

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

АЛЬХУРІ ЮСЕФ ЕЛІАС ЖОРЖЕТ

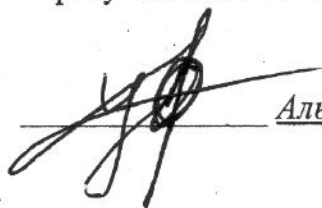
УДК 664.85.061.35.086.2

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

05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Альхурі Юсеф Е.Ж.

Науковий керівник
Бурдо Олег Григорович
зав. каф. процесів, обладнання та
енергетичного менеджменту
ОНАХТ,
доктор технічних наук, професор

Примірник дисертації ідентичний за
змістом з іншими примірниками
дисертації

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



Т.І. Нікітчина

Одеса – 2019

АНОТАЦІЯ

Альхурі Юсеф Еліас Жоржет. Кінетика екстрагування з плодів шипшини у мікрохвильовому полі. – 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.

Дисертаційну роботу присвячено екстрагуванню з плодів шипшини за умов дії мікрохвильового поля. Досліджуються режими вільного протікання екстрагенту крізь шар сировини, екстрагування у мікрохвильовому полі при атмосферному тиску та за умов розрідження.

У вступі та першому розділі роботи подано обґрунтування вибору теми, проблематика виробництва фітопрепаратів на основі шипшини, розвитку інноваційних підходів до екстрагування з лікарської рослинної сировини. При використанні традиційних теплових методів обробки неможливо забезпечити збереження великої частки цінних компонентів, таких як вітаміни та ароматичні речовини. Проаналізовано широку номенклатуру фітопрепаратів, технології їхнього виготовлення, апарату та режими для здійснення процесу екстрагування, технологічні лінії.

Проаналізовано світовий досвід виробництва фітопрепаратів, актуальні проблеми виробництва фітопрепаратів на основі шипшини. Більшість проблем пов'язана із впливом високих температур та тривалістю процесів. У результаті втрачається значна кількість вітамінів та біологічно-активних речовин, що знижує цінність препаратів на основі шипшини. Переробка плодів шипшини поділяється на багато етапів, кожний з яких вимагає значних витрат енергії: водне екстрагування, сушіння жому після екстрагування, повторне екстрагування органічними розчинниками, процеси концентрування екстрактів.

Відмічено, що позитивний досвід отримано при використанні мікрохвильових технологій, як у країнах Європи так і в Азіатських наукових

школах. Апарати для мікрохвильового екстрагування показують гарні результати. У Одеській національній академії харчових технологій на кафедрі процесів, обладнання та енергетичного менеджменту створено наукову школу, де вивчено та дано визначення ефекту бародифузії та технологій спрямованої енергетичної дії. Спираючись на цей досвід запропонована нова технологія та апарат для екстрагування з плодів шипшини.

Проведено аналіз експериментальних та аналітичних методів досліджень, визначено методики експериментального моделювання, сплановано ряд досліджень. У другому розділі роботи представлено ці методики, викладено методи експериментального та аналітичного моделювання. Обрано аналітичні прилади для визначення важливих показників, таких як температура, концентрація сухих водорозчинних речовин у екстракті, маса, тиск, час, напруга та сила струму у мережі, тощо. Наведено технічні характеристики цих приладів та похибки вимірювань.

У третьому розділі роботи наведено результати експериментальних досліджень з використанням лабораторних стендів, у тому числі – інноваційного обладнання. Представлене у роботі інноваційне обладнання дозволяє отримувати концентровані екстракти шипшини. Результатами досліджень підтверджується, що завдяки виникненню явища бародифузії з'являється можливість отримання поліекстракту при використанні одного екстрагенту – води. Завдяки селективній дії мікрохвильового поля можливо підвищити енергетичну ефективність процесу. Камеру екстрактора виконано з радіопрозорого матеріалу. Тиск у камері підтримується за допомогою вакуумного насосу та системи конденсації випарюваного екстрагенту. Процес екстрагування здійснюється за температури 30...50 °С та тиску 15...25 кПа.

Метою моделювання гідродинамічних та масообмінних процесів за умов розрідження є визначення складових критеріальних рівнянь, які не можуть бути визначені аналітично. З використанням методик теорії подібності та аналізу розмірностей встановлено загальний вигляд математичної моделі. Зважаючи на

особливості протікання процесу екстрагування у апараті модель спрощено. Для даного випадку число Нусельта масообмінного (Nu_m) виражається в залежності від чисел Шмідта (Sc), енергетичної дії Бурдо (Bu), безрозмірної проникності (Π). Сумарний масовий потік складається з дифузійного потоку з плодів шипшини, конвективного дифузійного потоку від їхньої поверхні і бародифузійного потоку, що виникає при впливі мікрохвильового поля. Визначення усіх складових в окремі надзвичайно складна задача, що вимагає чутливої техніки та потужних оптичних приладів. Критерієм оцінки якості процесу екстрагування обрано ефективний коефіцієнт масовіддачі. Вплив на величину коефіцієнта мають різниця концентрацій між екстрактом та твердою фазою, площа контакту фаз екстрагенту та сировини, тривалість екстрагування, питома теплота пароутворення і потужність поля.

Експериментально досліджено гідравлічні процеси для екстрагування за умов вільного протікання екстрагенту та нерухомого шару сировини та екстрагенту. Визначено режими течії при зміні витрати екстрагенту і еквівалентного розміру частинок шипшини. Встановлено, що цілі плоди складніше піддаються екстрагуванню через водонепроникну шкірочку, при подрібненні до половинок, четвертинок і дрібніше вплив на концентрацію екстракту був незначний. На основі даних експерименту визначені безрозмірні числа Рейнольдса та Ейлера для умов вільного протікання екстрагенту крізь шар шипшини різного ступеня подрібнення. За результатами досліджень представлено залежності та математична модель.

Досліджено кінетику масообміну при екстрагуванні з плодів шипшини, визначено умови фазових рівноваг. Експериментально визначено максимальний вміст сухих речовин у плодах шипшини сорту Шипшина Корична, що використовувалися у дослідженнях, який склав 23 % від загальної маси плодів. У ході експериментальних досліджень порівняно ефективність екстрагування у термостаті та у мікрохвильовому полі. Визначено, що при використанні мікрохвильового поля ефективність екстрагування підвищується приблизно у 5 разів. Встановлено також, що суттєво підвищується вміст

вітаміну С та інших екстрактивних компонентів у отриманих екстрактах. Результати експериментів доводять, що має місце ефект бародифузії, що сприяє виходу більшої кількості екстрактивних компонентів. Аналіз матеріальних балансів показав, що у процесі екстрагування більш ефективно, ніж за класичного екстрагування використовується тверда фаза. У середньому на 2...5 % більше екстрактивних компонентів вдається вилучити.

Експериментально визначено вплив на кінетику екстрагування гідромодуля, інтенсивності дії мікрохвильового поля, розміру часточок плодів шипшини. За умов вільного протікання екстрагенту крізь шар сировини визначено вплив витрати екстрагенту на вихідну концентрацію екстракту, побудовано залежності за результатами експериментів.

Проведено експериментальні дослідження екстрагування у вакуумному мікрохвильовому екстракторі. Підтверджено, що за температур нижче 50 °С можливо отримати екстракти шипшини концентрацією не нижче, ніж звичайними методами та у мікрохвильовому полі за атмосферного тиску. Поєднання бародифузійних ефектів та зниження в'язкості та густини екстрагенту у вакуумі демонструють виский потенціал інтенсифікації процесу.

У четвертому розділі роботи представлено результати моделювання та оптимізації апарату та моделей. За допомогою методів теорії подібності та методу аналізу розмірностей визначені константи ступенів для чисел Шмідта, Бурдо, безрозмірною параметричної проникності.

