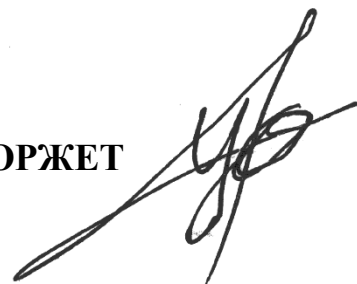


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**АЛЬХУРІ ЮСЕФ ЕЛІАС ЖОРЖЕТ**



**УДК 664.85.061.35.086.2**

**КІНЕТИКА ЕКСТРАГУВАННЯ З ПЛОДІВ ШИПШИНИ У  
МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

Одеса 2019

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор  
**Бурдо Олег Григорович**  
Одеська національна академія харчових технологій,  
кафедра процесів, обладнання та енергетичного  
менеджменту, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор  
**Дячок Василь Володимирович**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
кафедра прикладної екології та збалансованого  
природокористування, професор кафедри;

– кандидат технічних наук, професор  
**Бандура Валентина Миколаївна**  
Вінницький національний аграрний університет,  
кафедра автоматизації та комплексної механізації  
технологічних процесів, професор кафедри.

Захист відбудеться *29 березня 2019 року* об 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 в Одеській національній академії харчових технологій, за адресою: ауд. А-234, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій, за адресою: ауд. А-234, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039.

Автореферат розісланий *27 лютого 2019 року*

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доцент

 Т.І. Нікітчина

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми.** Можливість тривалого безпечного застосування препаратів рослинного походження завдяки м'якій терапевтичній дії, високій ефективності, виправдовує їхнє широке використання при лікуванні різних захворювань. Однак, не дивлячись на незаперечні переваги, попит на вітчизняні фітопрепарати перевищує їхню наявність, що пояснює актуальність розробки нових препаратів на основі лікарської рослинної сировини (ЛРС). Сама ідея фітотерапії широко підтримується Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) — на думку експертів, у лікуванні приблизно 75% хворих доцільно застосовувати препарати рослинного походження. ВООЗ видаються спеціальні монографії про лікарські рослини, що містять експериментальну й клінічну доказову базу за кожною з найбільш широко використовуваних 235 рослин. Однією з найпоширеніших, серед лікарської сировини, використовуваної для виготовлення фітопрепаратів, є шипшина. За вмістом вітаміну С шипшина перевершує майже всі рослинні продукти. Відносний вміст вітаміну С у м'якоті зрілих плодів коливається від 4,8 до 14,4% і більше, що перевершує показники для чорної смородини приблизно у 10 разів, а в яблуках в 100 разів. Кількість вітамінів підвищується з дозріванням плодів. Крім вітаміну С, плоди шипшини містять провітамін А (12-18 мг%), вітаміни Е, В<sub>2</sub>, Р, а також цукор (близько 18%), дубильні речовини (4,5%), лимонну кислоту (близько 2%), пектинові речовини. Насіння містить цінну олію, вітамін Е.

Основним процесом при виробництві фітопрепаратів є екстрагування. Для традиційних технологій виробництва екстрактів із ЛРС характерні глибокі науково-технічні протиріччя. З одного боку, для збереження цільових компонентів препаратів, які в більшості випадків є термолабільними, обмежуються рівні термічного впливу в процесі масопереносу. А це приводить, у свою чергу, до того, що екстрагування триває тижнями. Розв'язок цих протиріч лежить у площині застосування інноваційних електрофізичних технологій адресної доставки енергії до окремих елементів ЛРС. Такі технології розроблені в ОНАХТ. Однак, на сьогоднішній день екстракційні апарати комбінованої дії для переробки шипшини й методи їхніх розрахунків відсутні.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі процесів, обладнання й енергетичного менеджменту Одеської національної академії харчових технологій у рамках держбюджетної тематики науково-дослідних робіт (№ держ. реєстрації 5/09 – П «Новітні енергетично ефективні харчові технології й нанотехнології в АПК» № 0109U000400) і в рамках госпдоговірної тематики (21/14 – «Модернізація технологічних систем сушильного обладнання та виробництва харчоконцентратів»).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є створення інноваційного обладнання для ефективного використання енергії й

сировинних ресурсів при одержанні водних екстрактів з плодів шипшини, розробка методів розрахунків і оптимізації такого апарата.

Для здійснення поставленої мети необхідно розв'язати наступні основні завдання:

- Сформулювати й довести науково-технічну гіпотезу інноваційних режимів екстрагування при переробці плодів шипшини;
- Розробити теплофізичну й математичну модель процесу масопереносу в системі «шипшина – вода» в умові електромагнітного підведення енергії;
- Розробити методики експериментальних досліджень і створити експериментальні стенди для комплексних досліджень комбінованих процесів екстрагування у мікрохвильовому (МХ) полі;
- Виконати комплекс експериментального моделювання й досліджувати вплив режимних параметрів: розмірів фракцій, гідромодуля, температури, потужності МХ поля, тиску в апараті, тривалості й інтервалів мікрохвильового впливу на кінетику екстрагування й на енергетичні характеристики процесу для систем «плоди шипшини - вода» і визначити відповідні коефіцієнти масовіддачі;
- Узагальнити результати експериментальних досліджень у критеріальній формі й розробити інженерні методики розрахунків екстрактора з МХ підведенням енергії для систем «плоди шипшини - вода»;
- Обґрунтувати режимні й конструктивні параметри пілотних зразків екстракторів, розробити принципову схему їхнього використання при переробці плодів шипшини;
- Провести хімічні й дегустаційні дослідження отриманих експериментальних інноваційних зразків фітоекстрактів з плодів шипшини;
- Провести апробацію екстрактів в умовах виробництва.

*Об'єкт дослідження* – комбіновані процеси й устаткування для екстрагування з плодів шипшини в умовах МХ поля, при нерухомому шарі, циркуляції екстрагенту, у вакуумі.

*Предмет дослідження* – механізм, кінетика й апарати для екстрагування з плодів шипшини в умовах МХ підведення електромагнітної енергії.

*Методи досліджень* – теорія подібності, методи теплофізичного моделювання, фізичні методи аналізу структури розчинів, експериментальні дослідження з використанням контрольно-вимірювальної апаратури. Математичне моделювання з використанням комп'ютерної техніки і прикладних програмних пакетів (Microsoft Excel, об'єктно-орієнтована мова програмування Delphi).

**Наукова новизна отриманих результатів.** У роботі сформульовано й доведено наступні наукові положення:

1. «Використання в якості екстрагенту речовин з полярними молекулами, і перехід до електромагнітних принципів підведення енергії дозволить, здійснювати вихід цільових компонентів із плодів у вигляді двох потоків: традиційного дифузійного й додаткового гідродинамічного, при

цьому потужність другого зможе на порядки перевищувати дифузійний».

2. «Підключення гідродинамічної рушійної сили в процесі переносу забезпечить вихід більш широкого спектру цільових компонентів, оскільки виявиться можливим вихід з плодів не тільки розчинних компонентів, що розв'яже проблему поліекстрактів».

У результаті комплексу аналітичних, експериментальних і виробничих досліджень уперше:

- визначені окремі залежності впливу потужності мікрохвильового поля, температури, гідродинамічних умов в екстракторі, тиску на характер зміни концентрацій розчину й значення відповідних коефіцієнтів масовіддачі для досліджуваних режимів екстрагування з плодів шипшини;

- отримане у безрозмірних числах подоби співвідношення для розрахунків інтенсивності масопереносу у вакуумних МХ апаратах для виробництва екстрактів з плодів шипшини.

У роботі розширено уявлення:

- методом «аналізу розмірностей» отримані структури рівнянь в узагальнених змінних для розрахунків комбінованих процесів екстрагування з капілярно-пористого тіла плодів шипшини в умовах об'ємного МХ підведення енергії для нерухомого шару плодів, циркуляційних режимів і вакууму;

- методами експериментального моделювання отримані термограми, лінії виходу вологи й швидкості зневоднення при обробці плодів шипшини і їхніх екстрактів у МХ полі;

- методами фізико-хімічного аналізу встановлені якісні характеристики дослідних зразків екстрактів з плодів шипшини.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Розроблений спосіб одержання екстрактів з плодів шипшини під впливом МХ поля й вакууму суттєво інтенсифікує внутрішні процеси масообміну, дозволяє скоротити втрати цільових компонентів в екстракті, знизити витрати енергії.

Дослідно-промислові зразки фітоекстрактів з плодів шипшини, отримані у розробленому мікрохвильовому екстракторі, пройшли апробацію на підприємстві ТОВ «Одеська паляниця» (м. Одеса). Інженерна методика розрахунків МХ екстрактора, заснована на результатах експериментального моделювання кінетики взаємодії плодів шипшини й води в умовах вакууму й МХ підведення енергії, може бути застосована для проектування подібних систем у широкому діапазоні зміни параметрів. Обґрунтована ефективність МХ екстракторів і запропонована схема, яка рекомендується до впровадження в лініях виробництва поліекстрактів із плодів шипшини.

