

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ГЕОРГІЄШ Катерина Вікторівна

УДК 536.24(075.8)

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ
ЕКСТРАГУВАННІ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН З РОСЛИННИХ
МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ДІЇ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ**

Спеціальність **05.14.06** – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв Одеської національній академії харчових технологій МОН України
Бошкова Ірина Леонідівна

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції Інституту будівництва та інженерії довкілля Національного університету «Львівська політехніка» МОН України
Лабай Володимир Йосифович

кандидат технічних наук, головний інженер державного підприємства заводу «Генератор» Держконцерну Укроборонпрому
Дзюба Валентин Павлович

Захист дисертації відбудеться «23» листопада 2015 р. о 12³⁰ годині в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65082, м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ОНАХТ за адресою: 65082, м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3.

Автореферат розісланий «19» жовтня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д. т. н, професор

В.І. Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Енергетична криза, збільшення попиту на продукцію з покращеними та екологічно безпечними якостями викликали необхідність розвитку нових технологій вилучення біологічно активних речовин (БАР) з рослинних матеріалів, що знаходять своє застосування в фармакології (зокрема, галенові препарати), косметології (екстракти олії та різноманітні комплексні препарати), харчової промисловості (природні барвники тощо). Особливий інтерес представляють екстракти БАР з властивостями природних пестицидів. Такі екстракти безпечні для навколишнього середовища та не чинять шкідливої дії на здоров'я людини, про що свідчать роботи Васіної А.Н., Сусідко П.І., Burges H.D. та інших авторів, які, своєю чергою, ґрунтуються на віковому досвіді виробників сільськогосподарської продукції. Обсяги рослинної сировини, які має Україна, практично необмежені і поновлювані, що свідчить про великий потенціал отримання цінних компонентів рослинних матеріалів. В той самий час існуючі методи екстрагування не дозволяють ефективно та раціонально проводити процес вилучення цільових компонентів, що зумовлює необхідність пошуку нових інтенсивних технологій. Перспективним методом інтенсифікації процесів перенесення теплоти і маси визнаний метод нагрівання у мікрохвильовому електромагнітному полі, у разі використання його у процесах екстрагування спостерігається прискорення і підвищення повноти екстракції біологічно активних речовин з рослинної сировини (Farid Chemat, Лукьянчук І.І., Бурдо О.Г., Mandal V.) та у багатьох випадках – зниження енергетичних витрат. Значне прискорення процесу екстрагування веде до зняття проблеми складування рослинних матеріалів та збереження їх якості, а також дозволить отримати за короткий час об'єм для промислового використання. Створенню ефективної мікрохвильової технології вилучення БАР з рослинних матеріалів та пристроїв для її реалізації заважає нестача даних стосовно оптимальних режимів та умов, що забезпечують інтенсифікацію тепломасоперенесення за збереження або покращення якості кінцевої продукції (екстрактів). Узагальнюючи вищевикладене, можна ствердити, що дослідження ефектів дії мікрохвильового поля на рослинні матеріали з метою інтенсифікації процесів тепломасоперенесення є *актуальними* в сучасних умовах розвитку ефективних за продуктивністю та енергетично доцільних технологій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Закону України «Про енергозбереження», затвердженого Постановою Верховної Ради України №74/94 01.07.1994 р.; «Основних положень енергетичної стратегії України на період до 2030 р.», прийнятих Кабінетом Міністрів України 15.03.2006 р.; Закону Кабінету Міністрів України № 148 від 5.02.97 р., що затвердила «Комплексну Державну Програму Енергозбереження». Робота виконувалась у рамках держбюджетної тематики кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв Одеської національної академії харчових технологій МК 09/13 «Створити та дослідити пілотну установку для МХ – конвективного сушіння зернових та олійних культур у

щільному рухомому шарі» (ДР №0109U000421), 2009-2010 рр.; МК 12/05 «Розробка нової енергозберігаючої технології сушіння зернових матеріалів із застосуванням мікрохвильового поля» (ДР №0112U000732), 2012-2014 р, МК 14/02 «Розробка методу отримання природних пестицидів з рослинних матеріалів при застосуванні мікрохвильового нагрівання» (ДР №114U000074), з 01.01.2014 по даний час.

Ця робота є продовженням і розвитком досліджень тепломасоперенесення у щільних дисперсних системах, що проводяться на кафедрі теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв (ТТТЕ) ОНАХТ.

Мета і завдання досліджень. *Метою дисертаційної роботи є обґрунтування і розвиток науково-технічних підходів до інтенсифікації процесів тепломасоперенесення у процесах екстрагування біологічно активних речовин з рослинних матеріалів під час дії мікрохвильового електромагнітного поля (МХ ЕМП).*

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі *завдання*:

1. Провести аналіз теоретичних і фізичних уявлень особливостей взаємодії МХ ЕМП з рослинними матеріалами як полярними діелектриками, визначити механізм перетворення енергії мікрохвильового поля у неоднорідних середовищах.

2. Дослідити експериментальним шляхом нагрівання діелектричних матеріалів різної природи та екстрагування речовин з рослинних матеріалів у широкому діапазоні змін фізичних параметрів.

3. Розробити математичні моделі перенесення теплоти та маси у рослинних матеріалах в умовах дії МХ ЕМП. Скласти аналітичні моделі розрахунку концентрації цільових компонентів під час екстрагування з тіл реальних розмірів.

4. Вивчити властивості екстрактів як біопестицидів на основі лабораторних, польових та біохімічних досліджень. Провести оцінку теплового ефекту дії МХ поля, визначити енергетичну доцільність екстрагування з застосуванням мікрохвильової енергії.

5. Провести аналіз емпіричних та теоретичних даних та визначити умови, що призводять до інтенсифікації тепломасоперенесення і підвищення енергоефективності використання енергії мікрохвильового поля. Створити індивідуальних методів екстрагування БАР з рослинних матеріалів цільового призначення.

6. Розробити мікрохвильовий екстрактор безперервної дії, розрахований на впровадження отриманих методів екстрагування з рослинних матеріалів різного виду з застосуванням енергії мікрохвильового поля.

Об'єкт дослідження – процес екстрагування біологічно активних речовин з рослинних матеріалів за дії мікрохвильового поля.

Предмет дослідження – характеристики процесу перенесення теплоти та маси у рослинних матеріалах за перетворенням енергії мікрохвильового поля у внутрішню енергію.

Методи досліджень – експериментальні дослідження та математичне моделювання процесів нагрівання матеріалів з властивостями полярних діелектриків

та екстрагування біологічно активних речовин (цільових компонентів) за дії мікрохвильового електромагнітного поля, методи статистичного і кореляційного аналізу експериментальних даних; методи обчислювальної математики, алгоритмізації розрахунків і програмування з використанням програм, розроблених в системі «MathCad».

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше визначено, що для інтенсифікації виходу термостабільних БАР з рослинних матеріалів в умовах дії МХ поля варто на першому етапі здійснити обробку матеріалу без екстрагенту зі швидкістю, що забезпечує розриви у системі рослинних судин, а на другому – екстрагент додавати до підготовленого матеріалу і далі здійснювати безпосередньо процес екстрагування.

2. Вперше отримана математична модель масоперенесення з тіл сферичної форми з урахуванням масовіддачі з поверхні в умовах дії внутрішніх джерел теплоти, яка дозволяє визначати відносну концентрацію цільового компоненту в матеріалі в процесі екстрагування.

3. Вперше запропонований метод стабільності потоку маси, використання якого дозволяє перейти від розрахунків кінетики екстрагування з тіл класичної форми до тіл з реальною формою поверхні.