Проведено ряд досліджень підвищення концентрації екстракту шипшини. Концентрування проведено з низькотемпературним методом (кріоконцентрування) та вакуумним мікрохвильовим концентруванням. Визначено режимні параметри, кінетику. У вакуумному мікрохвильовому апараті для концентрування можливо отримати концентрати за температур 30...50 °С. Отримані зразки піддано аналізу якості. Проведено сенсорний аналіз, визначено такі показники, як колір, смак, аромат, консистенція екстракту, насиченість смаку та аромату. У отриманих зразках вміст аскорбінової кислоти за методикою Тільманса. Зразки кріоконцентрату та

концентрат, отриманий у вакуумному мікрохвильовому апараті, мають високу якість, виразні аромат та колір, добре зберігають вітаміни у процесі обробки. Резерви підвищення концентрації у вакуумному мікрохвильовому апараті сягають 90 %. Для низькотемпературного концентрування показник близький до 60 %. Виключення енерговитратних процесів випаровування дозволяє суттєво знизити енергоємність процесу.

У вакуумних апаратах реалізується режим низькотемпературного кипіння у поєднанні з ефектом бародифузії. Це робить технологію дуже енергоефективною і дозволяє зберегти максимальну кількість корисних речовин у екстракті завдяки відсутності впливу високих температур.

Розроблено інженерні методики розрахунку апаратів. Зокрема, апарату з вільним протіканням екстрагенту, вакуумного мікрохвильового екстрактора. Також складено алгоритм роботи для лінії комплексної переробки плодів шипшини за інноваційною технологією. Оцінка економічної ефективності та комп'ютерне моделювання проведено за допомогою програм EXTRACTOR і MS Excel. Оптимізація режимних параметрів з використанням експериментальних даних проведена у середовищі програми EXTRACTOR.2. Визначено максимальні значення цільової функції – економічного оптимуму. Побудовано типорозмірний ряд вакуумних мікрохвильових екстракторів.

У доданках відображено порядок визначення чисел подібності, результати розрахунків. Схеми та таблиці. Акти впровадження результатів роботи. Результати роботи впроваджено на підприємстві ПАО «Одеська паляниця». Отриманий екстракт використано у рецептурі хліба для поліпшення якості виробів. Розроблено технічні умови для продукту з екстрактом шипшини. Подано список публікацій здобувача, що включає 14 найменувань. Представлено лістинг програми EXTRACTOR, використаної для оптимізації результатів розрахунків.

Ключові слова: шипшина, лікарська рослинна сировина, екстрагування, масообмін, коефіцієнт масовіддачі, мікрохвильове поле, розчинна кава, протитечія, бародифузія.

ABSTRACT

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

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

The dissertation is devoted to extraction of hips from the fruits of the 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 section of the work the reasons for the urgency of the problem of producing phytopreparations based on hipster, the development of innovative approaches to extraction from medicinal plant material are presented. By using traditional heat treatment methods, it is impossible to ensure the preservation of a large proportion of valuable components, such as vitamins and aromatic substances. The wide range of phytopreparations, technologies of their manufacture, apparatus and regimes for the extraction process, technological lines are analyzed.

The world experience in the production of phytopreparations, the actual problems of the production of phytopreparations based on wild rose are analyzed. Most of the problems are related to the effects of high temperatures and the length of processes. As a result, a significant amount of vitamins and biologically active substances is lost, which reduces the value of hipster preparations. The processing of hips is divided into many stages, each of which requires significant energy expenditure: water extraction, drying pulp after extraction, re-extraction with organic solvents, processes for concentrating extracts.

It is noted that positive experience was gained from the use of microwave technologies, both in European countries and in Asian scientific schools. Apparatus for microwave extraction show good results. A scientific school was created at the Odessa National Academy of Food Technologies at the Department of Processes, Equipment and Energy Management, where the effect of barodiffusion and energy-

directed technologies was studied and determined. Based on this experience, a new technology and apparatus for extracting hips from the fruit is offered.

The analysis of experimental and analytical methods of research has been carried out, methods have been determined, a number of studies have been planned. In the second section of the work these methods are presented, methods of experimental and analytical modeling are described. Selected analytical instruments for the determination of important parameters such as temperature, concentration of dry water-soluble substances, mass, pressure, time, voltage and current in the network, etc.

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

Thanks to the selective action of the microwave field, it is possible to increase the energy efficiency of the process. The extractor chamber is made of radio-transparent material. The pressure in the chamber is maintained with the aid of a vacuum pump and a condensation system of the evaporative extractant

The purpose of modeling hydrodynamic and mass transfer processes under the 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, the model is simplified. By methods For this case, the number of Nusselt mass transfer is expressed in dependence on the numbers of Schmidt, Burdo, dimensionless permeability.

The total mass flow consists of a diffusion stream of rose hips, a convective diffusion stream from their surface, and a barodiffusion flux that occurs when the microwave field is affected. Determining all the components separately is a surprisingly complicated task that requires sensitive technology and powerful optical devices. The criterion for evaluating the quality of the extraction process is the

effective coefficient of mass deduction. The effect on the magnitude of the coefficient is the difference in the concentrations between the extract and the solid phase, the contact area of the extraction phase and the raw material, the duration of extraction, the specific heat of vapor formation, and the field strength.

Hydraulic processes for extraction under conditions of free flow of extractant and a stationary layer of raw material and extractant have been experimentally studied. The modes of flow are determined when the expense of the extractant and the equivalent size of the hipster particles is changed.

It has been established that whole fruits are more difficult to extract through waterproof skins, with chopping up to halves, quarters and a smaller effect on the concentration of the extract was insignificant. On the basis of the experiment data, the dimensionless numbers of Reynolds and Euler were determined for conditions of free flow of the extractant through a hipstail of different degree of grinding. According to the results of research, dependencies and a mathematical model are presented.

The kinetics of mass exchange during extraction from hips, the conditions of phase equilibrium were determined. Experimental determination of the maximum content of dry matter in the hips of the Shipshina Korichna variety used in the studies, which was 23% of the 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%. The exclusion of energy-consuming evaporation processes can significantly reduce the energy intensity of the process.

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

The engineering methods of calculation of devices are developed. In particular, a device with a free flow of extractant, a vacuum microwave extractor. An algorithm of work for the line of complex processing of hips grown by innovative technology is also prepared. An assessment of cost-effectiveness and computer simulation was

conducted using EXTRACTOR and MS Excel programs. Optimization of regime parameters using experimental data was carried out in the EXTRACTOR.2 program environment. The maximum values of the target function - the economic optimum are determined. A typical size series of vacuum microwave extractors was constructed. The plots display the order of determining the numbers of similarity, the results of calculations. Schemes and tables.

Acts of implementation of the results of work. The results of the work were implemented at PJSC "Odesa Palyanitsa". The extract obtained is used in the formulation of bread to improve the quality of products. Technical conditions for the product with rose hipster extract are developed. The list of publications of the applicant, which includes 14 titles, is given. Listing of the EXTRACTOR program used to optimize the calculation results is presented.

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

Список публікацій здобувача

1. Burdo, O., Alhurie, U., Syrotiuk, I., Levtrinskaya, 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>
2. Левтринская Ю. О., Альхурі Юсеф, Голінська Я.А., Терзієв С.Г. Вакуумні мікрохвильові техногії при виробництві фітопрепаратів з плодів шипшини // Зб. Наук. Пр. ОНАХТ Одеса, 2018. Т. 82. №. 1. С.42-48. <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/swonaft/article/download/1004/1063>
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>
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>
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>

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-teplomassoperenosa>

7. Бурдо О.Г. Пути повышения энергетической эффективности процессов переработки плодов шиповника [Текст]/ О.Г. Бурдо, Ю. Альхури // 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)

8. Бурдо А.К. Инновационная технология экстрагирования при производстве фитопрепаратов / А.К. Бурдо, Альхури Юсеф, В.П. Величко // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции «Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности». Харьков, 2017. С. 184-187.