**Особистий внесок здобувача.** Разом з науковим керівником (проф. Бурдо О.Г.) сформулював наукові положення й концепції наукових досліджень, проводив планування проведення експериментів. Автор безпосередньо проводив експеримент, здійснював аналіз експериментальних даних, інтерпретував і узагальнював отримані результати. Брав участь у

постановці досліджень і обговоренні результатів аналітичного й експериментального моделювання і їхнього узагальненні зі співробітниками кафедри. Надалі представляв з ними спільні доповіді на міжнародних конференціях. Брав участь у проектуванні нових зразків техніки для екстрагування з плодів шипшини, одержанні інноваційних поліекстрактів. Займався впровадженням інноваційних зразків продуктів у виробництво.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювали на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу й вчених Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ) у 2014...2018 рр.: на Міжнародних наукових конференціях «Удосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв» (Одеса, 2016, 2018 рр.), на II-IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Інноваційні енерготехнології» (Одеса, 2015, 2017 рр.), на науково-практичній конференції «Енергія. Бізнес. Комфорт» (Одеса, ОНАХТ, 2015...2017 рр.).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 14 друкованих праць, у тому числі 4 роботи у профільних виданнях, 5 статей у збірниках наукових праць, 1 стаття у науковому журналі, що індексується наукометричною базою Web of Science, 1 стаття в науково-практичному журналі, тези 7 доповідей на міжнародних наукових конференціях.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списків літератури, що включають 217 найменувань вітчизняних і закордонних авторів на 23 сторінках, п'яти додатків на 40 сторінках. Основний текст роботи викладений на 211 сторінках, включає 64 рисунків (26 сторінок), 16 таблиць (9 сторінок), 117 формул (19 сторінок).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета, завдання досліджень, наукові положення, методи досліджень, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів і їхня апробація.

У першому розділі наведено загальну характеристику плодів шипшини, їхнього хімічного складу й фармакологічних можливостей препаратів, які з них виробляють. Розглянуті технологічні режими й обладнання для виробництва фітоекстрактів, технології виробництва. Наведені інноваційні технічні рішення у техніці екстрагування: способи інтенсифікації шляхом зовнішніх силових впливів, методика одержання рослинних поліекстрактів двофазними системами екстрагентів. Показано, що розвиток технологій екстрагування спрямовано на застосування електромагнітних полів. Наведено розроблений в ОНАХТ аналітичний розв'язок завдання масопереносу при екстрагуванні в МХ полі. Обговорюються приклади інтенсифікації електрофізичними (ЕФ) методами процесів переносу при екстрагуванні. Світовий досвід застосування ЕФ методів в харчових

технологіях та досвід кафедри ПОЕМ підтверджує доцільність досліджень у даному напрямку й при виробництві екстрактів із шипшини.

У другому розділі «Методи й об'єкти досліджень» формулюються науково-технічні гіпотези, дана характеристика спільних завдань досліджень. Сформовано програму досліджень (рис. 1).



Рис.1. Програма досліджень.

На основі аналізу технологічного процесу визначено параметричну модель екстрагування у електромагнітному полі (ЕМП) (рис.2).

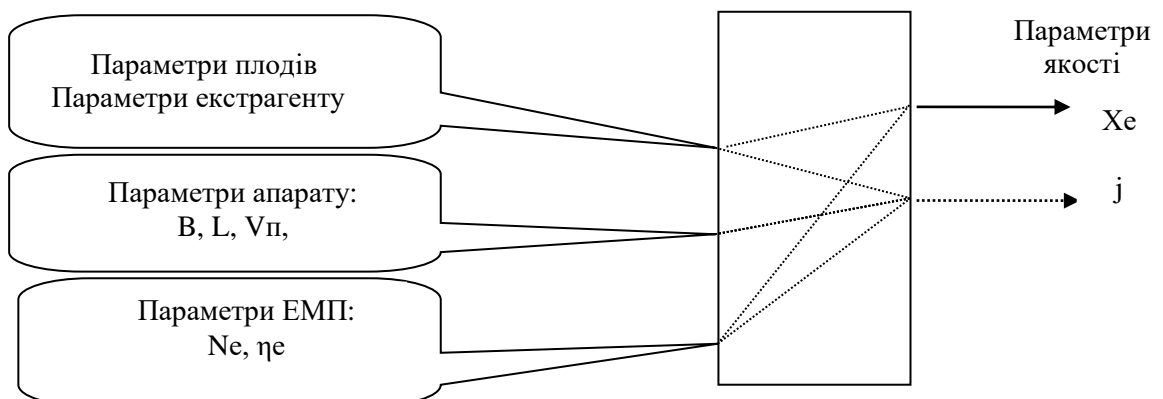


Рис.2. Параметрична модель МХ екстрактора.

Специфіку плодів визначають: температуропровідність ( $a_c$ ), теплоємність ( $c_c$ ), густина ( $\rho_c$ ) і теплопровідність ( $\lambda_c$ ). Властивості екстрагенту показують: температуропровідність ( $a_e$ ), теплоємність ( $p_e$ ),

густина ( $\rho_e$ ) і теплопровідність ( $\lambda_e$ ), в'язкість ( $\nu_e$ ) і прихована теплота паротворення ( $r_e$ ). Вихідною інформацією є: початкова температура ( $t_n$ ), маса плодів, що завантажуються ( $G_c$ ) і екстрагенту ( $G_e$ ), концентрація цільових компонентів у плодах ( $C_c$ ). Основні характеристики апарата: товщина ( $\nu$ ), висота або довжина ( $L$ ), діаметр або ширина реакційного об'єму ( $V$ ), об'єм продукту, що завантажується ( $V_n$ ). Параметри системи, що генерує ЕМП: споживана електрична потужність ( $N_e$ ) і електричний ККД ( $\eta_e$ ). Параметрами якості вважаємо значення кінцевої концентрації екстракту ( $X_k$ ) і питомі витрати енергії ( $j$ , Дж/кг готового продукту). Завдання подальших досліджень – установити взаємні зв'язки між комплексами цих параметрів.

При розробці статичних моделей МХ екстрактора розглядаються два послідовні процеси: безпосередньо екстрагування й відділення від екстракту розчинника, наприклад, шляхом випарювання (рис.3). На першому етапі змішування плодів  $G_c$  і розчинника  $G_p$  забезпечується необхідне значення гідромодуля. В екстракторі формується потік екстракту, кількість якого  $G_e$ , а концентрація сухих речовин –  $X_e$ . За необхідності з допомогою випарювання розчинник з екстракту відганяється, виходить більш концентрований продукт, кількість якого  $G_n$  і концентрація  $X_n$ . Пара розчинника, кількість якого  $G_p$ , або направляється у змішувач, або конденсується. При цьому, кількість дистилату теж  $G_p$ .

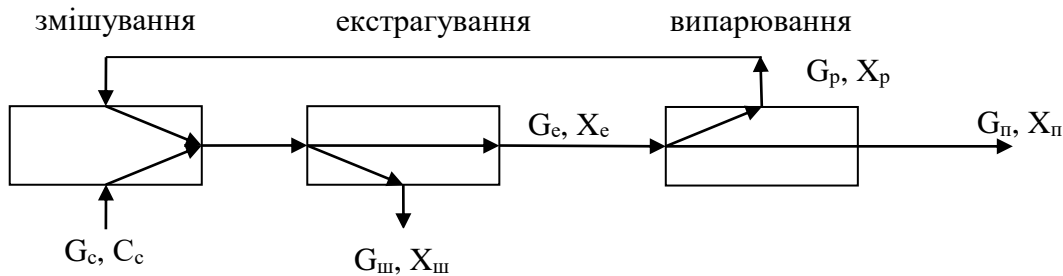


Рис.3. Схема матеріальних потоків.

Відома характеристика сировини:  $G_c$ ,  $C_c$ . Експериментально легко вимірюються параметри:  $G_p$ ,  $X_p$ ,  $G_e$ ,  $X_e$ ,  $G_n$ ,  $X_n$ . Для відомої кількості шпашини  $G_w$  (рис.3) визначається концентрація цільових компонентів  $X_w$ .

Для процесу екстрагування:

$$\left. \begin{aligned} G_p + G_c &= G_e + G_w \\ G_p X_p + G_c C_c &= G_e X_e + G_w X_w \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$G X_e = \frac{G_p X_p + G_c C_c - G_e X_e}{G_p + G_c - G_e} \quad (2)$$

Аналогічно знаходять вміст екстрактивних речовин у розчині:

$$X_p = \frac{G_e X_e - G_n X_n}{G_e - G_n} \quad (3)$$

Аналітичні дослідження кінетики процесу екстрагування включають теплофізичну модель етапів екстрагування, модель гетерогенного осередку,



що включає тверду фазу, екстрагент і граничний шар на границях фазового контакту, а, також, математичний опис в основі якого використано ідеї моделі сушіння А. В. Ликова, положення про форми зв'язку вологи П. А. Ребіндера й механізмах масопереносу, розроблених на кафедрі ПОЕМ.

Поставлене нестационарне тривимірне завдання масопереносу, що повинне доповнюватися системою рівнянь, що описують сполучені процеси переносу конвективної дифузії, дифузії в стиснутих умовах капіляру й дією бародифузії. Приблизно цей процес представлено моделлю функціонування точкового джерела. Модель універсальна, але, як і всі моделі такого класу, надзвичайно складна для практичної реалізації.

