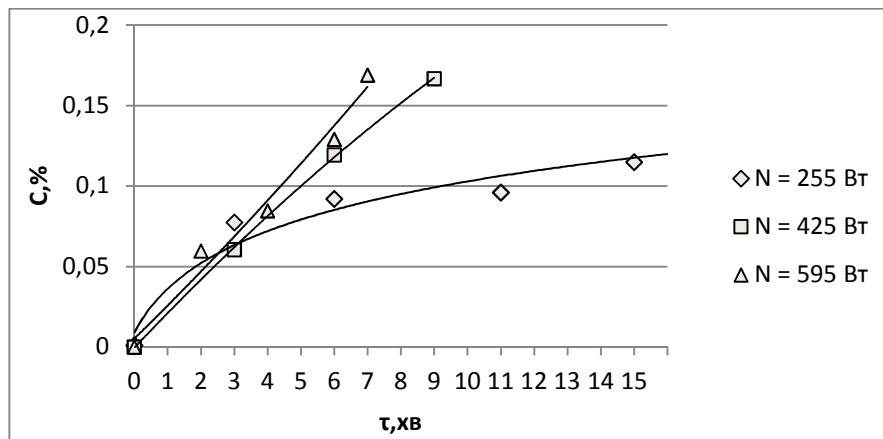


Рис. 5 – Залежність концентрації від потужності магнетрону

Вплив температури та гідромодуля. У цій серії експериментів стояло завдання визначити вплив гідромодуля на інтенсивність процесу екстрагування під впливом мікрохвильового електромагнітного поля. Гідромодуль сої змінювався у співвідношеннях 1:3, 1:5, 1:10 при постійних параметрах мікрохвильової потужності 425 Вт, що підводиться, режимній температурі 60 °С.

За результатами дослідження (рис. 6) видно, що при гідромодулі 1:5 продукту, що обробляється, спостерігається найбільша концентрація речовин.

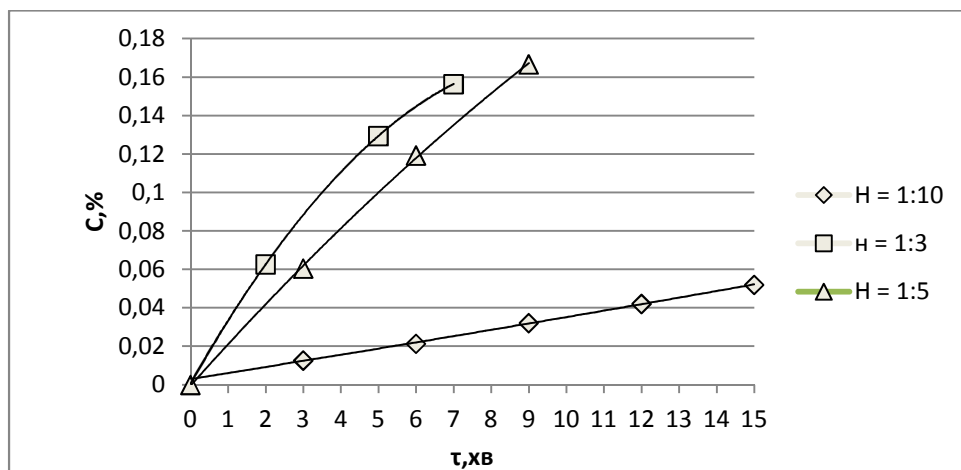


Рис. 6 – Залежність концентрації від гідромодуля

Визначення транспортних характеристик шнеку. Вплив таких характеристик, як частота обертання та кут нахилу екстрактора наведено на рис. 7 та рис. 8.