4. Вперше отримана математична модель в явному вигляді для розрахунку середньої температури діелектричного матеріалу за його нагрівання у мікрохвильовому полі для граничних умов III роду, яка дозволяє з допустимою похибкою визначати температуру залежно від експозиції, питомої потужності внутрішніх джерел та фізичних характеристик тіла.

5. Вдосконалено підходи до методологічного забезпечення екстрагування БАР з рослинних матеріалів різного виду за використання енергії МХ поля та до конструювання мікрохвильових пристроїв, що забезпечують ефективне вилучення цільових компонентів.

Обґрунтованість і достовірність результатів дослідження підтверджується:

- використанням фундаментальних положень процесу перетворення енергії мікрохвильового поля у внутрішню енергію тіл, що володіють властивостями полярних діелектриків (зокрема рослинні матеріали);

- масштабністю комплексних експериментальних досліджень, що проводились на спеціалізованих лабораторних установках при використанні сучасної вимірювальної техніки, їх повторювальністю і передбачуваністю на основі отриманих висновків, натурних спостережень ефектів дії мікрохвильових екстрактів БАР з пестицидними властивостями;

- математичними дослідженнями та їх співставленням з даними експериментів з дослідження екстрагування речовин з рослинних матеріалів, які демонструють задовільну збіжність результатів.

Наукова значимість отриманих результатів:

1. Сформовані фізичні уявлення щодо особливостей ефектів взаємодії мікрохвильового поля з рослинним матеріалом, який характеризується суттєвою

неоднорідністю діелектричних властивостей, дозволили визначити умови інтенсифікації процесів тепломасоперенесення та прогнозувати розвиток зміни внутрішньої структури тіла.

2. Створена математична модель вилучення цільового компоненту (ЦК) з матеріалу сферичної форми, яка доповнює існуючі на даний час моделі для тіл класичної форми (пластина, циліндр) та дозволяє розрахунковим шляхом проводити порівняльний аналіз кінетики екстрагування.

3. Розроблена на підставі методу стабільності потоку маси модель екстрагування описує процес вилучення цільового компоненту з тіл реальної форми та дозволяє проводити дослідження теоретичним шляхом.

4. Аналітична модель розрахунку температури матеріалу з властивостями полярного діелектрика дозволяє з високим ступенем точності отримувати дані завдяки розрахунково-кількісному експерименту.

Практична цінність роботи. Розроблені як результат комплексних аналітичних та експериментальних досліджень методи отримання екстрактів з рослинних матеріалів, що містять біологічно активні речовини пестицидної дії, представляють цінність для використання в агропромисловому комплексі як альтернатива пестицидам хімічної природи. Сконструйовані мікрохвильові установки для оброблення рослинного матеріалу дозволяють впроваджувати на практиці мікрохвильові технології (зокрема, екстрагування та сушіння) для інтенсивного та енергоефективного вилучення біологічно активних речовин, які потрібні для розвитку виробництв агропромислової продукції.

Особистий внесок здобувача. Сформульовано наукові уявлення про процес екстрагування в умовах дії мікрохвильового поля, розроблена програма експериментальних досліджень процесу вилучення біологічно активних речовин з різних рослинних матеріалів. Проведені експерименти з різними видами рослинних матеріалів для визначення ефективності екстрагування БАР у мікрохвильовому полі. Отримана математична модель процесу виходу цільового компонента з матеріалу в екстрагент за дії внутрішніх джерел, що дозволила проводити оцінку концентрації речовини у матеріалі для тіл класичної та реальної форми. Запропоновано метод стабільності потоку маси, верифікований аналітичними дослідженнями. Проведено аналіз результатів експериментів і математичне оброблення даних, виконані варіаційні розрахунки за отриманими аналітичними залежностями та їх аналіз, розрахунок конструктивних параметрів установки, формування висновків і пропозицій.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на конференціях і семінарах: XV міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енергетики і екології» (Одеса, 2013), XI Міжнародній науково-практичній конференції «Торгово-економічні проблеми регіонального бізнес - простору» (Челябінськ, 2013), XIX Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал української науки -XXI сторіччя» (Запоріжжя, 2013), IX міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні питання біологічної фізики та хімії БФФХ» (Севастополь, 2013), VII

Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді», II міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми фізики, хімії, біології ФізХімБіо» (Севастополь, 2013), 74-й науковій конференції науково-викладацького та наукового складу академії (Одеса, 2014), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку медичної науки та медичної практики» (Львов, 2014), I Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів з міжнародною участю «Сучасні проблеми викладання та наукових досліджень біології в ВУЗах України» (Дніпропетровськ, 2014). XV всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених (Одеса, 2015), 75-й науковій конференції науково-викладацького та наукового складу академії (Одеса, 2015)

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 14 статтях, опублікованих у наукових виданнях, які відповідають вимогам ДАК МОН України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, у тому числі 1 стаття у закордонному виданні, та отримано 1 патент.

Об'єм і структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури, що складається з 157 джерел, і чотирьох додатків. Робота викладена на 147 сторінках друкованого тексту основної частини, включаючи 48 рисунків та 19 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведена загальна характеристика дисертації, в якій обґрунтовано актуальність роботи, наведено мету, об'єкт та предмет дослідження, вказані наукові результати, наукове та практичне значення отриманих результатів, відомості щодо апробацій та публікацій, а також інформація щодо структури, змісту та обсягу дисертації.

У **першому розділі** «Теоретичні основи процесу екстрагування з рослинних матеріалів в умовах дії мікрохвильового поля» окреслені основні етапи розвитку досліджень за проблемою інтенсифікації процесів перенесення теплоти та маси у методах екстрагування (Chemat F., 2013; M. Letellier, 1999; LijunWang, 2006; Лук'яничук І.І, 2009 та ін.), наведений аналітичний огляд наукових робіт стосовно основних та додаткових науково-технічних проблем, що виникають за розроблення методів термообробки рослинних матеріалів у МХ полі (Рогов І.А., 1984; Сапунов Г.С., 2003). Проаналізовані існуючі кінетичні закономірності та математичні моделі процесу екстрагування з рослинного матеріалу (Аксельруд Г.А., 1974; Лисянський В.М., 1987; Іванов Н.Н., 2006). Розглядаються роботи, пов'язані з дослідженням ефектів взаємодії мікрохвильового електромагнітного поля з полярними діелектриками, зокрема рослинними матеріалами, з особливостями поглинання мікрохвильової енергії (Дем'янчук, Б.А., 2004; LijunWang, 2011 та ін.), а також здійснений аналіз існуючих методів екстрагування (Букеєва А.Б., 2013; Lijun Wan,

2006 та ін.). Вивчені роботи щодо математичного моделювання переносу теплоти та вологи з тіл класичної форми (Ликов А.В., 1967; Белобородов В.В., 1999; Плюха С.Ю., 2012) проведені аналіз наукових праць, що присвячені визначенню коефіцієнтів дифузії та масовіддачі. На основі проведеного аналізу обґрунтований вибір об'єктів досліджень та сформовані завдання роботи.