9. Бурдо А.К. Екстрагування та концентрування фітопрепаратів в мікрохвильовому полі / А.К. Бурдо, Ю. Альхури // Chemical Technology and Engineering (Хімічна технологія та інженерія): збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції – м. Львів, 2017 С.198-200.

10. Альхури Ю. Эффективное использование сырья и энергии при производстве фитопрепаратов [Текст] / Ю. Альхури, И.В. Сиротюк // Зб. матер. IX Всеукр. наук.-практ. конф. молодых ученых та студентов з міжнар. участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді» Одеса, 2011. С.236-237.

11. Альхури Ю. Кінетика екстрагування фітопрепаратів в мікрохвильовому полі / Ю. Альхури, А.К. Бурдо [Текст] // Матеріали конф. Міжнародна науково-практична конференція «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості». Київ, 2016. С.82-83.

12. Використання сиропу шипшини у технології пшеничного хліба [Електронний ресурс] / Т.Є. Лебеденко, Соколова, Альхури Ю. // Зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф. «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв». Одеса, 2016. С. 367-371.

13. Альхури Ю. Энергоэффективные технологии переработки плодов шиповника [Текст] / Ю. Альхури // Матеріали науково-практичної конференції «Енергія. Бізнес. Комфорт». Одеса, 2015. С. 44-45.

14. Альхури Ю. Повышение эффективности использования сырьевых ресурсов при переработке плодов шиповника [Текст] / Ю. Альхури // Зб. матер. VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодых ученых та студентов з міжнар. участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді». Одеса, 2015. С. 336-337.

ЗМІСТ

	стр.
ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, СКОРОЧЕННЯ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ Й ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДІВ ШИПШИНИ	
	14
Характеристика шипшини як перспективної лікарської	
1.1. рослинної сировини	14
Характеристика препаратів, що випускаються на основі плодів	
1.2. шипшини	19
Сучасна технологія одержання висококартоноїдного препарату	
1.3. шипшини	23
Нова методика одержання рослинних поліекстрактів	
1.4. двофазними системами екстрагентів	27
1.5. Досягнення у техніці екстрагування з рослинної сировини	31
1.6. Розвиток технологій екстрагування з рослинної сировини	36
Інноваційні технічні рішення в техніці екстрагування з	
1.7. рослинної сировини	41
Основи теорії масопереносу при екстрагуванні у	
1.8. мікрохвильовому полі.	42
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	51
Список використаних джерел до розділу 1	52
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ Й ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
	67
2.1. Формулювання науково-технічних гіпотез	67
2.2. Характеристика загальних завдань досліджень	69

	Методи математичного моделювання мікрохвильових	
2.3.	екстракторів	70
2.4.	Методи експериментального моделювання	90
	ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	105
	Список використаних джерел до розділу 2	107
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ		
ЕКСТРАГУВАННЯ ІЗ ПЛОДІВ ШИПШИНИ		
		113
3.1.	Характеристика об'єкта досліджень.	113
3.2.	Принципові схеми експериментальних стендів.	114
3.3.	Порядок проведення експериментів.	115
3.4.	Вміст водорозчинних речовин у плодах шипшини	118
	Приватні експериментальні залежності процесів екстрагування	
3.5.	плодів шипшини в нерухливому шарі	121
	Вплив тривалості попередньої обробки плодів у МХ полі на	
3.6.	кінетику процесів екстрагування	125
	Вплив циклів «залив - обробка» на кінетику процесів	
3.7.	екстрагування	130
3.8.	Вплив швидкості потоку на кінетику процесів екстрагування	132
	Кінетика екстрагування із плодів шипшини в умовах вакууму й	
3.9.	мікрохвильового поля	135
	ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	138
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ ІННОВАЦІЙНОЇ		
ТЕХНІКИ, РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ		
		140
	Інженерні методики розрахунку та проектування вакуумних	
4.1.	мікрохвильових екстракторів	140
4.2.	Узагальнення бази експериментальних даних.	142
4.3.	Інженерні методики розрахунку мікрохвильових вакуумних	

апаратів.	146
Розробка технологічної схеми виробництва	
4.4. висококонцентрованих екстрактів із плодів шипшини	144
Випробування вакуумного випарного апарата при	
4.5. концентруванні екстракту шипшини	157
4.6. Оцінка якісних показників екстрактів і їхніх концентратів.	161
4.7. Рекомендації до впровадження в промисловість.	162
Аналіз бізнес-перспектив розробок лінії переробки плодів	
4.8. шипшини.	163
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	165
Список використаних джерел до розділу 4.	168
ВИСНОВКИ.....	169
ДОДАТКИ.....	171
ДОДАТОК А. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	
РОБОТИ	171
ДОДАТОК Б. Список публікацій здобувача	191
ДОДАТОК В. Оптимізація режимних параметрів за допомогою програми	
«EXTRACTOR»	194
ДОДАТОК Д. Узагальнення результатів досліджень	207
ДОДАТОК Е.Порядок розрахунків гідродинамічних характеристик	
апарата.	209

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧКИ, СКОРОЧЕННЯ

Найменування	Позначення	Одиниці вимірів
Ефективний коефіцієнт масовіддачі, враховуючий внутрішні, зовнішні і бародифузійні процеси	β_E	м/с
Різниця	Δ	
Товщина шару	δ	м
Відносна помилка	δ	%
Поризність шару шипшини	ε	
Поризність у екстрагованій частці шипшини	ε_k	
Температура	t	°С
Коефіцієнт гідравлічного тертя	λ	
Кінематичний коефіцієнт в'язкості	ν	м ² /с
Динамічний коефіцієнт в'язкості екстрагенту	μ	Па·с
Місцеві опори	ξ	кг/кг
Густина	ρ	кг/м ³
Коефіцієнт поверхневого натягу	σ	Дж/м ²
Час	τ	с, хв
Співвідношення фаз тверде тіло – рідина (гідромодуль)	q	
Концентрація екстрактивних речовин у рідкій фазі	X	%, кг/м ³
Концентрація екстрактивних речовин у твердій фазі	C	%, кг/м ³
Питома теплоємність при постійному тиску	c_p	Дж/кг·К
Питома теплота паротворення	r	Дж/кг
Коефіцієнт дифузії	D	м ² /с
Діаметр	d	м
Площа	F, f	м ²
Маса	G, m	кг

Найменування	Позначення	Одиниці вимірів
Масова витрата сировини	Gc	кг/с, кг/год
Об'ємна витрата екстрагенту	Ge	м ³ /с, л/ч
Прискорення вільного падіння	g	м/с ²
Товщина шару сировини	δ	м, мм
Висота	H, h	м, мм
Довжина	L, l	м, мм
Ширина	B	м, мм
Масовий потік	J	% /с, кг/с
Проникність шару	k	м ²
Кількість частинок	n	шт.
Мікрохвильова питома потужність	N	Вт/кг
Питома споживана потужність	$N_{y\delta}$	кДж/кг
Питома площа поверхні частки	$S_{y\delta}$	м ² /м ³
Тиск	P	Па
Функціонал економічної ефективності	Z	грн/змiна
Витрата екстрагенту	V	м ³ /с
Об'єм	V	м ³
Швидкість	w	м/с

Безрозмірні числа й параметри

Stm	число Стантона масообмінне	Sc	число Шмідта
Sh	число Шервуда	Bi	число Бурдо
Re	число Рейнольдса	Π	безрозмірна параметрична проникність

Вступ

Фітопрепарати (ФП), що містять комплекс біологічно активних речовин (БАР), характеризуються широким спектром фармакологічної дії, ефективністю й малою токсичністю, що дозволяє використовувати їх тривалий час для профілактики й лікування багатьох захворювань без ризику виникнення побічних явищ. За даними Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ), близько 80% населення світу при первинній медико-санітарній допомозі користуються, в основному, традиційними медикаментами природного походження [1]. Потреба населення в препаратах природного походження задовольняється не повністю, зокрема, це відбувається через дефіцит лікарської рослинної сировини (ЛРС). Номенклатура й обсяг пропозицій на ринку ЛРС не відповідають потребі, зростіння якої відзначається останніми роками [2].