Для подальшого аналізу процесу екстрагування, спростимо завдання й виділимо елемент, що ґрунтовно характеризує складну систему. Виділений канал, що зв'язує тверду фазу й екстрагент (рис. 4). Математична модель процесу представлена в циліндричних координатах.

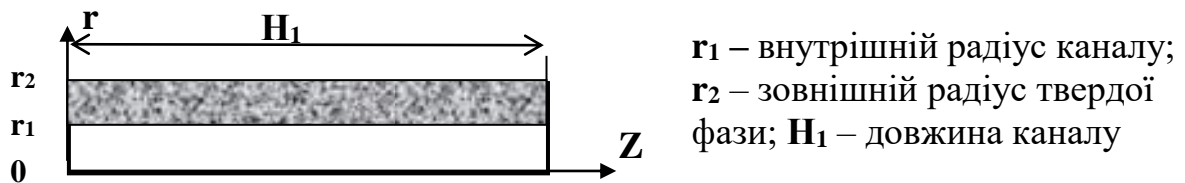


Рис. 4. Ядро представницького осередку.

При постановці завдання моделювання прийняті наступні допущення:

- усі цільові компоненти сировини виражаються у вигляді загального комплексу;
- за аналогією з моделлю зв'язку вологи із продуктом Ребіндера розглядається комплекс на поверхні й в обсязі (у капілярах і в клітинах);
- для кожного інтервалу часу (зони) коефіцієнти переносу приймаються постійними);
- тверде тіло має полікапілярну структуру, у якій перенесення цільових компонентів дифузійне;
- у процесі масопереносу структура твердого тіла залишається незмінною.

Представлена в роботі математична модель відображає сполучені процеси гідродинаміки, теплообміну й масопереносу, тобто містить рівняння Нав'є-Стокса, нерозривності й енергії з відповідними умовами однозначності. Підведення енергії N-об'ємний при ГУ II роду. Аналіз виконаний окремо для 1 етапу (нагрівання продукту від початкової температури  $t_1=t_n$  до температури початку пароутворення  $t_1=t_i$ ) і для 2 етапу (властиво пароутворення). На першому етапі вихід пари відсутній, і енергія витрачається тільки на підвищення температури продукту. Для довжини  $0 \leq Z \leq Z_1$ ; радіусів  $0 \leq r \leq r_1$  (рис. 4): початкові умови ( $\tau = 0$ ):  $t_1 = t_n$ ;  $V_1=V_n$ . Нестационарне поле температур з урахуванням дії ЕМП визначається у формі:

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a_1 \left( \frac{\partial^2 t_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_1}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t_1}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t_1}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_1 c_{iv} \rho_1}, \quad (4)$$

У співвідношенні (4):  $C$  – питома теплоємність;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;  $a$  – коефіцієнт температуропровідності;  $N$  – потужність електромагнітного генератора;  $\eta$  – ККД магнетрону;  $\tau$  – час роботи;  $z, r, \phi$  – координати.

Вплив ЕМП виражається у (4), як дія внутрішнього джерела енергії потужністю  $N$  і із ККД  $\eta$ . На другому етапі відбувається утворення парової фази. Процес характеризується сталістю температури фазового переходу ( $t_i = const$ ), а підведена енергія ( $N\eta\tau$ ) витрачається на підвищення внутрішньої енергії й частковому переходу води у пару. У результаті – підвищення тиску в капілярі. До того ж, це зростання тиску може носити вибуховий характер через малий обсяг рідини в капілярі й концентрації енергії

$$P(\tau) = Pa + \Delta P \quad (5)$$

При цьому, істотні зміни відбудуться у формуванні поля концентрацій цільових компонентів у системі. У відповідності до рівняння Фіка нестационарне поле концентрацій має вигляд:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + \frac{\partial c}{\partial z} w_z \quad (6)$$

Перший доданок в (6) характеризує чисто дифузійний перенос, процес традиційно повільний. Запропонована концепція опирається на потенційні можливості другого доданка в (6). Ця зміна поля концентрацій за рахунок виходу концентрованого розчину з капіляра зі швидкістю  $w$ , величина якої залежить від значення стрибка тиску  $\Delta P$  з (5). Зв'язок між цими параметрами виражається з рівняння гідравліки капілярної системи з довжиною каналів ( $l$ ), їхнім діаметром ( $d$ ), коефіцієнта тертя ( $\lambda$ ) і суми місцевих гідравлічних опорів ( $\zeta$ ) при коефіцієнті поверхневого натягу ( $\sigma$ ):

$$\Delta P = \frac{\rho w^2}{2} \left[ \frac{\lambda l}{d} + \sum \zeta \right] + \rho g l + \frac{\sigma}{d} \quad (7)$$

У результаті обсяг рідини в капілярі зменшується і його поточне значення визначається рівнянням матеріального балансу

$$V_1(\tau) = V_H - (V_{\Pi} - V_{\Psi})(\tau) \quad (8)$$

Причому, зменшення обсягу може бути наслідком викиду обсягу пари ( $V_{\Pi}$ ) і частини рідини ( $V_{\Psi}$ ) з капіляра.

Таким чином, система співвідношень (4) – (8) визначає нестационарне поле температур і концентрацій, матеріальний і енергетичний баланси процесів. Проведемо аналіз складу об'єму рідини в співвідношенні (6). Структура потоку з капіляра (рис.3) представляється еквівалентною електричною схемою (рис.5). Тут  $Y(\tau)$  і  $Y_{\Gamma}$  – відповідно, значення поточної концентрації у твердій фазі й граничне значення концентрації розчинних компонентів;  $X_{\Sigma}$  – сумарне значення всіх перенесених до екстракту компонентів;  $C_C$  і  $C_H$  – відповідно, концентрації у твердій фазі слабозрочинних і нерозчинних в екстрагенті компонентів;  $X_C$  і  $X_H$  – те саме, але в екстракті. Виходячи із класичної теплофізичної схеми масопереносу механізм дифузійного переносу з волокнистої структури в потік відповідає

тільки частині схеми (рис.5). Послідовний ланцюжок дифузійних опорів складається із суми:  $R_{НК}$  (нанокапіляри),  $R_{МК}$  (мікрокапіляри) і  $R_{МО}$  (масовіддачі).

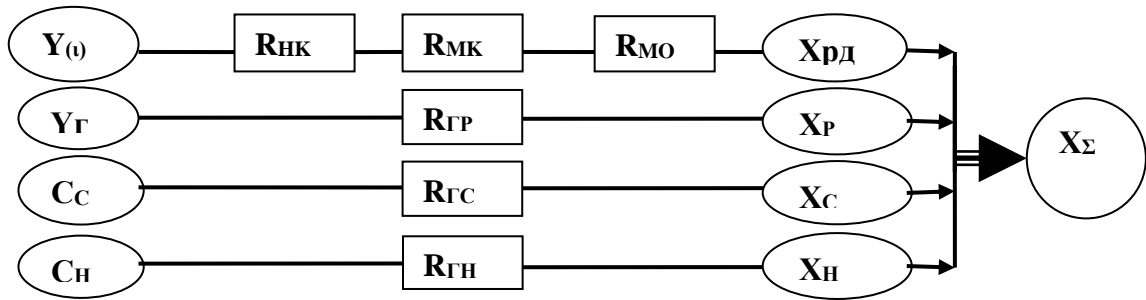


Рис. 5. Еквівалентна електродифузійна схема сполучених процесів переносу гідро-дифузійними потоками в системі «тверда фаза – рідина – електромагнітне поле».

Інтенсивність переносу окремих компонентів визначається балансом відповідних сил, що формуються в капілярі міжклітинного простору. Результуюча цих сил визначить швидкість потоку конкретного компонента. Нестационарне одномірне поле концентрацій розчинних речовин визначається рівнянням конвективної дифузії Фіка.

А для нерозчинних компонентів чисто дифузійний потік відсутній. Відповідні механізми й моделі зведені в табл.1.

Таблиця 1

Механізми переносу компонентів з капілярної структури

Характеристика потоку	Рушійна сила	Опір потоку	Маса компонента	Модель процесу
Конвективний дифузійний масоперенос	Різниця концентрацій $Y - X_{рд}$	Дифузійний опір, $R_{д}$	$M_{P1}$ (потік j1)	$\frac{dM_{P1}}{Fd\tau} = \frac{Y - X_{рд}}{R_{д}}$
Механічний перенос розчинних речовин із прикордонного шару	Різниця тисків $P_K - P_0$	Гідравлічний опір, $R_{ГР}$	$M_{P2}$ (потік j1)	$\frac{dM_{P2}}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{ГР}}$
Механічний перенос слабозчинних речовин з капілярів	Різниця тисків $P_K - P_0$	Гідравлічний опір, $R_{ГС}$	$M_C$ (потік j3)	$\frac{dM_C}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{ГС}}$
Механічний перенос нерозчинних речовин з капілярів	Різниця тисків $P_K - P_0$	Гідравлічний опір, $R_{ГН}$	$M_H$ (потік j4)	$\frac{dM_H}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{ГН}}$

Таким чином, використання технології адресної доставки енергії до окремих елементів фаз 2 і 3 можуть кардинально змінити гідродинамічну ситуацію й суттєво інтенсифікувати процес масопереносу. У процесах комбінованого впливу на гніздо можливі різні відомі й несподівані ефекти.