У другому розділі «Математичний аналіз процесу екстрагування БАР з рослинних матеріалів» наведені математичні моделі, складені для теоретичного дослідження процесу екстрагування у мікрохвильовому полі. Ґрунтуючись на фізичній моделі дії МХ поля на рослинний матеріал, в основі якої лежать уявлення щодо особливостей поглинання мікрохвильової енергії діелектричним матеріалом, розвитком полів температури, вологовмісту та тиску, визначена необхідність складання комплексу взаємопов'язаних аналітичних моделей, послідовне використання яких дозволяє отримати дані по кінетиці екстрагування розрахунковим шляхом. Процеси перенесення теплоти і маси у матеріалі залежать від його температури, значення якої визначає ефективність дифузійного перенесення у структурі тіла, а також лімітує рівень нагрівання внаслідок того, що не всі БАР є термостабільними речовинами. З метою визначення середньої температури матеріалу за мікрохвильового нагрівання була розроблена власна математична модель, яка в диференційному вигляді подана рівнянням (1) і початковою умовою (2):

$$\rho c \frac{d\bar{t}}{d\tau} = \alpha (\bar{t} - t_{н.с}) \frac{F}{V} + q_v, \text{ Вт/м}^3, \quad (1)$$

$$\bar{t}|_{\tau=0} = t_{н.с}, \text{ } ^\circ\text{С}, \quad (2)$$

де ρ – густина матеріалу тіла, кг/м³; c – його теплоємність, Дж/(кг·К); $\bar{t}$ – середня температура тіла, $^\circ\text{С}$; τ – час, с; α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні тіла до навколишнього середовища, Вт/(м²·К); V – об'єм, займаний матеріалом, м³; $t_{н.с}$ – температура навколишнього середовища, $^\circ\text{С}$; F – площа поверхні тіла, м²; q_v – напруженість внутрішнього джерела теплоти, зумовлена дією МХ поля, Вт/м³.

У рівнянні (1) член $\alpha \cdot (\bar{t} - t_{н.с}) \cdot \frac{F}{V}$ враховує витрати теплоти від поверхні тіла. Прийнято, що у тілі діє джерело теплоти (мікрохвильове поле), теплонапруженість якого залежить від часу в експонентній формі: $q_v = q_{v_0} \cdot e^{-\gamma_1 \tau}$, Вт/м³, де $q_{v_0} = P_{\text{вих}} \cdot \eta_{\kappa} / V$ – максимальна питома теплонапруженість джерела, зумовлена генератором мікрохвильової енергії, Вт/м³; $P_{\text{вих}}$ – потужність генератора мікрохвильової енергії, Вт; η_{κ} – коефіцієнт корисної дії мікрохвильової камери; γ_1 – коефіцієнт ослаблення електромагнітної енергії у матеріалі, 1/с.

Розв'язування рівняння (1) призвело до отримання залежності, представленій у вигляді (3):

$$\bar{t} = \frac{q_{v_0}}{\frac{\alpha \cdot F}{V} - \gamma_1 \cdot \rho \cdot c} \cdot (e^{-\gamma_1 \tau} - e^{-\alpha F \tau / \rho c V}) + t_{n.c}, \quad ^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Залежність (3) дозволяє розрахувати середню температуру матеріалу з урахуванням тепловіддачі за нестационарного нагрівання у МХ полі. Недоліком отриманої залежності (3) є те, що під час розрахунків температури води, спирту, пропіленгліколю внаслідок малої глибини проникнення електромагнітної енергії зміна температури по товщині буде суттєвою і середнє її значення не завжди є показовою величиною. Однак, для рослинних матеріалів, глибина проникнення яких досягає 3 см та вище (залежно від вологовмісту та виду матеріалу) та за одночасного перенесення теплоти всередині матеріалу теплопровідністю та тепловіддачею з поверхні, спостерігається вирівнювання температури центру та поверхні, що дозволяє використовувати залежність (1) для розрахунків температури мікрохвильового нагрівання.

У табл. 1 наведені дані з МХ нагрівання, отримані розрахунком та експериментально. Дані свідчать про задовільну збіжність результатів експерименту та розрахунку.

Таблиця 1

Нагрівання матеріалів у мікрохвильовому полі: співставлення

розрахункових і експериментальних даних. $\bar{t}_0 = 22$ **оС**

№ п/п	τ , с	Вода, $q_{v_0} = 5,6 \cdot 10^5$ Вт/м ³		Зерно, W=25 %, $q_{v_0} = 7,2 \cdot 10^5$ Вт/м ³		Солома, W=75% $q_{v_0} = 4,2 \cdot 10^5$ Вт/м ³	
		$\bar{t}_{\text{розн}}$, °С	$\bar{t}_{\text{експ}}$, °С	$\bar{t}_{\text{розн}}$, °С	$\bar{t}_{\text{експ}}$, °С	$\bar{t}_{\text{розн}}$, °С	$\bar{t}_{\text{експ}}$, °С
1	30	25,86	31,1	37,39	53,4	—	—
2	60	29,71	33,5	52,63	65,6	37,05	49
3	90	33,53	37,2	67,71	81	—	—
4	120	37,33	40,9	82,64	90,7	52,01	61
5	150	41,10	46,7	97,41	102,6	—	—
6	180	44,86	48,9	112,04	113,2	66,86	75
7	210	48,60	52,8	—	—	—	—
8	240	52,31	55,6	—	—	81,63	84
9	270	56,01	57,2	—	—	—	—
10	300	59,68	60,2	—	—	94,31	96

Математична модель перенесення маси цільового компоненту (ЦК), який може бути як єдиною цільовою речовиною, зокрема, з якостями БАР, так і одним з компонентів БАР, у диференційному виді подана залежністю (4) і початковими і граничними умовами (5) – (6).

Диференційне рівняння дифузійного витягу ЦК із частки у формі кулі для симетричного завдання:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial r^2}, \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{с)} \quad (4)$$

Початкові і граничні умови:

$$\begin{aligned} \tau=0 ; \quad C=C_0 ; \quad \bar{C}=const ; \quad C=f(r) ; \\ -\frac{D}{C-\bar{C}} \left(\frac{\partial C}{\partial r} \right)_{r=R} = \beta, \text{ м/с;} \quad \frac{\partial C(0, \tau)}{\partial r} = 0 ; \quad C(0, \tau) \neq \infty, \end{aligned} \quad (5)$$

де r – поточний радіус сфери, м; R – радіус сфери, м; $0 \leq r \leq R$; C – поточна концентрація ЦК у сферичній частинці, кг/м³; C_0 – початкова концентрація ЦК у частинці, кг/м³; $\bar{C}$ – середня концентрація ЦК у екстрагенті, кг/м³; D – коефіцієнт дифузії, м²/с; β – коефіцієнт масовіддачі, м/с.

Розв’язання диференційного рівняння (4) за умов (5)-(6), отримане за використання методу відокремлення змінних, подане рівнянням (7):

$$\frac{C-\bar{C}}{C_0-\bar{C}} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n - \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n} \cdot \frac{R}{r} \cdot \frac{\sin \left(\mu_n \cdot \frac{r}{R} \right)}{\mu_n} \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo_D}, \quad (7)$$

де $Fo_D = \frac{D \cdot \tau}{R^2}$ – дифузійне число Фур’є; μ_n – характеристичні числа.

Рівняння (7) дозволяє знайти розподілення концентрацій ЦК у довільний момент часу та у довільній точці по радіусу сфери r . На рис. 1 наведені дані розрахунку відносних концентрацій (відношення поточної концентрації до початкової: C/C_0) ЦК у сфері, отримані для різних R за умови $\bar{C}=0$.