В Україні й світі динамічно розбудовується ринок продуктів здорового харчування, натуральних лікувальних препаратів (галенові препарати), харчових добавок. Певний сегмент на цьому ринку займають сиропи шипшини, багаті вітамінами, зокрема – С и Р. Загалом, сиропи шипшини мають загальнозміцнювальну й імуностимулюючу дію й належать до категорії фітопрепаратів. З літературних джерел відомо, що шипшина є рекордсменом за вмістом аскорбінової кислоти. Однак, при переробці сировини із застосуванням теплових методів більша кількість вітаміну С втрачається через його термолабільність – руйнується при 60 °С. У виробництві сиропів шипшини традиційно використовуються дифузори Гузенко [1], де процес екстрагування відбувається при температурах 75...80 °С з використанням водних екстрагентів. Після цього екстракт фільтрується, а шипшину віджимають для відділення соку. Готовий екстракт згущають у випарних апаратах до концентрації 55...60%. Варто відзначити, що велика кількість корисних речовин втрачається ще на етапі підготовки плодів. Застосовуються теплові методи сушіння при температурах понад 100 °С. Визначено [3], що втрати вітамінів при таких режимах однаково менше ніж при тривалому сушінні при 50 °С, крім того, знижується ризик псування сировини (скисання, згіркання, появи цвілі і т.д.) за

рахунок скорочення тривалості процесу. Теплові технології можуть бути вдосконалені, однак уже сьогодні застосовуються більш сучасні методи обробки: сушіння у середовищі інертних газів, сублімаційне сушіння, фільтраційне, мікрохвильове й вібраційне сушіння й екстрагування, і таке інше. Враховуючи, що при виробництві фітопрепаратів велике значення має якість готового продукту, інноваційні технології скоріше впроваджуються саме для фармацевтичних виробництв.

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 по кожній з найбільш широко використовуваних 235 рослин. Однією з найпоширеніших, серед лікарської сировини, використовуваної для виготовлення фітопрепаратів, є шипшина. За змістом вітаміну С шипшина перевершує майже всі рослинні продукти. Вміст вітаміну С у м'якоті зрілих плодів коливається від 4,8 до 14,4% і більше, що перевершує вміст його у чорній смородині приблизно у 10 разів, а в яблуках в 100 разів. Кількість аскорбінової кислоти підвищується з дозріванням плодів. Крім вітаміну С, плоди шипшини містять провітамін А (12-18 мг%), вітаміни Е, В₂, Р, а також цукор (близько 18%), дубильні речовини (4,5%), лимонну кислоту (близько 2%), пектинові речовини. Насіння містить жирну олію, вітамін Е.

Основним процесом при виробництві фітопрепаратів є екстрагування. Для традиційних технологій виробництва екстрактів із ЛРС характерні серйозні науково-технічні протиріччя. З однієї сторони для збереження цільових

компонентів препаратів, які в більшості випадків є термолабільними, обмежуються рівні термічного впливу в процесі масопереносу. А це приводить 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 їх 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 їх 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 використана на стадіях визначення аналітичних та експериментальних моделей; методи теплофізичного моделювання, до яких входить калориметрування для визначення питомої поглинутої енергії при екстрагуванні, визначення термограм процесу, визначення концентрації зразків методами висушування; фізичні методи аналізу структури розчинів: визначення оптичної густини на спектрометрах, оптичні методи визначення вмісту сухих речовин за допомогою рефрактометрів, експериментальні дослідження з використанням контрольнo-вимірювальної апаратури: зняття термограмм, визначення кінетики екстрагування та зневоднення, визначення ваги зразків. Математичне моделювання з використанням комп'ютерної техніки і прикладних програмних пакетів (Microsoft Excel, об'єктно-орієнтована мова програмування Delphi)

використані для визначення адекватності отриманих експериментальних залежностей, оптимізації технологічних та конструктивних параметрів .

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 спектра цільових компонентів, оскільки виявиться можливим вихід із 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 їх 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 величину витрат 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 їх 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).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ Й ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДІВ ШИПШИНИ

У розділі розглянуті проблеми традиційних теплотехнологій переробки лікувальної рослинної сировини, плодів шипшини й позначені перспективні інноваційні напрямки їх удосконалювання.

1.1. Характеристика шипшини як перспективної лікарської рослинної сировини

Найбільше поширення одержала шипшина корична (*Rosa cinnamomea* L.). Її синоніми: троянда корична, шипняк, шипшина, петушині плоди, свороборина. Це колючий чагарник сімейства трояндових (*Rosaceae*), висотою до 2 м. Стеблини тонкі, блискучі, коричнево-червоні з нечисленними невеликими, трохи вигнутими шипами, що сидять звичайно по 2 у підстави листів. Плоди (гіпантії) кулясті або яйцеподібні, гладкі, голі, жовтогарячі або червоні, м'ясисті, містять численні плодики (горішки). Внутрішні стінки плода вкриті волосками, нагорі плода зберігаються чашолистки. Цвіте із травня по липень, плоди дозрівають у серпні - вересні, зберігаючись на галузях до зими. Шипшина плодоносить із 3-річного віку, найбільший врожай рослини дають в 12-річному віці. Вік окремих рослин досягає 400 років.

Лікарською сировиною є плоди шипшини. Збирають плоди коли вони здобувають помаранчево-червону або червоне забарвлення, але ще трохи не дозріли, тверді й не вимагають особливої обережності при зборі. Збір необхідно закінчувати до настання морозів, тому що плоди, торкнуті морозом, втрачають під час сушіння велику кількість вітамінів. Плоди збирають вручну в кошики або цебра. Зберігатися вони можуть не більше 3-4 діб. Після збору їх необхідно висушити. Можна сушити на сонці або на горищах з гарною вентиляцією, розстеляючи тонким шаром, однак краще в сушарках при температурі 80-90 °С (при такій температурі втрати вітамінів незначні). Строк придатності сировини 2

року. Запах у сировини відсутній, смак солодкий, що злегка в'яже.

Квітки й листи збирають під час цвітіння, сушать на повітрі. Коріння викопувають глибокої осені, очищають від землі, сушать на повітрі. Строк придатності коріння 2 роки, квіток 1 рік. Для одержання олії шипшини окремо заготовлюються також плодики (горішки).

У якості вітамінної сировини використовуються й інші види шипшини: шипшина вуглиста (*Rosa acicularis Lindl.*) відрізняється від шипшини коричневого наявністю прямих або слабовигнутих колючок; шипшина даурська (*Rosa davurica Pall.*) має буру або чорно-пурпурну кору; шипшина Беггера (*Rosa beggerana Schrenk.*) відрізняється від шипшини коричневого майже прямостоячими струнками паростями, білими пелюстками й дрібними кулястими плодами; шипшина Федченко (*Rosa Fedtschenkoana Regel*) відрізняється від шипшини коричневого великими білими, рідше рожевими квітками й дуже великими плодами; шипшина зморшкувата (*Rosa rugosa Thunb.*) відрізняється наявністю численних прямих, неоднакової довжини шипів з домішкою голкоподібних колючок або щетинок, темно-малиновими пелюстками, великими кулястими або сплюснуто-кулястими яскраво-червоними плодами.