Аналітичний розв'язок наведеної моделі не можливо, не дивлячись на серйозні припущення, зроблені при постановці завдання. Складність

розв'язку пов'язана із проблемами реалізації рівняння Нав'є-Стокса, розрахунками радіальних і осьових компонентів швидкості. Використовуючи методи теорії подоби можна суттєво спростити модель, перейти до співвідношень, які будуть описувати квазістаціонарні процеси переносу в обмеженому діапазоні. Вважається, що потік маси  $j$  визначається ефективним коефіцієнтом масовіддачі  $\beta_p$  і різницею тисків у капілярі  $P_{до}$  і в потоці  $P_e$ . Потік  $j$  створюється потужною гідродинамічною рушійною силою, він турбулізує граничний шар, і може бути на кілька порядків більше традиційного, дифузійного. Використовується новий безрозмірний комплекс – число енергетичної дії, фізичний зміст якого показує відношення витрат енергії МХ технології ( $Q$ ) і базового варіанта ( $Q_0$ ). Тоді, число  $Bu = Q/Q_0$ .

Для завдань екстрагування у МХ полі:

$$Bu = N (r w d^2 \rho)^{-1} \quad (9)$$

У загальному випадку вплив на величину ефективного коефіцієнту масовіддачі  $\beta_e$  мають висота шару плодів  $H$ , густина  $\rho$  і в'язкість екстрагенту  $\mu$ , швидкість його руху  $w$ , коефіцієнт дифузії  $D$ . Група цих параметрів характеризує інерційні властивості потоку. Гідродинамічна ситуація при формуванні граничного шару в каналі виражається співвідношенням висоти шару  $H$  і довжини (діаметру) шару  $L$ . Внесок граничної конвекції встановлюється різницею концентрацій у потоці  $\Delta X$  і гравітаційним полем. Дія бародифузії за рахунок МХ поля визначається різницею тисків у зонах каналу.

Величина цієї різниці представляється пропорційною енергії випромінювання й тієї енергії, що необхідна для паротворення. Тобто величинам питомої теплоти паротворення  $r$  і потужності поля  $N$ . Тоді вихідна функціональна залежність загального виду буде у вигляді:  $\beta_e = f(H, L, \rho, \mu, w, D, r, N, k, \Delta X, g)$ . Усі ці параметри містять тільки три основні розмірності: довжину ( $L$ ), масу ( $M$ ) і час ( $\tau$ ). У цьому випадку число змінних  $n = 12$ , число їх одиниць виміру  $m = 3$ . Тоді, згідно  $\pi$ -теоремі, число безрозмірних комплексів, що описують процес, повинне дорівнювати  $(n - m) = 9$ . Отримано рівняння у критеріальній формі :

$$St_m = A (Re)^m (Gr_\rho)^s (Sc)^n (Bu)^p (L/H)^q (\Pi)^k. \quad (10)$$

Для умов аналізованого завдання можна зневажити параметричним комплексом  $L/H$ , який є результатом турбулізації гідродинамічного граничного шару вхідної зони й характерний для коротких каналів, і числом Грасгофа  $Gr$ , тому що у режимі інерційного потоку внесок природної конвекції малий. Остаточна структура критеріального рівняння буде мати вигляд:

$$St_m = A (Re)^m (Sc)^n (Bu)^p (\Pi)^k. \quad (11)$$

Аналогічно для вакуумних мікрохвильових екстракторів зі зворотним холодильником отримане:

$$Nu_m = B (Sc)^n (Bu)^p (\Pi)^k. \quad (12)$$

Умовою функціонування бародифузійного потоку є наступні фактори: наявність в обсязі продукту рідини з полярними молекулами; відповідність

параметрів електромагнітного поля розв'язуваного завдання масопереносу; узгодження структурних характеристик продукту з параметрами генератора електромагнітної енергії. Константи  $A$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $p$  і  $k$  визначаються при обробці масиву відповідних експериментальних даних.

У розділі наведені методи експериментального моделювання масопереносу в системі «вода – плоди шипшини»: визначення концентрації екстрактивних речовин у розчині й граничної концентрації у твердій фазі, вологості сировини, коефіцієнту масовіддачі, умов фазових рівноваг у системі, коефіцієнтів дифузії. Розглянуті методика узагальнення результатів експериментів, зроблені оцінки погрішностей вимірів.

У третьому розділі «експериментальне моделювання процесів екстрагування із плодів шипшини» представлені результати дослідів з визначення статичних і кінетичних характеристик.

Таблиця 2

#### Діапазон експериментального моделювання

Сировина	Тиск, МПа	Температура, °C	Концентрація, %	Гідромодуль
Шипшина	0,01 – 0,1	35 - 50	0 – 60	1/1...1/4

Наведена в табл. 2 концентрація у 60 % була отримана при концентруванні екстракту у вакуумному МХ випарному апараті. Досліджувалися 4 різні способи екстрагування, які реалізуються на 4 стендах: на базі термостату (стенд №1, імітує традиційні принципи екстрагування); на базі МХ камери при нерухомому шарі плодів шипшини (стенд №2); у МХ екстракторі конструкції ОНАХТ із циркуляційним контуром і холодильною машиною (стенд №3); у розробленій установці на базі вакуумного МХ екстрактора (стенд №4).

У стенді №3 із циркуляційним контуром підтримувалася температура в реакційному обсязі на рівні 30...45 °C. Після пуску установки періодично вимірюються: температури (за допомогою пірометра FLIR TG54 і термопар) –  $t$ ; витрата екстрагенту (ваговим методом) –  $V_e$ ; час дії ЕМ- поля –  $\tau_m$ ; потужність магнетрона ( $N_m$ ); оптична густина екстракту (за допомогою Spекol) –  $D$ ; концентрація екстракту  $X$  (за допомогою цифрового рефрактометра НІ 96801); час реєстрації параметрів –  $\tau$ . Вибірково визначаються концентрації екстракту (методом висушування до постійної ваги Radwag AS 220). Розраховуються вихідні параметри дослідів: концентрація ( $X_e$ ) екстракту (за тарувальною залежністю); гідромодуль ( $\Gamma$ ); витрата МХ енергії ( $E_m$ ). Отримані дані дозволили розрахувати масу речовин, що перейшли до розчину (13) концентрації цільових компонентів у плодах (14).

$$m = X_e V_e \rho_e \quad (13)$$

$$C_i = C_n - X_e / \Gamma, \quad (14)$$

де:  $C_n$  – початковий вміст цільових компонентів у плодах.

Для розрахунків коефіцієнта масовіддачі використовувалося співвідношення:

$$\beta = V_e / (C_n - C_i) F \quad (15)$$

Вигляд робочої ділянки з плодами шипшини й зразки екстрактів показані на рис.6.

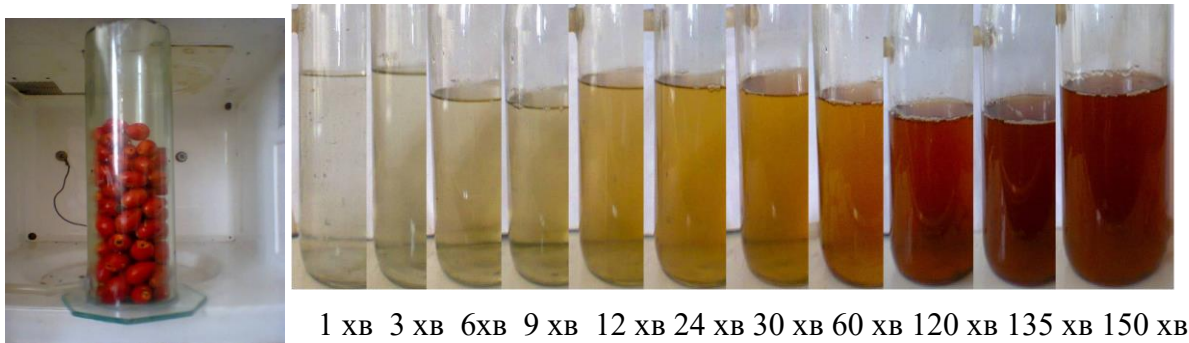


Рис.6. Робоча ділянка з плодами шипшини й зразки екстрактів.

Шляхом послідовних заливань плодів шипшини екстрагентом (рис.6), встановлено, що плоди містять 22,3% водорозчинних сухих речовин. Отримані значення необхідні для розрахунків рушійної сили процесу екстрагування при визначенні коефіцієнта інтенсивності масопереносу (15). Подальші експериментальні дослідження стосувалися кінетики екстрагування. Послідовно визначався вплив ключових факторів (рис.7) на інтенсивність масопереносу.