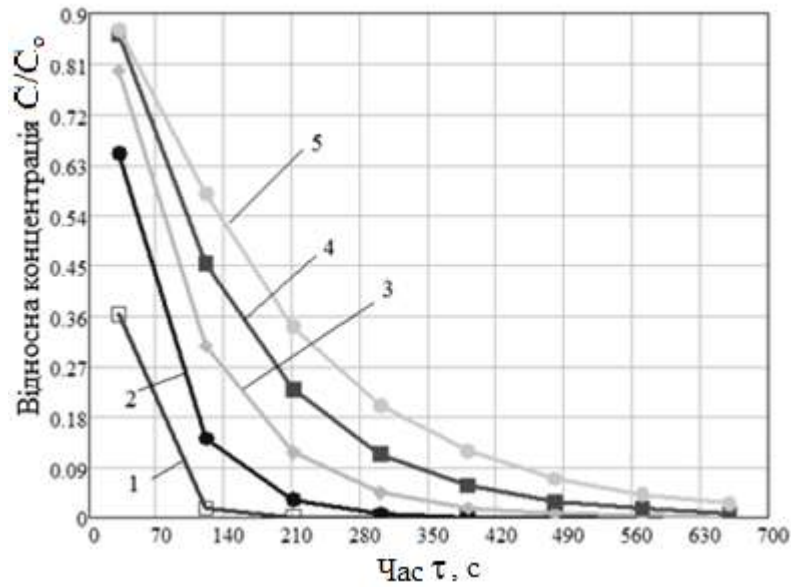


Рис. 1. Кінетика екстрагування цільового компонента (олії)

за різних значень радіусу сферичної частинки R :

1 – $R=2$ мм; 2 – $R=4$ мм; 3 – $R=6$ мм; 4 – $R=8$ мм; 5 – $R=10$ мм;

$\beta=2,5 \cdot 10^{-5}$ м/с; $D=2,0 \cdot 10^{-7}$ м²/с

Розрахункове дослідження впливу коефіцієнта масовіддачі та коефіцієнта дифузії свідчить про відповідність математичної моделі масоперенесення реальному процесу (рис. 2, рис. 3).

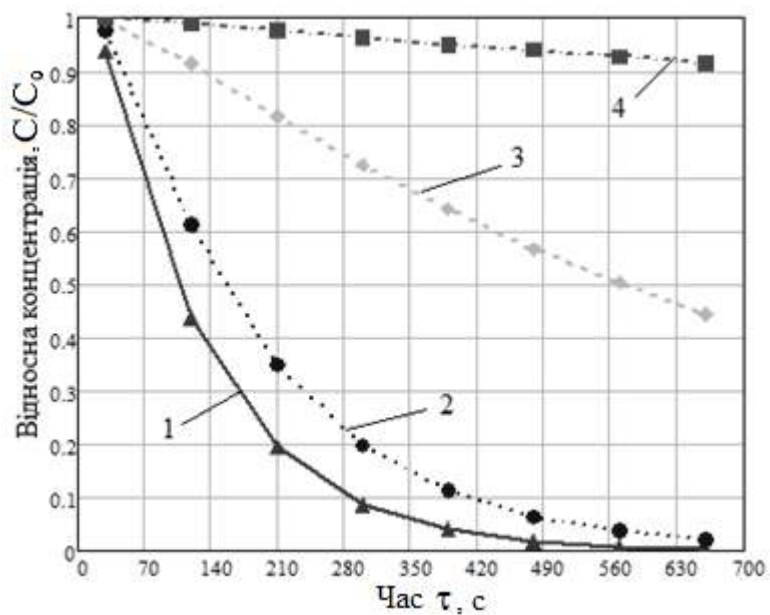


Рис. 2. Кінетика екстрагування цільового компонента (олії)

за різних значень коефіцієнта масовіддачі β :

$$1 - \beta = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}; 2 - \beta = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}; 3 - \beta = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}, \\ 4 - \beta = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}; D = 2,38 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}; R = 5 \text{ мм}$$

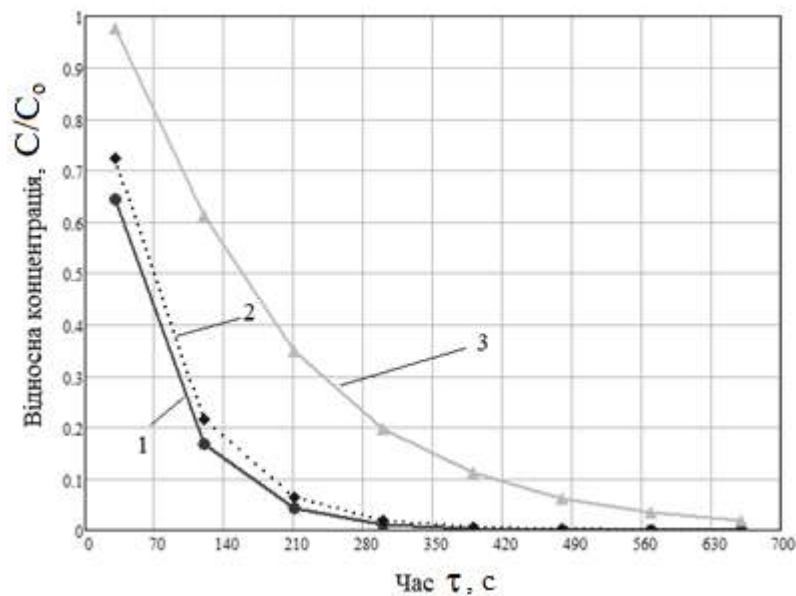


Рис. 3. Кінетика екстрагування цільового компоненту (олії)

за різних значень коефіцієнта дифузії D :

$$1 - D = 2,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; 2 - D = 2,38 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}; 3 - D = 2,38 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \beta = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}; R = 5 \text{ мм}$$

Наведена модель доповнює існуючі моделі, що отримані для класичних тіл, однак у загальному вигляді не може бути рекомендована для тіл реальних розмірів. У роботі пропонується метод стабільності потоку маси, основу якого становить особлива властивість поля концентрацій, завдяки якому складне тривимірне поле реальних тіл можна наближено знайти за формулами для одного із класичних тіл. Обґрунтуванням для застосування даного методу є аналогія процесів тепло- та масоперенесення.

Відповідно до принципу стабільності потоки, що проходять через поверхні реального та класичного тіла одного класу, є рівними.

Розрахунок процесу екстрагування ЦК з матеріалу довільної форми пропонується вести за формулами для тіл відповідного класу, разом з тим у

дифузійне число Біо Bi_D варто підставляти $\beta_0 = \beta \cdot \frac{F}{F_0} = \beta \cdot \chi$, а не істинне значення β :

$Bi_D = \frac{\beta_0 \cdot l_0}{D}$, де F – площа поверхні реального тіла, F_0 – площа основного (класичного) тіла, χ – коефіцієнт форми, l_0 – характерний розмір тіла. Для тіл третього класу (визначальні розміри співставні за трьома координатними осями)

$l_0 = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$, де V – об'єм реального тіла.

У табл. 2 наведені результати розрахунків відносної концентрації, отримані для класичної сфери та для тіла, форма якого близька до кубу. Дана форма була обрана для співставлення тому, що за подрібнення рослинного матеріалу форма часток у ряді випадків наближається до кубічної.