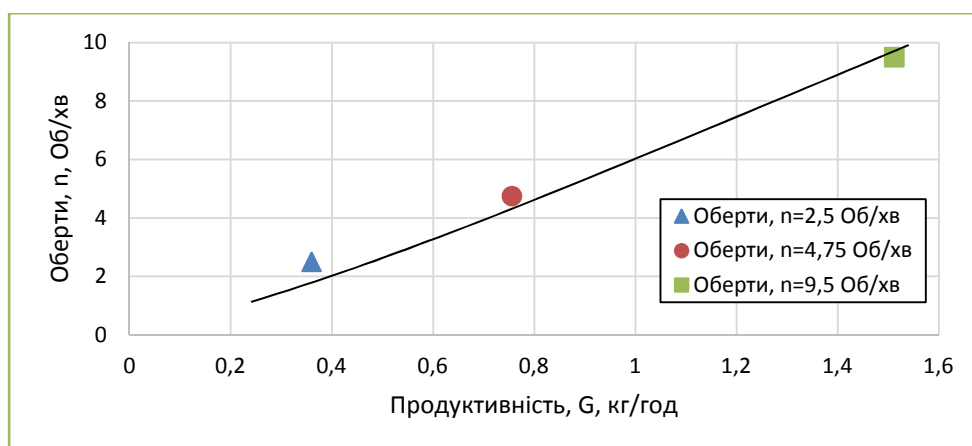


Рис. 7 – Вплив частоти обертання валу шнеку на продуктивність екстрактора

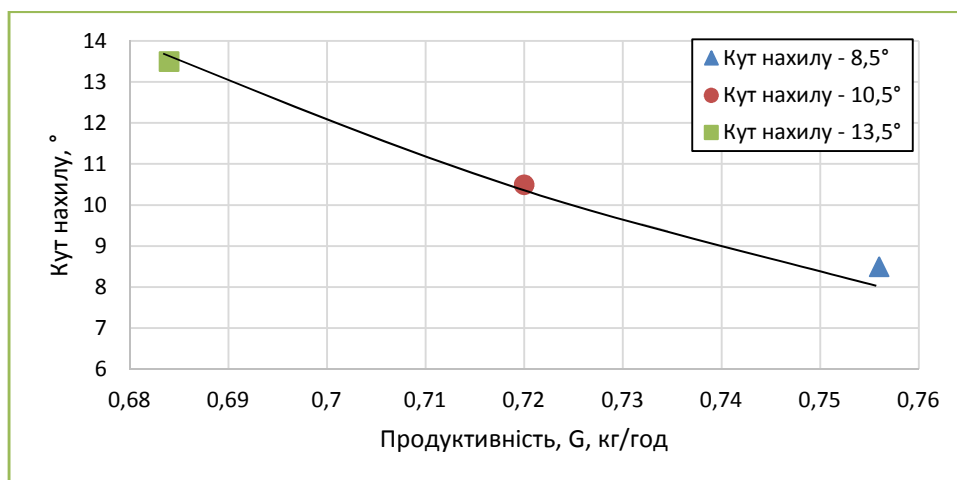


Рис. 8 – Вплив кута нахилу на продуктивність екстрактора

Висновки

1. Підвищення потужності МХ-енергії може суттєво підвищити кінцеву концентрацію і істотно знизити тривалість, тим самим, знизити витрати енергії на процес екстрагування.
2. При зміні гідромодуля в ході серії експериментів виявили, що найбільша концентрація спостерігається при співвідношенні 1:5
3. Гідромодуль і потужність мікрохвильового поля є найбільш важливими параметрами при виборі раціонального режиму роботи екстракційного обладнання. Узгодження цих параметрів дозволяє збільшити значення коефіцієнта масовіддачі при екстрагуванні.

References

1. Gavamukulya, Y., Abou-Elella, F., Wamunyokoli, F., & AEI-Shemy, H. (2017). Phytochemical Screening, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of the Extracts from *Carica papaya* Seeds. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 12(4), 344-353.
2. Ferreira, I. C. F. R., Barros, L., Abreu, R. M. V., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). *Plant Phytochemicals in Food Applications: Extraction, Techniques, and Applications*. CRC Press.
3. Kumar, P., & Mishra, A. (2019). Innovative Extraction Techniques for Herbal Extracts: A Review. *Journal of Food Science and Technology*, 56(10), 4733-4748.
4. Oliveira, R. B., Braga, M. E. M., de Sousa, H. C., & Franca, A. S. (2021). Extraction Technologies for High-Value Compounds from Medicinal Plants: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(3), 378-399.
5. Bhattacharya, S., & Mehta, P. (2018). Modern Extraction Techniques for Botanicals and Medicinal Plant Phytochemicals. In *Advances in Plant Bioactive Compounds* (pp. 109-130). Elsevier.
6. Singh, A., & Sharma, O. P. (2021). Recent Advances in Extraction Techniques of Phytochemicals from Medicinal Plants. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 95, pp. 1-41). Academic Press.
7. Ivanova N. A. (2018). Fitopreparaty: vplyv na zdorovia i zakhyst roslyn [Phytopreparations: impact on health and protection of plants]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 2, 23-29.
8. Patel, V. R., Patel, P. R., & Kajal, S. S. (2018). Pharmaceutical Extraction Techniques and Their Applications: A Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(12), 3071-3078.
9. Karimi, E., & Jaafar, H. Z. (2018). Phytochemical Extraction from Medicinal Plants: A Review. *International Journal of Engineering Research and Reviews*, 6(6), 157-163.
10. Jyoti, B., & Kumar, A. (2021). Recent Advancements in Extraction Techniques for Phytochemicals from Medicinal Plants. In *Recent Advancements in Plant Biotechnology* (pp. 111-131). Springer.
11. Shapovalov O. V., Dibrova V. AND. (2018). Production of phytopreparations: technologies and prospects. *Chemistry for Sustainable Development*, 26(1), 17-27.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MICROWAVE SCREW CONTINUOUS ACTION EXTRACTOR