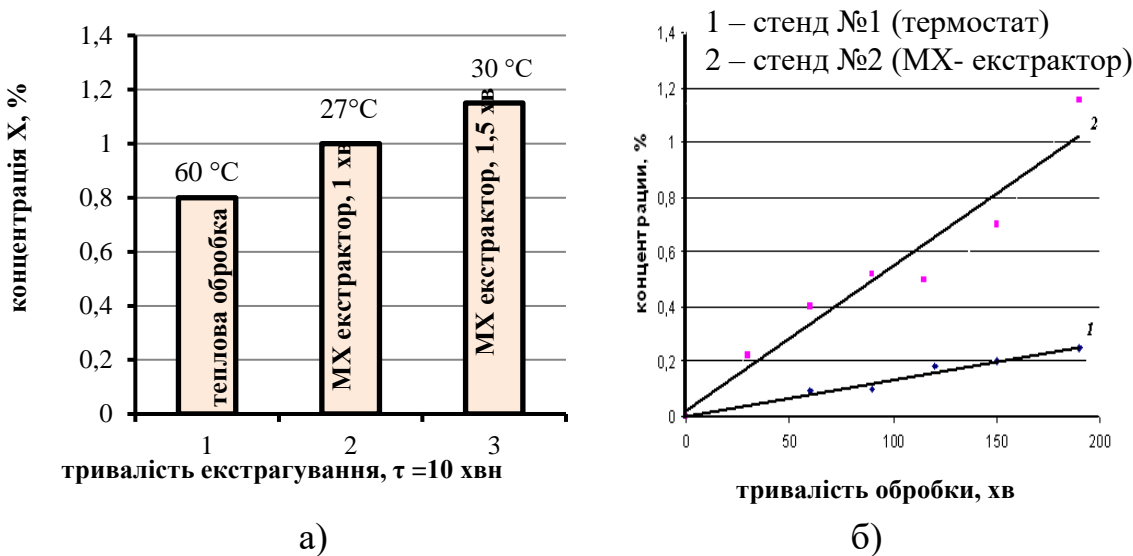


Рис.7. Кінетика екстрагування в нерухомому шарі.

Перший етап досліджень стосувався режимів екстрагування в нерухомому шарі. Вивчався вплив виду енергії, тривалості обробки, температури на інтенсивність масообміну. Встановлено, що тривалість обробки у МХ полі не раціонально проводити більше 400 хвилин при 6-ти кратній зміні екстрагента. Видно (рис.7,а) вплив температури, тривалості попередньої обробки й виду енергії на інтенсивність масопереносу. Послідовно вивчався самостійний вплив цих факторів. Найбільший вплив має вид підведеної енергії (рис.7,б). Видно, що при обробці у МХ полі вихід

екстрактивних речовин виявився в 5 разів нижче, ніж при екстрагуванні за умов підведення теплової енергії. Визначено вплив ступеня подрібнювання плодів (рис.8).

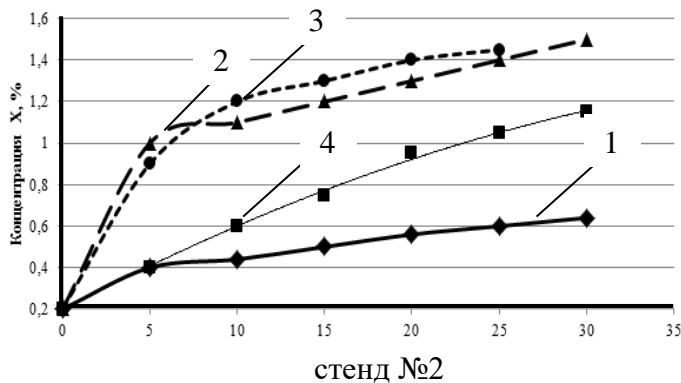


Рис.8. Вплив ступеня подрібнювання: 1 – цілі плоди; 2 – 1/2 плодів; 3 – 1/4 плодів; 4 – дроблені плоди.

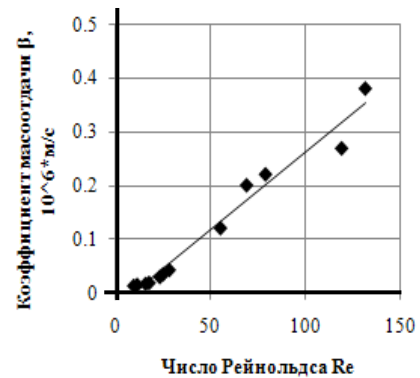


Рис.9. Вплив витрати екстрагенту.

За технологічними факторами перевагу слід віддати половинкам плодів. Тому, подальші дослідження проводилися саме з половинками плодів. Другий етап досліджень присвячений роботі на стенді №3. Основним завданням було встановити вплив витрати екстрагенту (рис.8). Встановлено, що при збільшенні витрати в 5 разів інтенсивність екстрагування зростає приблизно у 10 разів. Обробка результатів дослідів встановила залежність коефіцієнту масовіддачі від числа Рейнольдса (рис.8).

Третій етап експериментальних досліджень проводився на стенді №4. Плоди й екстрагент 3 розміщено в об'ємі 2, який парно з'єднується зі зворотним холодильником 4. Після завантаження об'єму 2 система вакуумується й встановлюється режим роботи магнетрону. Температурний режим у системі забезпечується холодильною машиною 5, вакуум насосом 6 і магнетроном камери 1.

Надійність герметизації системи, погодженість потужностей магнетрона й холодильної машини забезпечують можливість проведення експерименту без змін у системі вакуумування. На першому етапі проведено порівняння ефективності екстрагування в потоці без ЕМП та з ЕМП та з вакуумним МХ екстрактором.

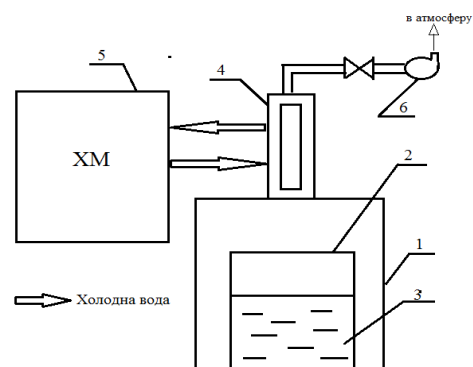


Рис.9. Стенд (№4) з МХ вакуум установкою.

Досліди проводилися з половинками плодів шипшини за однакових температурних умов. Результати наведені на рис. 10.

З залежностей видно, що вакуум є вагомим чинником інтенсифікації масопереносу. Встановлено вплив тиску в камері на інтенсивність

екстрагування (рис.11). З підвищенням тиску від 15 кПа до 45 кПа концентрація екстракту підвищилася на 25%.

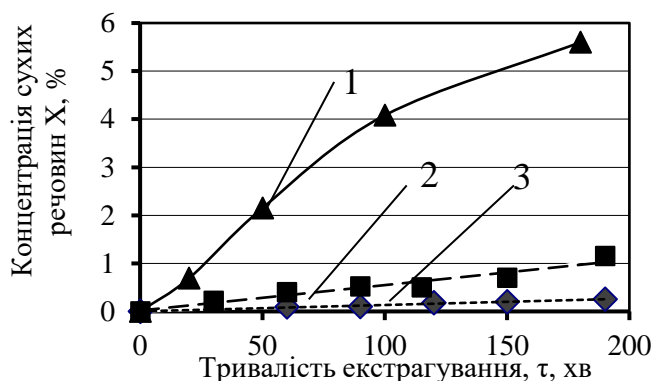


Рис. 10. Залежність зміни концентрацій сухих речовин від тривалості екстрагування для різних установок: 1 – МХ-екстрактор вакуум; 2 – МХ-екстрактор потік; 3 – без поля в потоці.

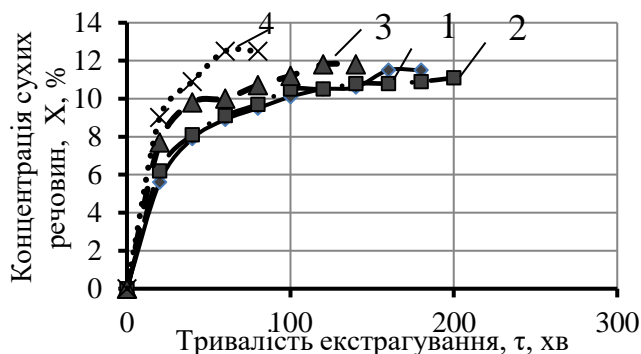


Рис. 11 Вплив тиску на кінетику екстрагування у вакуумному мікрохвильовому апараті: 1 – 15 кПа; 2 – 25 кПа; 3 – 30 кПа; 4 – 45 кПа.

Із зростанням потужності підвищувалася інтенсивність масопереносу (рис.12), проте зросла температура процесу (рис. 13).

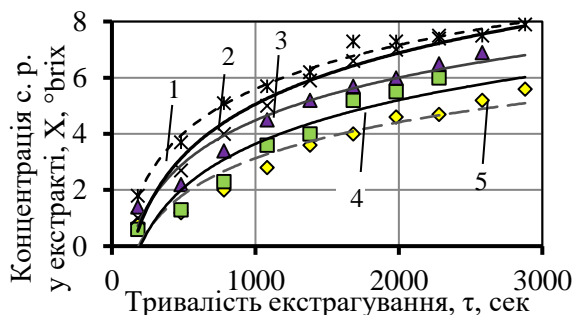
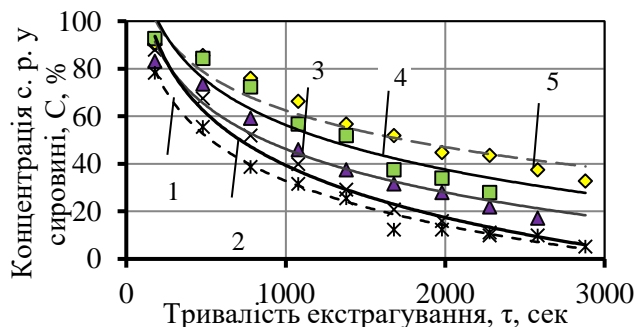


Рис.12. Вплив потужності випромінювання на кінетику екстрагування: 1 – 1024 Вт; 2 – 682 Вт; 3 – 512 Вт; 4 – 273 Вт; 5 – 136 Вт.