Таблиця 2

Радіус класичного тіла, мм	Визначальний розмір (тіло III кл), мм	C_{κ}	$\frac{C_{ш}}{C_0}$	C_{κ}	$\frac{C_{\kappa}}{C_0}$	δ
2	1,241	0,000094 5	0,000630 0	0.000425 2	0,0028345	77,78
4	2,482	0,004579 6	0,030530 8	0.009351 4	0,0623424	51,03
6	3,723	0,017425 5	0,116169 9	0.026506 8	0,1767123	29,44
8	4,964	0,034054 1	0,227027 4	0.045018 4	0,3001224	24,36
10	6,205	0,051183 3	0,341221 7	0.062176 4	0,4145090	17,68
δ - відносна похибка, %, $C_{ш}$ - абсолютна концентрація для частинки сферичної форми, C_{κ} - абсолютна концентрація для частинки реальної форми						

Порівняльна оцінка концентрації ЦК частинок класичної форми і реальної форми. Час витримки $\tau=210$ с; $\beta=2,5 \cdot 10^{-5}$ м/с; $D=2,0 \cdot 10^{-7}$ м²/с

Співставлення результатів розрахунків з експериментальними даними свідчать про задовільний збіг, що дозволило зробити позитивний висновок щодо коректності розроблених у роботі математичних моделей.

У **третьому розділі** «Експериментальне дослідження взаємодії мікрохвильового поля з рослинним матеріалом» наведені результати експериментальних досліджень процесу витягу активних компонентів за умов дії мікрохвильового поля. Експериментальна установка з вимірювальною апаратурою наведена на рис. 4.

Метою експериментів була оцінка дії екстрактів з рослинних матеріалів, отриманих із застосуванням енергії мікрохвильового поля, в якості біопестицидів, визначення оптимальних умов для вилучення БАР та складання методологічних основ екстрагування за застосування енергії МХ поля. Для оцінки умов інтенсифікації процесу вилучення БАР та енергоефективності мікрохвильового методу в дослідженнях використовувався як свіжий матеріал, так і висушений до

рівноважного стану; розчинником були використані: вода, пропіленгліколь, масло, спирт. Проте, при проведенні польових випробувань було отримано, що обробка рослин екстрактами на основі пропіленгліколю призводить до їх псування і загибелі, очевидно, у зв'язку з гігроскопічними властивостями цієї рідини.



а)



б)

Рис. 4. Робоча камера мікрохвильової лабораторної установки зі зразками до екстрагування (а) та аналітичні ваги (б).

Досліджені види сировини можуть бути систематизовані за доцільності використання методу мікрохвильового екстрагування для вилучення БАР:

1 - застосування МХ методу недоцільно: екстракти перцю червоного, айру, ромашки, не проявили якості біопестицидів;

2 - застосування МХ методу не показали перевагу над традиційним: екстракти деревію, чистотілу, бадилля картоплі, тютюну, айру;

2 - застосування МХ методу раціонально: екстракти лушпиння цибулі, часнику, молокану дикого, молочаю прутевидного, хвої, березової берести. У табл. 3 наведені окремі експерименти з визначенням енергетичної ефективності мікрохвильового методу в порівнянні з традиційним. Експерименти свідчать, що для ряду досліджених рослинних матеріалів (табл.3) суттєво знижується тривалість отримання екстрактів та значно підвищується енергоефективність.

Таблиця 3

Енергетична ефективність екстрагування в умовах дії мікрохвильового поля. Питомі теплові витрати - $Q_{\text{витр}}$, МДж/кг,

τ_n - час нагрівання, τ_{Σ} - загальний час приготування екстракту

№	Рослинний	Екстрагування в МХ полі	Традиційний метод	$\frac{Q_{\text{трад}}}{Q_{\text{витр}}^{\text{МВ}}}$
	й			

	матеріал	$P_{вих},$ Вт	τ_n, c	$Q_{випр}^{MB}$	τ_{Σ}	τ_n	$Q_{випр}^{трад}$	τ_{Σ}	
1	Лушпинн я цибулі	90	30	0,044	5 год	360 с	0,69	4-5 дн	16
2	Хвоя	360	30	0,18	0,5 год	1020 с	0,69	6 год	3,8
3	Молочай	600	300	0,18	480 с	4 год	4,07	4 год	22,6
4	Молокан дикий	600	180	0,18	0,5 год	1 год	-	1 год	-
5	Полин	90	180	0,27	3 год	360 с	0,69	24 год	2,6

Енергетична ефективність екстрагування БАР з ряду рослинних матеріалів (зокрема, хвої, лушпиння цибулі, полину, молочая прутевидного) із застосуванням енергії МХ поля вище в порівнянні з традиційною технологією в 3,8 (хвоя) - 22,6 (молочай) разів. Інтенсивність вилучення біологічно активних речовин може бути істотно збільшена із застосуванням мікрохвильового методу. Так, швидкість збільшується в 12 разів для хвої та 48 разів для молочая прутевидного у порівнянні з традиційною технологією.

Дія екстрактів з рослинних матеріалів, наведених у табл. 3, отриманих із застосуванням енергії мікрохвильового поля, перевірялася у польових умовах, і показало високу ефективність цих екстрактів в якості біопестицидів, однак кожний рослинний матеріал вимагає спеціального вивчення з метою визначення оптимальних режимів оброблення, на що було акцентовано увагу у роботі. Як приклад, на рис. 5 наведені фото гілок акації, уражених попелицею. Після оброблення мікрохвильовим екстрактом чистотілу попелиця практично зникла.

Виявлено, що ефективність одержуваних екстрактів лімітується температурою та визначається тривалістю знаходження у мікрохвильовій камері. Особливо чутливо ставляться до температури екстракти часнику та молокану дикого, і в той самий час ці екстракти виявили себе як найефективніші в якості засобів захисту рослин. Часник має фунгіцидну і бактерицидну дію завдяки аліцину, що утворюється з алііну під час руйнування клітин часнику. Аліцин досить стійкий за кімнатної температури й швидко руйнується під час нагрівання. Найефективніші – масляні екстракти, однак для ушкоджених інфекцією листя рослин такі екстракти не завжди допустимі. Так, для енотери, ураженою борошнистою росою (грибкове захворювання), внаслідок неоднорідної поверхні, оброблення призвело до видужання рослини за збереження її якості. За оброблення листя винограду, поверхня якого була гладка, борошниста роса знищувалася, однак через якийсь час листя жовтіли та засихали, що пов'язане з перекриттям устячок маслом. Для широкого застосування проти грибкових хвороб рослин (борошнистої роси, бурой гнилизни, плямистості листя, паршею, іржею) і комах-шкідників (капустяної молі, щипавки, блошки, комарів, попелиці, клопів) раціонально використовувати водні

екстракти часнику, отримані із застосуванням визначеного мікрохвильового методу, при цьому оптимальний темп нагрівання становить 0,05 К/с.



а)



б)

Рис. 5. Перевірка дії екстракту чистотілу на гілках акації, уражених попелицею:

а – до оброблення; б – через добу після оброблення

Особливий інтерес для досліджень представляв дикий латук (*Lactucavirosa*). Відкриття дії дикого латуга належить І.В. Мічуріну, що запропонував використовувати водний настій проти іржі троянд. Витяг комплексу БАР у водяний розчин посилюється із застосуванням розробленого мікрохвильового методу та відкриває можливість використання проти інших видів хвороб рослин, про що свідчать випробування екстрактів. Оптимальний темп нагрівання для одержання ефективного екстракту становить 0,8 К/с. Біологічно активні речовини з лушпайки цибулі, полині, корневищ лепехи, квіток і стебел деревію менш чутливі до температури. Для одержання екстрактів з них оптимальний темп нагрівання становить 0,5-1,3 К/с.