Шипшина собача (*Rosa canina L.*) використовується для виготовлення жовчогінних препаратів ("Холосас"). Особливо часто зустрічається в південних областях України, у Молдові, на Кавказі [3].

Хімічний склад. У плодах шипшини коричневої містяться: аскорбінова кислота (5-18 %), каротин, вітаміни В₁, В₂, ДО, Р, РР, цукри (до 24 %), пектинові речовини (до 4 %), лимонна і яблучна кислоти (до 2 %), ефірна олія, солі заліза, калію, марганцю, фосфору, кальцію; у насіннях – жирна олія(складається з лінолевої, ліноленової, олеїнової, пальмітинової, стеаринової кислот), багата каротином і вітаміном Е. У листах – аскорбінова кислота (до 1,5 %). Листи, паростки і коріння містять дубильні речовини (до 4,5 %).

Шипшина – чемпіон з вітамінів, тому що не знає собі рівних серед плодівих і плодівних рослин по змісту вітаміну Р. Аскорбінової кислоти в його плодах в 10

раз більше, чим у чорній смородині, в 50 раз більше, чим у лимоні, і в 100 раз більше, чим у яблуках. Максимальний вміст аскорбінової кислоти, вітаміну Е, а також каротину спостерігається в зрілих помаранчево-червоних, але твердих плодах шипшини [4].

Фармакологічні властивості. Фармакологічна активність плодів шипшини залежить головним чином від вмісту в рослині комплексу вітамінів. Аскорбінова кислота по суті визначає біологічну активність плодів рослини. Плоди шипшини й лікувальні препарати з них виявляють протицинготну дію, значно підвищують окисно-відновні процеси в організмі, тому що аскорбінова й дегідроаскорбінова кислоти беруть участь в окисному дезамінуванні ароматичних амінокислот, активують ряд ферментних систем, стабілізують вміст адреналіну й інших катехоламинов, стимулюють опірність організму до шкідливих впливів зовнішнього середовища, інфекціям і іншим несприятливим факторам [5]. Крім того, аскорбінова кислота виявляє противосклеротичну дію, сприяє концентрації, що проявляються в зниженні, холестерину в крові й в інгібуванні відкладання атероматозних мас у стінках кровоносних судин. Плоди шипшини підсилюють регенерацію тканин, синтез гормонів, сприятливо впливають на вуглеводний обмін і проникність стінок судин. Олія шипшини, одержувана з насінь, зменшує шлункову секрецію й кислотність шлункового соку. Крім того, воно має противиразкову активність [6].

Застосування в медицині: 1. Коріння. Відвар – в'язке й антисептичне; при діареї, диспепсії, циститах, гіпертонічній хворобі, що перемежується лихоманці, хворобах серця; зовнішньо (ванни) - при ревматизмі й паралічах.

2. Галузі. Відвар – як в'язке; при діареї, диспепсії, кольках, ревматизмі, радикуліті.

3. Квітки. Настій (примочки) – при кон'юнктивітах; як протизапальне й заспокійливе. Відвар пелюсток – при гіповітамінозах, простудних захворюваннях, загальній слабості; з медом – при бешихових запаленнях.

4. Плоди. Входять до складу протиастматичної мікстури Траскова, "Холосаса", "Каротолина". Вітамінізований сироп містить велику кількість магнію, його

рекомендують хворим тромбозами, гіпертонічною хворобою з порушеннями сольового обміну. Препарати "Каротолін" і "Олія шипшини" виявляють біологічну активність, властиву вітамінам А, Е і F, і застосовуються для профілактики й лікування атеросклерозу, виразкової хвороби, трофічних виразок, гінекологічних захворювань. Плоди застосовують як додаткове джерело заліза при залізодефіцитних і інших анеміях [4, 8]. Препарати шипшини призначають при хронічних і гострих інфекціях, нефритах, хворим у передопераційний період і після операції, при травмах, хронічних і гострих пневмоніях, при судинних захворюваннях головного мозку, при захворюванні очей, що супроводжуються дрібними крововиливами [9]. У народній медицині настої – при гіповітамінозі й як жовчогінне, загальнозміцнювальне й адаптогенне; при інфекційних захворюваннях, переломах кісток, пораненнях, анемії, астенії, метроррагіях, опіках, обмороженнях, для посилення потенції, поліпшення сну, при анорексії, лікуванні хронічних анацидних і ахілічних гастритів; відвар - при простудних захворюваннях, хворобах нирок, сечового міхура, сечокам'яної хвороби, головного болю [10-11]. Плоди входять до складу вітамінних і шлункових зборів. Часто його комбінують із плодами чорної смородини, горобини, брусниці, що містять Р-вітамінний комплекс, у присутності якого підсилюється лікувальна дія шипшини. Шипшину використовують у зборах для вітамінно-кисневих коктейлів, застосовуваних при шлунково-кишкових захворюваннях [12-16].

5. Насіння. Жирна олія – для лікування неспецифічного виразкового коліту (клізми), дерматозів; зовнішньо - при трофічних виразках гомілки, пролежнях, тріщинах сосків, саднах. У народній медицині відвар – як діуретичне, жовчогінне й протизапальн, в'язуче [5, 9].

Лікарські форми, спосіб застосування й дози. Настій плодів шипшини (*Infusum fructuum Rosae*): 10 г (1 столова ложка) сировини поміщають в емальований посуд, заливають 200 мл гарячої кип'яченої води, закривають кришкою й нагрівають у киплячій воді (на водяній лазні) 15 хв, прохолоджують при кімнатній температурі протягом 45 хв, проціджують сировину, що

залишилася, віджимають. Обсяг отриманого настою доводять кип'яченою водою до 200 мл. Приготовлений настій зберігають у прохолодному місці не більш як 2 доби. Вживають по 1/2 склянки 2-3 рази в день після їжі як вітамінного засобу [4, 17].

Холосас (*Cholosasum*). Сироп, приготовлений на згущеному водному екстракті плодів шипшини собачого й цукру. Густа, сиропоподібна рідина темно-коричневого кольору, кисло-солодкого смаку, своєрідного аромату. Призначають при холециститі, гепатиті по 1 чайній ложці 2-3 рази в день, дітям - по 1/4 чайної ложки 2-3 рази в день. Холосас має жовчогінний і гіполіпедемічними властивостями. Зберігають у сухому прохолодному місці. Випускається у флаконах по 250 мл [4,18].

Каротолін (*Carotolinum*) – маслянистий екстракт із плодів шипшини. Містить каротиноїди, токофероли, ненасичені жирні кислоти. Це рідина жовтогарячого кольору, зі специфічним запахом і смаком. Зміст каротиноїдів у перерахуванні на каротин не менш 120 мг %. Випускається у флаконах по 100 мл. Застосовують як зовнішній ранозагоювальний засіб при трофічних виразках, екземі, еритродермії й захворюваннях, що супроводжуються гіпотрофією шкіри й слизуватих оболонок, а також для профілактики й лікування променеви́х поразок у хворих, що одержують рентгенотерапію (3-4 аплікації на ділянці, що опромінюється, шкіри) [19-22].

Олія шипшини (*Oleum Rosae*) – масляниста рідина бурого кольору із зеленим відтінком, гіркуватого смаку й специфічного аромату. Містить токоферолів не менш 40 мг %, каротиноїдів не менш 55 мг %.

Зберігають у захищеному від світла місці при температурі не вище 20 °С [23].