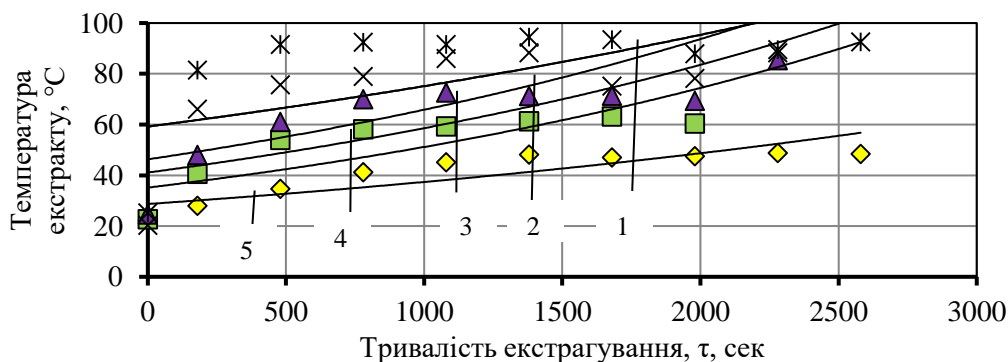


Рис.13. Термограми процесу: 1 – 1024 Вт; 2 – 682 Вт; 3 – 512 Вт; 4 – 273 Вт; 5 – 136 Вт.



Таким чином, протиріччя між інтенсивністю екстрагування й збереженням вітаміну С повинне вирішуватися, у тому числі, на основі хімічного аналізу зразків екстрактів.

У четвертому розділі «оптимізація й апробація інноваційної техніки, рекомендації до впровадження» наведена інженерна методика проектування й оптимізації вакуумних мікрохвильових екстракторів. Проведена обробка бази експериментальних даних і отримана залежність коефіцієнта масовіддачі від основного параметра – потужності випромінювання (рис. 14). Значення  $\beta$  використані для розрахунку відповідних чисел Нуссельта. Методами теорії подібності встановлені константи в критеріальній моделі (12). Показники ступеня при числах Шмідта і параметричного комплексу  $\Pi$  прийняті традиційними.

Остаточно модель має вигляд:

$$Num = B (Sc)^n (Bu)^p (\Pi)^k. \quad (16)$$

Співвідношення (17) є ключовим в алгоритмі розрахунків вакуумного мікрохвильового екстрактора. Послідовно проведено: розрахунки теплофізичних характеристик розчину; розрахунки умов фазової рівноваги; розрахунки гідродинамічних характеристик апарату; розрахунки матеріальних балансів екстрактора; розрахунки енергетичних балансів екстрактора; розрахунки кінетики масопереносу; розрахунки концентрацій екстракту й твердої фази.

У результаті визначено значення концентрацій екстракту й твердої фази, температур і тисків в апараті; потужність МХ генератора, час процесу, коефіцієнт масовіддачі, продуктивність, енергетичні й економічні параметри.

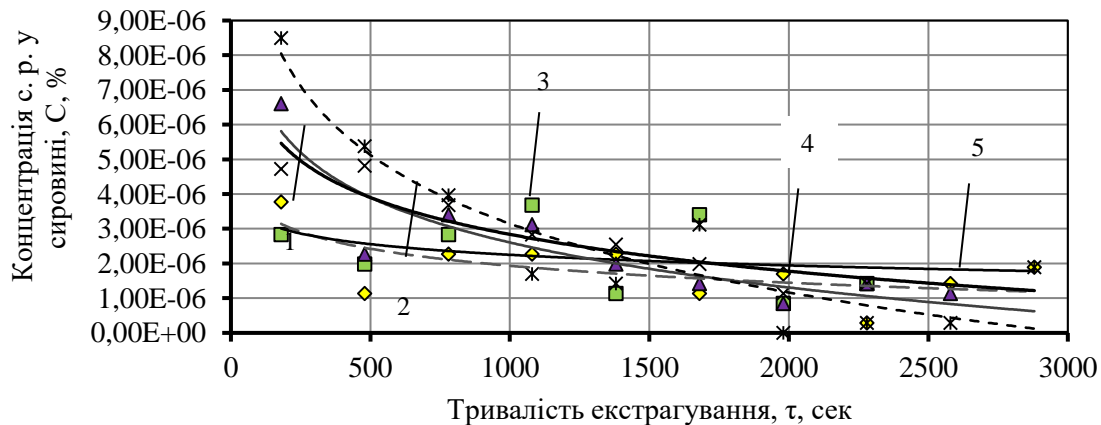


Рис.14. Значення коефіцієнта  $\beta$ : 1 – 1024 Вт; 2 – 682 Вт; 3 – 512 Вт; 4 – 273 Вт; 5 – 136 Вт.

Запропоновано схему переробки плодів шипшини й екстракту (рис.15).

Отримані за запропонованою технологією зразки екстрактів та їхні концентрати пройшли органолептичні й хімічні дослідження. Концентрати отримано у МХ-вакуум-випарному апараті, і в кріоконцентраторі блокового типу, розробленому в ОНАХТ.

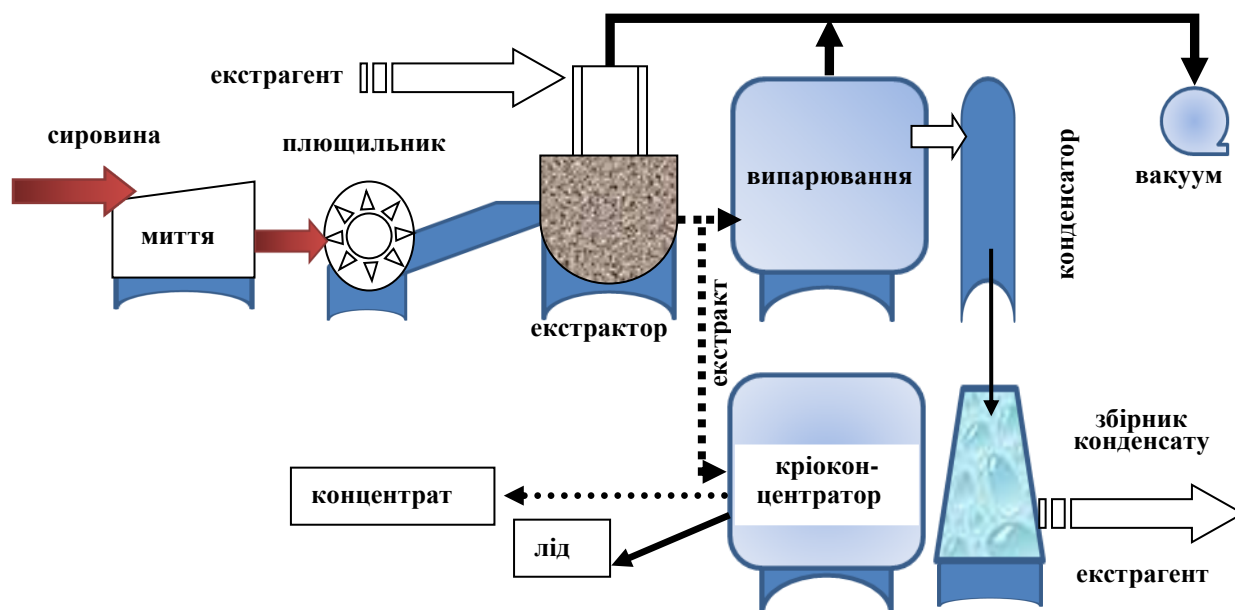


Рис.15. Схема комплексної переробки плодів шипшини.

Результати хімічного аналізу зразків концентрованих екстрактів наведено в табл.3.

Таблиця 3

#### Характеристика екстрактів і концентратів

зразок	Концентрація с.р., %	Вміст вітаміну С, мг/100 см <sup>3</sup>	Відносний с.у. вміст вітаміну С, %
Екстракт	4,2	430...550	10,2...13
Концентрат №1	24	3640...4050	9,2...10,2
Кріоконцентрат №2	14	2120...2310	11,2...12,5

Відомо, що в 100 г плодів шипшини в середньому міститься 470 ... 2400 мг вітаміну С у залежності від сорту та умов вирощування (0,47...2,4%). У шипшині гірляндовій або троянді коричній (*Rosa Cinnatomea*) вітаміну С більше, ніж у будь-якому іншому виді, – до 2400 мг на 100 г. Визначено, вміст сухих водорозчинних екстрактивних речовин для плодів шипшини коливається в межах 20...25%. Отже, відносно загального вмісту сухих речовин вміст вітаміну С складає 2,1...11 %.