Ефективність екстрактів хвої сосни в якості біопестицидів була доведена проведенням дослідів з пліснявим грибом. Результати досліджень наведені у табл. 4. Встановлено, що за екстрагування БАР в МХ полі відкривається можливість використання рослинних матеріалів у свіжому (не висушеному) стані. Традиційно застосовується попередньо висушена сировина, оскільки жива рослинна клітина не допускає вихід протоплазми у навколишнє середовище. За мікрохвильового оброблення плазматичні мембрани та плазмодесми перестають функціонувати, крім того, розвиток більших градієнтів тиску призводить до розриву клітинних стінок,

завдяки чому речовини, що втримуються у клітині, вільно виходять у міжклітинний простір і потім вільно розчиняються екстрагентом.

Таблиця 4

**Характеристики мікрохвильових екстрактів хвої.
Початкова температура матеріалу $t_0=18^{\circ}\text{C}$, маса
сировини - 1 г, екстрагент (вода) - 60 г.**

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8
τ , с	30	60	180	240	30	60	180	30
P , Вт	90	90	90	90	360	360	360	600
t_k , $^{\circ}\text{C}$	20,0	21,5	25,4	28,1	23,3	25,7	28,2	27,4
Темп нагрівання, $\Delta t / \tau$, К/с	0,07	0,06	0,041	0,042	0,176	0,128	0,057	0,31
Питомі теплові витрати, МДж/кг	0,044	0,089	0,266	0,354	0,177	0,354	1,063	0,295
Статистичні показники	Досліджувані екстракти з хвої сосни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Бали	++	++	++	+++	—	++	+	+++
Середній ранг	12,50	12,50	12,50	21,50	2,00	12,50	5,00	21,50
χ^2	23,00							
p	0,02							

p – рівень значимості, розрахований за непараметричним ранговим критерієм для множинних порівнянь Крускала – Уолліса χ^2 .

У четвертому розділі «Розробка мікрохвильової установки безперервної дії для екстрагування біологічно активних речовин» на підставі висновків, отриманих за теоретичних та експериментальних досліджень процесів перенесення теплоти та маси у рослинних матеріалах під дією електромагнітного поля мікрохвильової частоти, здійснено конструювання пілотної мікрохвильової установки для екстрагування, яка передбачає впровадження отриманих методів, що враховують індивідуальні якості рослинного матеріалу та вимоги до підтримання температурного рівня для забезпечення якості екстракту. Схемне рішення пілотної установки наведено на рис. 6. Проведена конструкторська проробка елементів установки, здійснений тепловий та гідравлічний розрахунок теплообмінника, який є елементом замкнутого контуру циркуляції екстрагенту з подрібненим рослинним матеріалом, та проаналізовані основні принципи підтримки теплового режиму магнетрону.

Принцип роботи установки такий. Подрібнений рослинний матеріал, змішаний з екстрагентом, через вентиль В заповнює замкнутий циркуляційний

контур. Робоча камера 3 є прямокутним хвилеводом, призначеним для передачі енергії від магнетрона до завантаження. По діагоналі даного хвилеводу проходить кварцева трубка, що є частиною циркуляційного контуру. Дисперсний розчин після проходження МХ камери надходить у теплообмінник, де він охолоджується, після чого повертається у робочу камеру. Повнота екстракції регулюється тривалістю знаходження дисперсного розчину і його витратою. Після завершення процесу суміш зливається в ємність через вентиль Д.

ЗОо

ПК

БЖМ

Б

БМ

2

В

Д

А

1

ТО

Рис. 7. Блок-схема пілотної мікрохвильової установки безперервної дії для екстрагування:

1 – насос; 2 – ємність для подачі суміші подрібненого матеріалу з екстрагентом; 3 – робоча камера; 4 – ємність для збирання екстракту; А, Б – вентилятор; В, Д – регулювальні вентиля; БМ – блок магнетрону; БЖМ – блок живлення магнетрона; ПК – пульт керування; ТО – теплообмінник.

Для забезпечення теплового режиму магнетрона в пілотній установці передбачена система повітряного охолодження, яка здійснюється вентилятором, що обдуває алюмінієві ребра, встановлені на анодному блоці, забезпечуючи зняття необхідного теплового навантаження. Теплообмінник, передбачений у схемі для охолодження рідини, розрахований на максимальне знімання теплоти та автоматичне регулювання витрати. Установка може бути використана для оброблення рідких сумішей. В якості теплоносія можуть використовуватися спиртові розчини, дистильована вода або водопровідна вода.

Впровадження розробленої пілотної установки дозволить здійснити вилучення біологічно активних речовин з рослинних часток в безперервному режимі в умовах дії мікрохвильового поля на заданому температурному рівні. Вихідна потужність магнетрону (частота генерації 2450 МГц) складає 1 кВт. Установка розрахована на

мікрохвильову обробку суміші екстрагента з рослинними частками з витратою, що регулюється, в діапазоні 0,015-0,03 кг/с.

ВИСНОВКИ

В дисертації наведено нові підходи до вирішення складної науково-практичної проблеми, пов'язаної з розробкою нових інтенсивних та енергоефективних методів екстрагування біологічно активних речовин в умовах дії мікрохвильового поля. Отримані в роботі наукові результати можуть розглядатися як основа для створення бази довідкових даних стосовно властивостей екстрактів як біопестицидів, застосовності наявних речовин в якості екстрагентів для мікрохвильових екстрактів та для систематизації рослинних матеріалів за ступеню ефективності мікрохвильових екстрактів на їх основі.

1. Встановлено, що інтенсифікація процесу тепломасоперенесення під час екстрагування з рослинних матеріалів з термостабільними БАР спостерігається за попередньої обробки сировини в мікрохвильовій камері, час якої залежить від типу матеріалу та його вологовмісту, та подальшої витримки в екстрагенті при дії МХ поля.

2. Досліджені види сировини підлягають наступній розбивці по доцільності використання методу мікрохвильового екстрагування для витягу БАР з властивостями біопестицидів: 1 - застосування МХ методу недоцільно (екстракти перцю червоного, лепехи, ромашки, не виявили якості біопестицидів), 2 - застосування МХ методу не показують перевагу над традиційним (екстракти деревію, чистотілу, бадилля картоплі, тютюну, лепехи), 3 - застосування МХ методу раціонально (екстракти лушпайки цибулі, часнику, молокану дикого, молочаю прутевидного, хвої).

3. Енергетична ефективність екстрагування БАР з ряду рослинних матеріалів (зокрема, хвої, лушпайки цибулі, полині, молочаю прутевидного) із застосуванням енергії МХ поля вище в порівнянні із традиційною технологією в 3,8 (хвоя) - 22,6 (молочай) разів.

4. Встановлено, що інтенсивність витягу біологічно активних речовин може бути суттєво збільшена із застосуванням мікрохвильового методу. Так, швидкість витягу збільшується в 12 разів (хвоя) - 48 (молочай прутевидний) разів у порівнянні з традиційною технологією.

5. Доведено, що запропонована залежність для розрахунку середньої температури матеріалу за його нагрівання у мікрохвильовому полі задовільно описує відповідні експериментальні дані. Так, найбільша похибка для води у діапазоні її нагрівання від 22 до 62°C становить від 17 % (для початкової стадії нагрівання) до 0,8% (при кінцевій).

6. Запропоновано метод стабільності потоку маси для розрахунків концентрації ЦК у матеріалі за переходу від тіл класичної форми до реальних тіл, який використовує особливу властивість поля концентрації, завдяки якому поле реальних тіл можна знайти за формулами для одного з класичних тіл.