**Vsevolodov O.M., PhD, Al-Hamad I.M., graduate student, Terziev S.G., d.t.s., associate professor
Odesa National University of Technology, Odesa**

Abstract. A critical analysis of the issues related to the grub industry and the development of the sphere of production of phytoextracts was carried out. The scientific method of using traditional technology for the extraction of rosemary is indicated. At the Department of POEM, a scientific and technical hypothesis was formed for the process of extracting from the microbial vip production. The use of microbial energy for the extraction of biologically active substances can significantly improve the efficiency of the process for the intensive infusion of MX onto the material and the restructuring of tissue structures (for the scale barodifusion), in order to increase the yield of target phytochemical substances, reduce energy consumption and shorten the hour of extraction in a manner similar to traditional methods. By relying on a parametric model of the extraction process in the microwine field using the methods of the theory of similarity, the structure of the criterion model for the cheese ball was determined. The main material for conducting a series of experiments was high-altitude soybean. An experimental stand including a resonator chamber, a screw conveyor, electromagnetic energy generators, vanishing and dissolving bunkers, an extractant supply system, elements of a ceramic installation. Very important results were obtained from the study of the final concentration of the extract under the pressure of the magnetron and the hydromodule. Analysis of these experimental studies has shown the superiority of microwilt extraction compared to traditional extraction methods. Increases in the intensity of MX-energy can significantly increase the terminal concentration and ultimately reduce waste, thereby reducing energy consumption for the extraction process. The hydraulic module and the tightness of the microfiber field are the most important parameters when choosing a rational operating mode for extraction equipment. Using these parameters allows you to increase the value of the mass yield coefficient during extraction.

Keywords: extraction of biologically active substances, MW extraction, plant matter, screw extractors, barodifuia.

Список використаної літератури

1. Gavamukulya Y., Abou-Elella F., Wamunyokoli F., AEI-Shemy H. Phytochemical Screening, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of the Extracts from Carica papaya Seeds // Journal of Taibah University Medical Sciences. 2017. Vol. 12, No. 4. P. 344–353.
2. Ferreira I. C. F. R., Barros L., Abreu R. M. V., Oliveira M. B. P. P. Plant Phytochemicals in Food Applications: Extraction, Techniques, and Applications. CRC Press, 2018.
3. Kumar P., Mishra A. Innovative Extraction Techniques for Herbal Extracts: A Review // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56, No. 10. P. 4733–4748.
4. Oliveira R. B., Braga M. E. M., de Sousa H. C., Franca A. S. Extraction Technologies for High-Value Compounds from Medicinal Plants: A Review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 61, No. 3. P. 378–399.
5. Bhattacharya S., Mehta P. Modern Extraction Techniques for Botanicals and Medicinal Plant Phytochemicals // In Advances in Plant Bioactive Compounds. Elsevier, 2018. P. 109–130.
6. Singh A., Sharma O. P. Recent Advances in Extraction Techniques of Phytochemicals from Medicinal Plants // In Advances in Food and Nutrition Research. Academic Press, 2021. Vol. 95. P. 1–41.
7. Іванова Н. А. Фітопрепарати: вплив на здоров'я і захист рослин // Вісник аграрної науки. 2018. №2. С. 23–29.
8. Patel V. R., Patel P. R., Kajal S. S. Pharmaceutical Extraction Techniques and Their Applications: A Review // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. Vol. 10, No. 12. P. 3071–3078.
9. Karimi E., Jaafar H. Z. Phytochemical Extraction from Medicinal Plants: A Review // International Journal of Engineering Research and Reviews. 2018. Vol. 6, No. 6. P. 157–163.
10. Jyoti B., Kumar A. Recent Advancements in Extraction Techniques for Phytochemicals from Medicinal Plants // In Recent Advancements in Plant Biotechnology. Springer, 2021. P. 111–131.
11. Шаповалов О. В., Діброва В. А. Виробництво фітопрепаратів: технології та перспективи // Хімія в інтересах сталого розвитку. 2018. Т. 26, №1. С. 17–27.

Отримано в редакцію 09.08.2024
Прийнято до друку 25.09.2024

Received 09.08.2024
Approved 25.09.2024