Для концентрування обрано об'єм екстракту 500 см<sup>3</sup>. При концентруванні в МХВУ робочі температури коливались у діапазоні 30...40 °С. За 10 хвилин з екстракту виділено 412 см<sup>3</sup> води, вміст сухих речовин в екстракті склав 24 %. При криоконцентруванні 500 см<sup>3</sup> екстракту, тривалість заморожування блоку складала 13 хвилин.

При сепаруванні блоку льоду та концентрату отримано 160 см<sup>3</sup> екстракту концентрацією 12 %. Сепарування тривало 1 годину 18 хвилин за температури близької до 0 °С – температури фазового переходу для води.

Отримані зразки пройшли органолептичне дослідження (рис.16).

Бал 5 – відповідає насиченому, характерному для шипшини аромату, яскравого червонувато-помаранчевому кольору, смаку без відтінків варіння, з вираженим кислуватим присмаком, і однорідної консистенції.

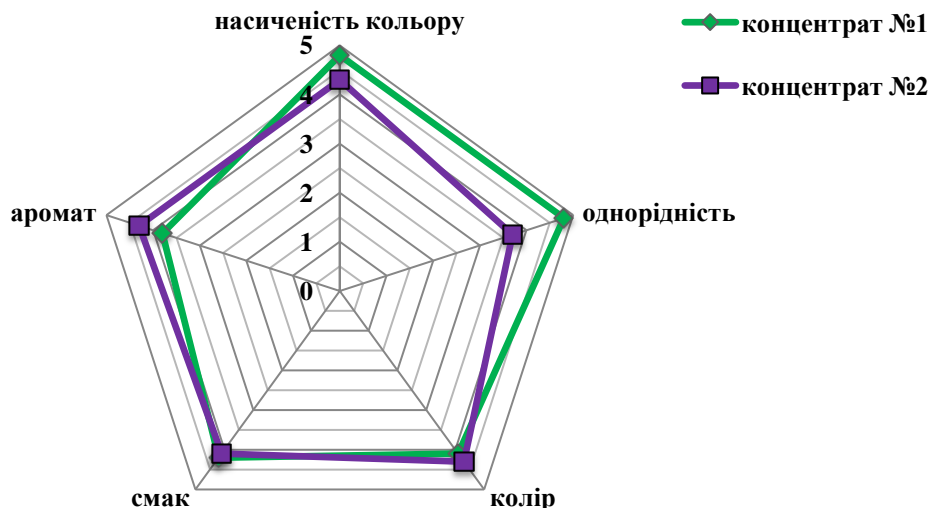


Рис. 16. Профілограма оцінки якості концентратів.

Можна зробити висновок, що кріоконцентрат (№2) краще за ароматом, кольором і смаком.

В додатках представлено результати впроваджень у виробництво та практичного застосування результатів роботи (додаток А), наукові праці здобувача (додаток Б), оптимізація режимних параметрів за допомогою програми «EXTRACTOR» (додаток В), дані про порядок узагальнення результатів досліджень (додаток Д), та інженерні методики оптимізації проточних екстракторів (додаток Е).

### ВИСНОВКИ

1. В роботі сформульовано і доведено гіпотезу, що використання у якості екстрагенту речовин з полярними молекулами, і перехід до електромагнітних принципів підведення енергії, дозволить здійснювати вихід цільових компонентів з плодів шипшини у вигляді двох потоків: традиційного дифузійного і додаткового гідродинамічного, при цьому потужність другого зможе на порядки перевищувати дифузійний.

2. В результаті аналізу фізичної схеми процесу запропонована параметрична модель, параметрами якості в якій прийняті концентрації екстракту на виході з апарату і величина питомих витрат енергії. Математична модель масопереносу в системі «шипшина - вода» включає статичні і кінетичні моделі, розроблені для процесу екстрагування з плодів шипшини.

3. Розроблено експериментальні стенди і відповідні методики для порівняння традиційних і запропонованих принципів екстрагування в електромагнітному полі. Традиційні режими імітувалися в термостаті. Екстрагування в МХ полі проводилося на стендах з нерухомим шаром, в режимі циркуляції екстрагенту і в умовах вакууму зі зворотним холодильником.

4. Комплексні експериментальні дослідження кінетики екстрагування в

електромагнітному полі встановили, що загальна кількість цільових компонентів вилучених під дією МХ поля, становить 22,3%, при екстрагуванні у нерухомому шарі використання МХ генератора в 5 разів інтенсифікує процес масопереносу, інтенсивність екстрагування в потоці при переході від цілих плодів до половинок зростає в 3 - 4 рази, а при збільшенні витрати в 5 разів зростає в 10 разів; інтенсивність екстрагування в вакуумі в порівнянні з циркуляційною схемою підвищується в 5,5 рази.

5. Методами теорії подібності отримана база експериментальних даних узагальнена у вигляді критеріальної моделі, яка використана як ключовий елемент в розробленій інженерній методиці розрахунку МХ екстракторів. Методика може використовуватися для проведення комп'ютерного моделювання і рішення задач оптимізації.

6. Обґрунтовано переваги вакуумного мікрохвильового екстрактора, який при переробці плодів шипшини забезпечить збереження функціональних компонентів плодів при зниженні питомих витрат енергії. Запропоновано схему лінії з таким екстрактором. Екстрактор дозволяє ефективно здійснювати процес за температур до 40 ° С. Результати стендових випробувань випарного апарату показали, що його паропродуктивність залишається практично незмінною у всьому діапазоні робочих концентрацій (від 12 до 85 % с.р.). Температури процесу випарювання не перевищували 40 °С.

7. Проведено дослідження впливу температури і концентрації на вміст вітаміну С у екстракті. Порівнювалися зразки в діапазоні концентрацій від 11 до 60 % с.р. Проведено дослідження зразків: екстракту (4,2 % с.р.), концентрату отриманого в МХ вакуумному апараті (24 % с.р.) і кріоконцентрату (14 % с.р.). Вміст вітаміну С в цих зразках склав, відповідно, 500; 4000 і 2200 мг/100 см<sup>3</sup>. Встановлено, що відносно загального вмісту сухих речовин вітаміну С, у всіх зразках зберігалось 10,2 ... 13%. Проведено сенсорний аналіз екстрактів, які визначили, що екстракти мають високу якість. Найкращі показники маж кріоконцентрат – насичений колір, аромат та смак.

8. Результати роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «Одеська паляниця». На підприємстві проведено виробничі випробування з випікання пшеничного хліба вищого сорту з використанням екстракту шипшини. Новий вид хліба отримав назву «Особливий новий». Розроблено ТУ і ТІ на виробництво такого хліба.

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Burdo, O., Alhurie, U., Syrotiuk, I., Levtrynskaya, J., Rosmami Pur, D. The using of mechanodiffusion effect in the production of concentrated polyextracts. *Food Science and Technology*, 12(3), 2018, Vol. 12, Is. 3. , P. 97-108. <https://doi.org/10.15673/fst.v12i3.1045>  
**Особистий внесок здобувача:** проведені експериментальні дослідження та їх аналіз, в співавторстві розроблено математичну модель.

2. Левтринская Ю. О., Альхурі Юсеф, Голінська Я.А., Терзієв С.Г. Вакуумні мікрохвильові технології при виробництві фітопрепаратів з плодів шипшини // 36. Наук. Пр. ОНАХТ. Одеса, 2018, Т. 82. №. 1. С.42-48.

<https://journals.onaft.edu.ua/index.php/swonaft/article/download/1004/1063> **Особистий внесок здобувача:** проведені експериментальні дослідження та їх аналіз, в співавторстві розроблено математичну модель.

3. Бурдо О.Г., Альхурі Юсеф, Давар Ростами Пур, Левтринская Ю. О. Застосування електромагнітний джерел енергії в інноваційних технологіях переробки харчової сировини // Зб. Наук. Пр. ОНАХТ Одеса, 2018. Т. 81. №. 2. С.119-125.

<http://journals.gsjp.eu/index.php/swonaft/article/viewFile/910/900> **Особистий внесок здобувача:** проведено літературний пошук, запропонував використати системного аналізу тепло технологій, проаналізовано результати досліджень.

4. Бурдо А.К., Альхари Ю., Ананійчук Е.Ю., Гончаров Д.С. Дослідження процесів виробництва неенергоємних концентрованих фітопрепаратів. // Зб. наук. пр. ОНАХТ. Одеса, 2017. Вип. 1, Т. 81 С.70-75.

<http://journals.gsjp.eu/index.php/swonaft/article/viewFile/678/924> **Особистий внесок здобувача:** проведені експериментальні дослідження та їх аналіз, в співавторстві розроблено математичну модель.

5. Бурдо О.Г., Бурдо А.К., Альхари Ю., Стротюк И.В. Массоперенос при экстрагировании из лечебного растительного сырья в электромагнитном поле // Зб. наук. пр. ОНАХТ Одеса, 2016. Вип. 1, Т. 80 С.59-67.

<http://journals.gsjp.eu/index.php/swonaft/article/viewFile/224/222> **Особистий внесок здобувача:** проведені експериментальні дослідження та їх аналіз, в співавторстві розроблено математичну модель.