7. Встановлено, що у рамках тіл одного класу характер кривих кінетики екстрагування не змінюється, але вплив на вихід ЦК є суттєвим: так, для тіл III класу за $\tau=140$ с, $l_0=6,2$ мм відхилення становить 58%, причому швидкість вилучення цільового компонента більша для тіла з реальною формою поверхні.

8. Доведено, що кінетика виходу ЦК з рослинних матеріалів, які подрібненні до рекомендованих форми та розміру, задовільно визначається за запропонованою математичною моделлю, що ґрунтується на методі стабільності потоку маси. Відхилення значення концентрації олії, отриманої експериментально, від розрахункового становить 17 %. Область застосування отриманих залежностей обмежується малими значеннями дифузійного числа Фур'є: так, за $Fo_D < 0,03$ розрахункові значення перестають відповідати реальному процесу виходу потоку маси цільового компоненту.

9. Встановлено, що основна відмінність мікрохвильового екстрагування від екстрагування, що передбачає традиційне нагрівання, полягає в інтенсивному об'ємному нагріванні та підвищенні коефіцієнтів дифузії D внаслідок руйнування твердих рослинних оболонок. Розрахунки свідчать, що за екстрагування у МХ полі діапазон зміни D відповідає $10^{-6} \dots 10^{-9}$ м²/с залежно від швидкості нагрівання, температури, типу матеріалу та його попередньої підготовки.

10. Розроблені установки для мікрохвильової обробки рослинного матеріалу з системами рідинного та повітряного охолодження магнетронів дозволяють реалізувати на практиці рекомендації щодо інтенсифікації процесів перенесення і підвищення енергоефективності та здійснити процес екстрагування БАР відповідно методам, що передбачають вид матеріалу та встановлені оптимальні параметри.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті, в яких опублікуванні основні результати дисертації

1. Бошкова, И.Л. Получение биологически активных веществ с применением микроволнового поля и оценка их эффективности [Текст] // И.Л. Бошкова, Е.В. Георгиеш, С.Г. Коломийчук // Актуальні проблеми енергетики і екології: Сб. науч. труд. международно – технической конференции, 9-11 октября 2013 г. – Одесса: Изд. ОНАПТ, 2013. – С. 139-143. *Дисертанту належить проведення експериментів.*

2. Коломийчук, С.Г. Використання біологічних тестів для оцінки ефективності мікрохвильового екстрагування біологічно активних речовин [Текст] / С.Г. Коломийчук, И.Л. Бошкова, Т.В. Коломийчук, К.В. Георгієш // Аграрний вісник Причорномор'я. Біологічні науки: Зб. наук. праць. – Одеса: ОДАУ, 2013. – Вип.70. – С. 50-55. *Дисертанту належить участь у проведенні тестування та аналіз даних.*

3. Бошкова, И.Л. Измерение диэлектрических характеристик растительных материалов [Текст] / И.Л. Бошкова, Т.Ю. Дементьева, Е.В. Георгиеш, С.Н. Колобков // Холодильна техніка та технологія. – Одеса: ОНАХТ, 2013. – Вип.2. – С. 28-31. *Дисертанту належить аналіз проведення вимірів діелектричних властивостей соломки та зерна.*

4. Бошкова, И.Л. Аналитические модели расчета температуры в материале при действии внутренних источников теплоты [Текст] / И.Л. Бошкова, Е.В. Георгиеш // Актуальні проблеми енергетики та екології. Збірник наукових праць. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – Вып. 45. – Т.1. – С. 33-38. *Дисертанту належить формулювання ідеї роботи, напрямків досліджень та аналіз розрахункових температур.*

5. Бошкова, И.Л. Математические модели теплопереноса в движущемся плотном слое при микроволново–конвективном и микроволновом нагреве [Текст] / И.Л. Бошкова, Е.В. Георгиеш, Н.А. Колесниченко // Харчова наука і технологія: Наук.-вир. журн. О.: ОНАПТ, 2013. – Вип. №4. – С. 143-148. *Дисертанту належать варіантні розрахунки теплопереносу в рухомому щільному шарі при мікрохвильовому нагріві.*

6. Георгієш, К.В. Метод стабільності потоку маси в розрахунках процесу екстрагування [Текст] / К.В. Георгієш // «Східно-Європейський журнал передових технологій». – Харків, 2015. – Вип 3/10. – Т. 75. – С. 4-9. *Дисертанту належать варіантні розрахунки концентрації для класичного тіла та тіла неправильної форми та аналіз отриманих даних*

7. Георгієш, К.В. Мікрохвильова установка для екстрагування з рослинних матеріалів [Текст] / К.В. Георгієш // XV Всеукраїнська науково – технічна конференція молодих учених та студентів: Збірник наукових праць. – Одеса: ОНАХТ, 2015.–С. 146-147. *Дисертанту належить схемне рішення установки для екстрагування з рослинних матеріалів.*

Публікації апробаційного характеру

1. Бошкова, И.Л. Исследование процессов микроволнового экстрагирования [Текст] / И.Л. Бошкова, Е.В. Георгиеш, С.Г. Коломийчук //Актуальні питання біологічної фізики та хімії: матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції БФФХ – 2013р. – Севастополь: СевНТУ, 2013. - С.110-112. *Дисертанту належить складання розрахункових програм та аналіз даних.*

2. Коломийчук, С.Г. Социально-экологические проблемы применения пестицидов и пути их решения. Медико-биологический аспект [Текст] / С.Г. Коломийчук, И.Л. Бошкова, Т.В. Коломийчук, Е.В. Георгиеш // Сучасні проблеми фізики, хімії та біології: матеріали ІІ Міжнародної науково-наукової конференції, 27-29 листопада 2013 р. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 129-132. *Дисертанту належить проведення експериментів по екстрагуванню біологічно активних речовин з плодівих тіл Шії-таке та обговоренні результатів та визначенню антиокислювальної дії екстрактів на гризунах.*

3. Бошкова, И.Л. Перспективы применения микроволнового экстрагирования при производстве биопестицидов [Текст] / И.Л. Бошкова, Е. В. Георгиеш, С. Г. Коломийчук // Перспективні напрямки української науки: Збірник статей учасників 19 Всеукраїнської науково практичної конференції «Інноваційний потенціал української науки – 21 сторіччя». – Запоріжжя, 2013. – Том 2.- С. 3-4. *Дисертанту належить проведення випробування екстракту на рослинних матеріалах, аналіз отриманих даних.*

4. Георгиеш, Е.В. К оценке эффективности извлечения биологически активных веществ в микроволновом поле [Текст] / Е.В. Георгиеш // Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции. – Челябинск, 2013. – С. 317-320. *Дисертанту належить розробка схеми мікрохвильового екстрактора.*

5. Георгиеш, К.В. Фізіологічні аспекти дії біопестицидів на організм щурів [Текст] / К.В. Георгиеш, Н.С. Пинзар, О.С. Торопніна, Т.О. Хлюстіна, Т.В. Коломійчук, О.Я. Хлієва // Сучасні проблеми викладання та наукових досліджень біології у ВНЗ України: Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів з міжнародною участю. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 49-51. *Дисертанту належить проведення експериментів по екстрагуванню біологічно активних речовин.*