Випускають у флаконах по 100 мл. Застосовують зовнішньо. Олія шипшини й каротолін використовують при риніті й фарингіті у вигляді щоденного змазування слизуватої оболонки носа й ковтки або у вигляді інгаляцій. При озеноватій тампон з маслом шипшини вводять у порожнину носа на 20-30 хв.

Сироп із плодів шипшини (*Sirupus ex fructibus Rosae*) випускається медичною промисловістю зі змістом аскорбінової кислоти 5 мг в 1мл [4-8, 19].

1.2. Характеристика препаратів, що випускаються на основі плодів шипшини

1.2.1. Препарати аскорбінової кислоти. Із плодів шипшини виробляються рідкі й сухі концентрати. Для цього плоди пропускають через віялку-сортування для видалення пили, насін'я, чашечок і інших домішок, потім відбирають дефектні плоди (гнилі, уражені, горілі), що зручно робити на конвеєрній стрічці, що повільно йде. Раніше плоди зазнали дробленню з метою видалення насін'я; тепер це не робиться (зберігається більше аскорбінової кислоти й усуваються зайві операції) [12].

Відсортовані плоди шипшини (рис. 1) елеватором 1 направляються в екстракційну установку 2 (баатодифузійна батарея, барабанний обертовий дифузор Гузенко, пресдифузійний апарат, застосовувані для екстрагування цукру з буряка), куди подається гаряча вода температури 70-75°C. У випадку дифузії батареї тривалість циклу батареї не повинна перевищувати 60 хв. За цей час одержують 10-кратну кількість витяжки, що містить 6-8% сухих речовин і до 95% аскорбінової кислоти, що перебуває у вихідній сировині. При дифузії безперервній швидкість одержання витяжки нормується в залежності від вмісту сухих речовин у витяжці [23-24].

З отриманої витяжки необхідно вилучити пектинові речовини, інакше при згущенні витяжка стане настільки в'язанням, що подальше випарювання буде неможливим. Пектинові речовини звичайно відділяються ензиматичним шляхом. До ферментів, що руйнують пектинові речовини (тобто, що переводять їх у розчинні вуглеводи), відноситься пектиназа, вироблювана різними грибами. Для промислового виробництва застосовується грибиця *Aspergillus niger*, певним чином вирощена, потім висушена й перетворена в порошок. Ферментація витяжки проводиться при температурі 43-45 °C. Процес триває 8-12 годин, ензиматичного препарату вводиться 1-1,2% [25].

Витяжку, що пройшла ферментацію, перекачують насосом у фільтр-прес 3, після чого фільтрат направляють на вакуум-випарку. Її доцільніше проводити в трикорпусній трубчастій випарній установці 4, оскільки випарка в ній

протікає значно швидше, чим у шаровій. Процес випарювання протікає при строгому температурному режимі: у першому корпусі - при 90 °С, у другому - 75 °С, у третьому - 55-60 °С. При цих умовах втрати аскорбінової кислоти при випарюванні не перевищують 2-3% [26].

Згущена витяжка являє собою водний концентрат, що містить 50-55% сухих речовин і 3-5% аскорбінової кислоти. Це нестійкий продукт. У випадку зберігання при кімнатній температурі починається виділення вуглекислоти. Пояснюється це тим, що при ферментації руйнування пектинових речовин не проходить повністю й за певних умов їх гідролитичне розщеплення триває. Тому з метою одержання стійкого продукту рідкий водний концентрат переробляється на: 1) сухий концентрат; 2) спиртоочищений рідкий концентрат; 3) сироп [27-29].

Сухий концентрат. Водний концентрат зі збірника (після випарної установки 4) перекачують спочатку в мірник, звідки він надходить у сушильний агрегат 5, що складається з вежі, подавальної розпилювальної форсунки або розпилювального диску. Колориферно-вентиляційна установка нагнітає у вежу підігрите повітря. Тривалість сушіння 0,02...0,03 с. Захоплені повітрям частки затримуються рукавним фільтром. Препарат являє собою порошок жовтуватого-сірого кольору, кислуватого смаку, що містить не більш 7 % вологи й не менш 2,2 % аскорбінової кислоти. Внаслідок гігроскопічності порошок зберігають у герметично укупорених банках. Сухий концентрат випускається також у таблетках [30-33].

Спиртоочищений концентрат. Виходить після обробки водного концентрату спиртом і розпарюванням його в апарат-апаратів-вакуум-апарату після попереднього видалення обложених пектинових і білкових речовин. Для цього рідкий водний концентрат зі збірника (після випарної установки 4) перекачують у коагулятори 17, підігрівають до 60-65 °С и додають 96% спирт із розрахунку 1 обсяг концентрату й 2 обсягу спирту. Суміш у коагуляторах перемішують лопатевою мішалкою, через 10 хв викачують у фільтр-прес 18 і звільняють від осаду. Фільтрат. а також водно-спиртове

промивання подають у вакуумвипарний апарат 19, де з них спочатку відганяють спирт, а потім частина води. Концентрат після випарювання через збірник 20 за допомогою насоса передається в розливальний апарат-дозатор 21 і розфасовку. Препарат являє собою рухливу рідину темно-бурого кольору, кислого смаку, що містить не менш 2,2% аскорбінової кислоти й не менш 65 % сухих речовин. Зберігається при температурі не вище 12 °С (при більш високій температурі можливе утворення вуглекислоти й викидання пробки). Строк зберігання 4 місяці [34].

1.2.2. К о н ц е н т р а т в і т а м і н і в г р у п и Р . , що залишається при одержанні концентрату вітаміну С (після першої лінії) сирий шрот І (вологість 68...73%) надходить на вторинну екстракцію в апарат Гузенко 2. Екстракція проводиться протягом 1/г-2 год майже киплячою водою (98...99 °С). Отримана витяжка пропускається через фільтр-прес 3 і надходить у трикорпусний випарний апарат 4. Після згущення витяжка (30-40% сухих речовин) подається у вакуум-вальцюву сушарку 6. Тривалість сушіння 8-10 с. Виходить порошок, що містить 20-22% речовин, що мають Р- вітамінну активність. Із цього порошку виготовляють таблетки по 0,5 г зі вмістом 25 мг вітаміну Р [35].

1.2.3. К а р о т и н о ї д н и й п р е п а р а т . Шрот, що залишився після другої лінії, направляють у барабанну сушарку 7. Одержують сухий шрот, що містить 6-8% вологи. У сухому шроті каротиноїди нестійкі; за 30 днів зберігання в нерозмеленому виді при кімнатній температурі губиться до 25% каротиноїдів. Із цієї причини сухий шрот негайно надходить у сепаратор 8, де від нього відокремлюють насіння. Суха м'якоть далі може бути перероблена подвійно: екстракцією рослинною олією або екстракцією органічним розчинником (дихлоретан, хлористий метилен) [36].

Якщо екстракцію ведуть олією, то одержують масляний препарат каротолін (*Carotolinum*). Звичайно екстрагують соняшниковою олією, але Л.О. Шнайдман рекомендує для цієї мети застосовувати соєву олію, як більш багату за вмістом природних антиоксидантів: γ - і β -токоферолів. Препарат являє собою

олію в тонкому шарі помаранчевого кольору зі специфічним ароматом і смаком. Кислотне число не більш 3,5. Вміст каротиноїдів у перерахуванні на р-каротин не менш 1,2 г/л. Застосовується при трофічних виразках, екземах, атрофічних змінах слизуватих оболонок і деяких видах еритродермії; на уражені ділянки накладаються марлеві серветки, просочені каротоліном. Екстракцію сухої м'якоти дихлоретаном проводять у безперервно діючому апараті колонного типу 13 (рис. 1.1.).