6. Бурдо, О. Г., Сиротюк, И. В., Альхури, Ю., Левтринская, Ю. О. Микроволновая энергия, как фактор интенсификации тепломассопереноса. // Проблемы региональной энергетики Кишинев, 2018. Вип. (1 (36)). С.58-71.

<https://cyberleninka.ru/article/n/mikrovolnovaya-energiya-kak-faktor-intensifikatsii-teplomassopere-nosa> **Особистий внесок здобувача:** проведено літературний пошук, запропонував використати системний аналіз технологій, проаналізовано результати досліджень.

7. Бурдо О.Г., Альхурі Юсеф. Пути повышения энергетической эффективности процессов переработки плодов шиповника. // Зб. наук. пр. ОНАХТ. Одеса, 2015. Вип. 47, Т.2. С.118-122. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Np\\_2015\\_47\(2\)\\_30.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Np_2015_47(2)_30.pdf)

**Особистий внесок здобувача:** проведено літературний пошук, запропонував використати системний аналіз технологій, проаналізовано результати досліджень.

8. Бурдо А.К., Альхури Юсеф, Величко В.П. Инновационная технология экстрагирования при производстве фитопрепаратов // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции «Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности». Харьков, 2017. С. 184-187. **Особистий внесок здобувача:** проведені експериментальні дослідження та їх аналіз.

9. Бурдо А.К., Альхурі Ю. Экстрагування та концентрування фітопрепаратів в мікрохвильовому полі // Chemical Technology and Engineering (Хімічна технологія та інженерія): збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 2017. С.198-200. **Особистий внесок здобувача:** проведені експериментальні дослідження та їх аналіз.

10. Альхури Ю., Сиротюк И.В. Эффективное использование сырья и энергии при производстве фитопрепаратів // Зб. матер. IX Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів з міжнар. участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді» Одеса, 2016 С.236-237. **Особистий внесок здобувача:** проведені експериментальні дослідження та їх аналіз

11. Альхарі Ю., Бурдо А.К. Кінетика екстрагування фітопрепаратів в мікрохвильовому полі. // Матеріали конф. Міжнародна науково-практична конференція «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості». Київ, 2016. С.82-83. **Особистий внесок здобувача:** *проведені експериментальні дослідження та їх аналіз*

12. Лебеденко Т.Є., Соколова, Альхурі Ю Використання сиропу шипшини у технології пшеничного хліба // Зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф.«Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв». Одеса, 2016. С.367-371. **Особистий внесок здобувача:** *проведені експериментальні дослідження та їх аналіз*

13. Альхарі Ю. Энергоэффективные технологии переработки плодов шиповника // Матеріали науково-практичної конференції «Енергія. Бізнес. Комфорт». Одеса, 2015. С.44-45. **Особистий внесок здобувача:** *проведені експериментальні дослідження та їх аналіз*

14. Альхарі Ю. Повышение эффективности использования сырьевых ресурсов при переработке плодов шиповника // Зб. матер. VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодых ученых та студентів з міжнар. участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді». Одеса, 2015. С.336-337. **Особистий внесок здобувача:** *проведені експериментальні дослідження та їх аналіз.*

### АНОТАЦІЯ

**Альхурі Юсеф Еліас Жоржет. Кінетика екстрагування з плодів шипшини у мікрохвильовому апараті. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса 2019.

У роботі представлено апарат, що дозволяє отримати поліекстракт з плодів шипшини з застосуванням водного екстрагенту та температурах не вище 50 ° С, що позитивно впливає на якість продукту. Розглянуто різні конструкції апаратів.. Обґрунтовано структуру рівняння в узагальнених змінних для вакуумного екстрагування в мікрохвильовому полі з плодів шипшини. Досліджено гідравлічні процеси у апараті. Порівняння екстрагування традиційним тепловим способом і в мікрохвильовому полі, підтверджує, що при дії останнього підвищується загальний вихід екстрактивних речовин у 5 разів. Узагальнення експериментальних досліджень масообміну дозволило визначити ступеня в критеріальному рівнянні для числа Шмідта 0,43, Бурдо 0,35, безрозмірною проникності 0,42, еквівалентного діаметра частинок сировини 1,2. Складено інженерні методики розрахунку апарату. При експериментальних дослідженнях апарату отримано екстракт. Згідно з актами дегустації, отриманий продукт має високу якість, смакоароматичні властивості, що перевершують звичайний. Для додаткового підвищення концентрації екстракту використано метод блочного виморожування та вакуумного випарювання. Запропоновано комплексну схему переробки плодів шипшини

**Ключові слова:** екстрагування, масообмін, коефіцієнт масовіддачі, мікрохвильове поле, шипшина, поліекстракт, бародифузія.

## ABSTRACT

### **Alhuri Youssef Elias Georgette. Extraction kinetics from wild rose hips in a microwave field. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.**

Thesis for candidate's degree by specialty 05.18.12 – processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical industries, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa 2019.

This thesis is devoted to extraction from rose hips in microwave field. The modes of free flow of the extractant through the layer of raw material, extraction in the microwave field under atmospheric pressure and under the conditions of rarefaction are studied. In the introduction and the first chapter of the thesis reasons for urgency of the problem of producing herbal remedies based on wild rose hips, development of innovative approaches to extraction from medicinal plant material are presented. By using traditional heat treatment methods, it is impossible to ensure preservation of a large proportion of valuable components, such as vitamins and aromatic substances. The wide range of herbal remedies, technologies of their production, devices and modes for extraction process, technological lines are analyzed.

The world experience in production of herbal remedies, the actual problems of the production of herbal remedies based on wild rose are analyzed.

Noted that positive experience was gained from the use of microwave technologies, both in European countries and Asian scientific schools. Device for microwave extraction show good results. Analysis of experimental and analytical methods of research has been carried out, methods have been determined, number of studies have been planned. In the second chapter of the thesis these methods are presented, methods of experimental and analytical modeling are described.

The third chapter of the thesis presents the results of experimental research using laboratory stands, including innovative equipment. Innovative equipment provided in the thesis allows obtaining concentrated rose hips extracts. It is revealed that due to phenomenon of barodiffusion, possibility of obtaining polyextract with the use of one extractant - water, appears.

Goal of modeling hydrodynamic and mass transfer processes under conditions of rarefaction is to define the constituents of the criterion equations which can not be determined analytically. Using the techniques of similarity theory and dimensional analysis, a general type of mathematical model is established. Given the peculiarities of the process of extraction in the machine, model is simplified. Effect on the magnitude of coefficient is the difference in concentrations between the extract and the solid phase, contact area of the extraction phase and the raw material, duration of extraction, specific heat of vapor formation, and the field strength.

Kinetics of mass transfer during extraction from rose hips, conditions of phase equilibrium were determined. Experimental determination of the maximum content of dry matter in the rose hips variety used in the studies, which was 23% of total weight of the fruits. In the course of experimental studies, the efficiency of extraction in a thermostat and in a microwave field is comparatively. It is

determined that when using a microwave field, the efficiency of extraction increases by about 5 times. It was also established that the vitamin C content and other extractive components significantly increase in the extracts obtained. The results of experiments prove that there is a barodiffusion effect, which contributes to the release of more extractive components. The analysis of material balances showed that during the extraction process, the solid phase is more efficient than classical extraction. On average, 2...5% more extractive components can be removed.

The influence on the kinetics of hydromodule extraction, the intensity of the action of the microwave field, and the size of the hips fetal particles has been experimentally determined. In the conditions of free flow of the extractant through the layer of raw material, the influence of the extractant's charge on the initial concentration of the extract is determined, and the dependence on the results of the experiments is constructed. The fourth section of the paper presents the results of simulation and optimization of the apparatus and models. Using the methods of similarity theory and the dimension analysis method, degree constants for Schmidt, Burdo numbers, and dimensionless parametric permeability are determined.

The number of studies have been conducted to increase the concentration of hips extract. Concentration was carried out with a low-temperature method (cryoconcentration) and vacuum microwave concentration. The regime parameters, kinetics are determined. In a vacuum microwave for concentration it is possible to obtain concentrates at temperatures 30 ... 50 ° C. The resulting samples are subject to quality analysis. The sensory analysis was performed, indicators such as color, taste, aroma, consistency of the extract, saturation of taste and aroma were determined. In the samples obtained, the content of ascorbic acid by the Tilmans method. Samples of cryoconcentrate and concentrate obtained in a vacuum microwave machine have high quality, distinct aroma and color, and maintain good vitamins during processing. Reserves for increasing the concentration in a vacuum microwave machine reach 90%. For low-temperature concentration, the index is close to 60%. Exclusion of energy-consuming evaporation processes can significantly reduce energy intensity of the process.

In vacuum devices, mode of low-temperature boiling in combination with the effect of barodiffusion is realized. This makes the technology very energy efficient and allows to save maximum amount of nutrients in the extract due to lack of exposure to high temperatures.

**Key words:** rose hips, medicinal plant material, extraction, mass transfer, mass transfer coefficient, microwave field, soluble coffee, counterproduction, barodiffusion.









Підписано до друку 19.02.2019 р. Формат 60×90/16. Папір офсет. Друк офсет.  
Умов. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Замовл. № 928

---

Видавничій центр ОНАХТ, 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112