6. Бошкова, И.Л. Использование биопестицидов в сельском хозяйстве - путь к снижению антропогенной загрузки на агроэкосистемы [Текст] / Бошкова И.Л., Коломийчук Т.В., Коломийчук С.Г., Георгиеш Е.В., Хлиева О.Я., Пинзар Н.С., Торопнина О.С., Хлюстина Т.А. // Перспективні напрямки світової науки: Збірник статей учасників 27 Міжнародної наук.-практичної конференції «Іноваційний потенціал світової науки - XIX сторіччя». - Запоріжжя, 2014. - Том 2. - С. 5-7. *Дисертанту належить підготовка та проведення експерименту.*

7. Коломийчук, С.Г. Использование микроволновых технологий в фармации. Медицинский аспект [Текст] / Коломийчук С.Г., Бошкова И.Л., Е.В. Георгиеш // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку медичної науки та медичної практики». – Львів, 2014. – С. 105-108. *Дисертанту належить приготування екстрактів та проведення експерименту.*

Патенти

1. Пат. № 95739 України, F26B 17/12, P05B 6/64. Мікрохвильова конвективна сушарка для сипких матеріалів [Текст] / Бошкова І.Л., Георгиеш К.В., Дементьєва Т.Ю., Угольнікова Н.П. – u 201405855; заявл. 30.05.14; опубл. 12.01.2015, Бюл. №1. – 5 . *Дисертанту належить схемне рішення мікрохвильової сушарки з рідинним охолодженням блоків магнетронів.*

АНОТАЦІЯ

Георгиеш К.В. Інтенсифікація процесу тепломасопереносу при екстрагуванні біологічно активних речовин з рослинних матеріалів в умовах дії мікрохвильового поля: – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика". – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2015.

У дисертаційній роботі на підставі експериментальних та теоретичних досліджень обґрунтовані умови інтенсифікації вилучення біологічно активних речовин з рослинних матеріалів різного виду. Сформована фізико-математична

модель процесу тепломасоперенесення у рослинних матеріалах за перетворення енергії мікрохвильового поля у внутрішню. Створена фізико-математична модель масоперенесення з рослинних часток сферичної форми, що доповнює моделі, отримані для інших тіл класичної форми. Розроблений метод стабільності потоку маси, який дозволяє розрахунковим шляхом визначати концентрацію компонентів у тілі реальної форми залежно від часу як для традиційних методів екстрагування, так і для мікрохвильового, що враховується величиною коефіцієнта дифузії. Запропонована залежність для розрахунку середньої температури, що набувається у матеріалі за мікрохвильового нагрівання. На підставі аналізу експериментальних даних з дослідження екстрагування у мікрохвильовому полі та ефективності дії отриманих екстрактів для ряду рослинних матеріалів створені методи вилучення БАР за застосування мікрохвильової енергії. Обґрунтована технічна, енергетична та економічна ефективність застосування мікрохвильової енергії для вилучення біологічно активних речовин. Розроблені конструктивні рішення мікрохвильових установок, що здатні реалізувати запропонований комплекс методів отримання екстрактів у мікрохвильовому полі.

Ключові слова: інтенсифікація, мікрохвильове електромагнітне поле, рослинні матеріали, температура, математична модель, екстрагування, мікрохвильові установки.

АННОТАЦИЯ

Георгиеш Е.В. Интенсификация процесса тепломассопереноса при экстрагировании биологически активных веществ из растительных материалов в условиях действия микроволнового поля: – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 – "Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика". – Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2015.

В диссертационной работе на основе экспериментальных и теоретических исследований определены условия интенсификации извлечения биологически активных веществ из растительных материалов разного вида и созданы основы получения индивидуальных методов экстрагирования с применением энергии МВ поля, которые в зависимости от термостойкости извлекаемых веществ и их состава могут быть многостадийными и комбинированными. Определено, что целесообразность применения метода микроволнового экстрагирования для извлечения БАВ зависит от вида растительного материала и ожидаемого действия экстракта: применение МВ метода нецелесообразно (экстракта перца красного, айра, ромашки не проявили себя в качестве биопестицидов), применение МВ метода не показало преимущество над традиционным (экстракта тысячелистника, чистотела, ботвы картофеля, табака, айра), применение МВ метода рационально (экстракта шелухи лука, чеснока, молокана дикого, молочая, полыни, хвои). Обоснована техническая, энергетическая и экономическая эффективность применения микроволновой энергии для извлечения биологически активных веществ.

Установлено, что энергоэффективность экстрагирования при применении микроволнового метода для выделенного класса материалов выше в 16 (шелуха лука) – 22,6 раз (молочай прутьевидный), а интенсивность извлечения веществ увеличивается в 12 (шелуха лука) – 48 (молочай прутьевидный) раз. Сформулирована физико-математическая модель процесса тепломассопереноса в растительных материалах при преобразовании энергии микроволнового поля во внутреннюю. Разработана математическая модель массопереноса из частиц сферической формы, которая дополняет модели, полученные для других классических тел. Разработан метод стабильности потока массы, позволяющий расчетным путем определять концентрацию компонентов в теле реальной формы в зависимости от времени как для традиционных методов экстрагирования, так и для микроволнового, что учитывается величиной коэффициента диффузии. Принимая принцип стабильности потока массы, можно уточнить расчетные данные по концентрации целевого компонента в зависимости от характерного размера частицы. Для оценки температуры нагрева материала, значение которой определяет энергетическую эффективность метода и одновременно является лимитирующим фактором для многих биологически активных веществ, получена аналитическая зависимость, позволяющая с допустимой точностью определять среднюю температуру в зависимости от удельной мощности внутренних источников и теплофизических свойств тела. На основании анализа экспериментальных данных по исследованию экстрагирования в микроволновом поле и эффективности действия полученных экстрактов для ряда растительных материалов получены рекомендации к извлечению БАР при применении микроволновой энергии. Разработаны конструктивные решения микроволновых установок, которые способны реализовать предложенный комплекс методов получения экстрактов в микроволновом поле. На основе теплотехнического анализа работы микроволновых устройств разработаны практические рекомендации по модернизации системы обеспечения теплового режима магнетронов, что позволяет обеспечить устойчивую непрерывную работу разрабатываемых экстракторов.

Ключевые слова: интенсификация, микроволновое электромагнитное поле, растительные материалы, температура, математическая модель, экстрагирование, микроволновые установки.

ABSTRACT

Georgiesh, K.V. Intensification of heat and mass transfer processes extracting of biologically active substances from plant material under conditions of microwave field. – Manuscript.

The dissertation for obtain of scientific degree of Candidate of the Technical Sciences on the specialty 05.14.06 – «Engineering Thermophysics and Industrial Heat-and-Power Engineering». – Odessa National Academy of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2015.

The dissertation based on experimental and theoretical research to determine the conditions of intensification of biologically active substances from plant materials of

different species. Formed the physical-mathematical model processes of heat and mass transfer in plant materials the transformation energy of microwave to the internal energy. Created the physical-mathematical model processes of heat and mass transfer in plant materials spherical shape particles, supplementing the models obtained for other bodies of classic form. Developed method of mass flow stability that allows by calculation to determine the concentration of components in the real body shape depending on the time of traditional methods for extraction and for microwave methods for extraction, measured by the coefficient of diffusion. The suggested relationship for calculating the average temperature of the material during microwave heating. Based on the analysis of experimental data from the study of extraction in a microwave field and efficiency of the obtained extracts of plant materials a number of established methods of removal of biologically active substances under conditions of microwave energy. Substantiated technical, energy and economic efficiency of microwave energy for extract of the biologically active substances. The developed designs of microwave systems that are able implement the proposed complex methods of obtaining extracts under conditions of microwave energy.

Key words: intensification, microwave electromagnetic field, plant material, temperature, mathematical model, extraction, microwave installation.