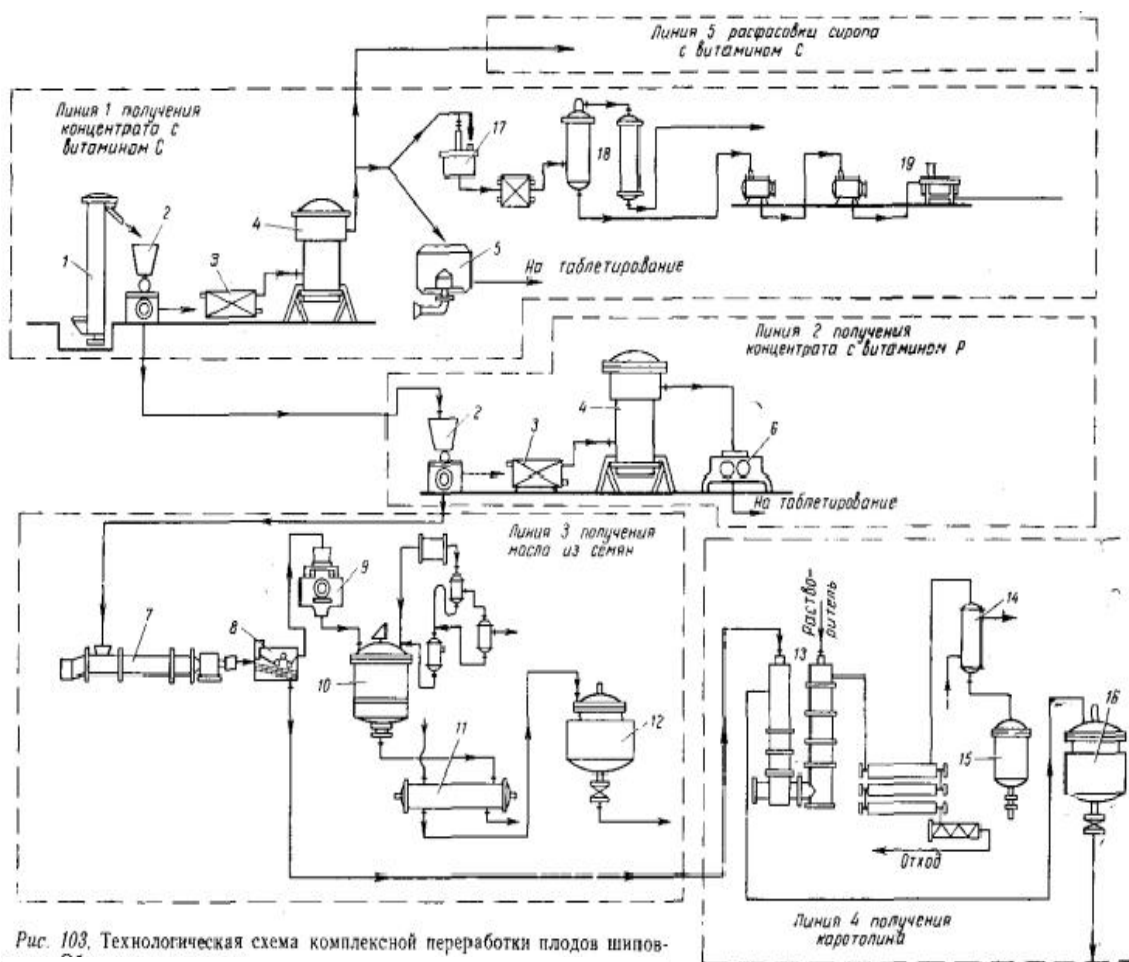


Рис. 103. Технологическая схема комплексной переработки плодов шиповника.

Рис. 1.1 Технологічна схема комплексної переробки плодів шипшини.

Після відгону екстрагенту в апарат-апаратові-вакуум-апарату 16 одержують каротиноїдний препарат у вигляді пасти, що містить до 1,2% каротиноїдів, яку потім переводять у масляний розчин [37].

1.2.4 К о н ц е н т р а т в і т а м і н у Е . Відбите із шроту II насіння надходить у дробарку 9, а потім в екстрактор 10. Екстракцію ведуть дихлоретаном або хлористим метиленом. Після відгону екстрагенту в вакуум=випарному апараті 12 одержують олію насіння шипшини - *Oleum Rosae pínquae*. Вона бурого кольору із зеленим відтінком і гіркуватим смаком. Кислотне число не більш 5,5. Вміст а-а- і фі-токоферолів не менш 0,4 г/л і каротиноїдів не менш 0,5 г/л. Застосовується при неглибоких тріщинах сосків у породілей, пролежнях і трофічних виразках, дерматозах (масляні пов'язки).

Таким чином, із цілих плодів шипшини, крім основних продуктів (препарати вітаміну З), у результаті комплексної переробки можна одержати Р-вітамінний препарат, каротолін, олію насіння шипшини [8, 38].

1.3. Сучасна технологія одержання висококартоноїдного препарату шипшини

При одержанні препаратів шипшини, що містять комплекс БАР гідрофільної природи залишається значна кількість відходу (шроту), що містить комплекс ліпофільних речовин, багатий каротиноїдами, токоферолами, стеринами. Його екстрагування й використання для одержання нових лікарських засобів на основі комплексної переробки сировини — важливе завдання фармацевтичної науки й виробництва [39].

У результаті використання шроту, що залишається, був розроблений і впроваджений на Одеському ПХФО «Біостимулятор» препарат «Каротолін» — масляний розчин ліпофільного комплексу м'якоті плодів шипшини, що містить 120 мг% каротиноїдів, призначений у якості засобу, що нормалізує тканинний обмін при різних ураженнях шкіри й слизуватих.

У результаті запропонований новий спосіб переробки шроту м'якоті плодів шипшини, у результаті якого отриманий комплекс екстрактивних речовин ліпофільної природи, що характеризується значно більш високим вмістом каротиноїдів (рис.1.1) [40].

Для розробки на його основі нового лікарського препарату важливий правильний вибір екстрагента (розчинника) і концентрації екстрактивних

речовин у розчині, що виготовляється, з метою додання йому найбільш оптимальних технологічних і реологічних характеристик для одержання різних лікарських форм – капсул для приймання всередину, капсул ректальних і вагінальних, суппозиторіїв, мазів, аерозолів та ін.

З метою вибору відповідного екстрагента були проаналізовані показники якості можливих розчинників: кислотні (к. ч.) і перекісні (п. ч.) числа, вміст інгібіторів перекісного окиснення (Inh), швидкість окиснення (Wок) у ряді рослинних олій і синтетичних розчинників, використовуваних для заміни рослинних олій (табл.1.1) [41].

Таблиця 1.1

Показники якості деяких рослинних олій і синтетичних розчинників

Найменування зразка	П. ч., % I2	К. ч., мг КОН/г	Inh 103 моль/л		Wок, 800С, 5 мл,мм ³ /хв.
			високоакт.	сумарна	
Масло вазелінове	0	0	-	-	0,6
Етилолеат	0,014	0,31	1,5	1,5	2,5
Олія кукурудзяна нерафінована	0,020	5,95	4,4	6,2	1,5
Олія кукурудзяна дезодорована	0	0,28	3,3	4,1	0,7
Олія соняшникова гідратована	0,060	2,13	1,5	1,6	3,0
Олія соняшникова дезодорована	0,035	0,25	1,7	1,7	2,7
Олія маслинова (Італія)	0,030	0,03	0,5	0,5	1,1

Як видно з наведених даних, для випробувань як розчинника отриманого комплексу доцільно випробувати всі олії, за винятком кукурудзяного нерафінованого, тому що високе кислотне число сприяє розвитку гідролітичних процесів у препараті, окисненню лабільних компонентів і зниженню стабільності. Найбільш підходящим є маслинова олія, однак обмежуватися тільки цим розчинником економічно недоцільно.

Для оцінки можливості використання відібраних рослинних олій і синтетичних розчинників рівні порції нативного висококаротиноїдного комплексу м'якоті плодів шипшини розчиняли в рівних обсягах кожного з

розчинників з використанням однотипних технологічних приймань, що сприяють стабільності зразків.

У розчинах визначали кількісний зміст каротиноїдів у перерахуванні на β -каротин. Оцінка вмісту каротиноїдів проводилася, як у свіжоприготовлених розчинах, так і в процесі зберігання. Результати наведено в таблиці 1.2 [42-43].

Таблиця 1.2

Вміст каротиноїдів у різних пробах розчинників

Найменування розчину	Вміст каротиноїдів, мг%		
	свіжоприготовані.	через 1 міс.	через 6 міс.
Р-Р у маслі вазеліновому	640	630	610
Р-Р у етилолеаті	1460	1440	1430
Р-Р у олії кукурудзяній дезодорованій	1430	1410	1405
Р-Р у олії соняшниковій гідратованому	1430	1410	1400
Р-Р у олії соняшниковій дезодорованій	1435	1420	1410
Р-Р у олії маслиновій	1445	1430	1425

З таблиці 1.2 випливає, розчинність отриманого комплексу в різних рослинних оліях і етилолеаті по вмісту суми каротиноїдів не мала достовірних відмінностей. У вазеліновому маслі цей показник був помітно нижче. Отримані розчини виявили високу стабільність при зберіганні. Однак етилолеат має значну дратівну дію на шкіру й слизувати, тому надалі в якості розчинників нативного комплексу екстрактивних речовин користувалися тільки рослинними оліями.

Таким чином, у якості розчинника для отриманого комплексу екстрактивних речовин найкраще використовувати маслинову олію, кукурудзяну дезодоровану, соняшкову дезодоровану й гідратовану,- які характеризуються високим вмістом олеїнової кислоти, низькими кислотним і перекісним числами [43].

Важливе встановлення припустимого ступеня розведення ліпофільного комплексу підходящими розчинниками з метою одержання стабільного розчину.

У якості розчинника використовували маслинову олію. Отримані розчини спостерігали в процесі зберігання.

Стабільність при зберіганні спостерігається в розчинів з концентрацією каротиноїдів не більш 2000 мг%.

Одержуваний масляний розчин ліпофільного комплексу БАР повинен надалі використовуватися для одержання лікарських форм, зокрема м'яких желатинових капсул.

Однак при високій концентрації каротиноїдів (понад 1000 мг%) одержуваний препарат має густу пастоподібну консистенцію й незручний при проведенні технологічних робіт з інкапсулюванню.

Це було підтверджено в ході відпрацювання технологічних операцій виготовлення м'яких желатинових капсул на автоматичній лінії англійської фірми «Lainer», що проводилися у виробничих умовах. Тому найбільш прийнятне одержання розчину ліпофільного комплексу зі вмістом каротиноїдів 800 мг%.

На підставі вищевикладеного був зроблений висновок: розведення досліджуваного нативного комплексу біологічно активних речовин слід проводити до концентрації каротиноїдів 800-1000 мг%, яка забезпечує стабільність одержуваного препарату і його технологічність для виготовлення на його основі лікарських форм [44-45].

Враховуючи, що добова потреба людського організму в каротиноїдах становить 4-8 мг, а лікувальна доза — від 14 до 18 мг, дана концентрація зручна й для виготовлення дозованих лікарських форм препарату, наприклад желатинових капсул з дозуванням 0,25 і 0,5 г [9, 46].

1.4. Нова методика одержання рослинних поліекстрактів двофазними системами екстрагентів

При промисловому виробництві сумарних фітопрепаратів (ФП) ефективність екстрагування комплексу БАР у ряді випадків досягає лише 40-50 % через недостатність виснаження шроту по всіх групах діючих речовин [47].

Для одержання ФП одним зі шляхів комплексної переробки ЛРС є використання різних частин рослини, наприклад, корінь і листів женьшеню [10]. Інший традиційний спосіб — використання одного виду ЛРС для одержання декількох ФП по окремих технологічних схемах. Наприклад, такий підхід застосовують для одержання з корінь солодцю екстрактів, сиропу, новогаленових препаратів Гліцирам і Гліциренат сапоніни, що містять [48].

У технології ФП відомі так звані поліекстракти (поліфракційні екстракти) — сумарні препарати, отримані шляхом послідовного екстрагування ЛРС декількома розчинниками, наприклад, з полярністю, що підвищується. З отриманих екстрактів розчинник відганяють, залишки сушать, порошки змішують і виділяють поліекстракт. Послідовне використання спиртоводних сумішей різної концентрації, органічних екстрагентів і рослинних олій дозволяє з одного виду ЛРС одержувати невелику кількість ФП — настоянки, густі й сухі екстракти й медичні олії (масляні екстракти) [50].

Останнім часом особливо актуальна розробка безвідхідних технологій, що включають переробку шротів, що залишаються в значній кількості після стадії екстрагування ЛРС. Як показали численні дослідження, у шроті часто залишається велика кількість БАР, які можуть бути основою для виробництва лікарських препаратів і біологічно активних добавок (БАД) до їжі [4-7, 50-52].

Особливо перспективними із цього погляду є шроти, отримані після екстрагування ЛРС зрідженими газами (диоксид вуглецю, пропан, бутан, хлор- і фторовмісні вуглеводні, так звані хладони). На основі шротів плодів шипшини, трави звіробою й черги після виготовлення відповідних медичних олій екстракцією зрідженими газами були розроблені технології водних і

водно-спиртових екстракцій, що містять БАР полярної природи: флавоноїди, полісахариди, кислоту аскорбінову [11, 51, 53].

У цей час у всіх технологіях комплексної переробки ЛРС застосовується або тривалий процес екстрагування (кілька стадій), або в шроті залишається значна кількість БАР гідрофільного або ліпофільного характеру залежно від хімічної природи використовуваного екстрагенту. Таким чином, назріла необхідність раціонального використання рослин, удосконалювання й розробки нових прогресивних ресурсозберігаючих комплексних технологій переробки ЛРС, що забезпечують максимальне екстрагування БАР.

Запропоновано спосіб екстрагування ЛРС систем розчинників, які не змішуються, мають відмінну полярність — двофазними системами екстрагентів (ДСЕ) [8]. Найбільш важливою особливістю двофазної екстракції (ДЕ), що відрізняє її від інших методів екстрагування, є те, що в контакт із ЛРС одночасно вступають два екстрагенти, кожен з яких окремо здатний вилучати або гідрофільні, або ліпофільні компоненти [54]. Така технологія дозволяє швидко й з високою ефективністю проводити комплексну переробку сировини й одержувати за одну технологічну стадію два продукти (екстракти) з високим змістом БАР [9].

У якості компонентів двофазних систем використовували рослинні олії й водно-органічні суміші різних концентрацій. До складу водно-органічної фази входив розчинник, що змішується з водою (етанол, пропіленгліколь, поліетиленоксиди, диметилсульфоксид). Для досліджень вибрали ЛРС, що містить різні групи БАР і подібні анатомо-морфологічній структурі [51-55].

Об'єкти вивчення: трава звіробою продірявленого (*Hypericum perforatum L.*), трава сухоцвіту болотного (*Gnaphalium uliginosum L. s.Y.*), квітки календули (*Calendula officinalis L.*), квітки ромашки (*Chamomilla recutita L. (Rauschert)*), плоди горобини (*Sorbus aucuparia L.*) і плоди шипшини (*Rosa sp. L.*), а також бурі водорості роду *Laminaria sp.L.*

При дослідженні процесу екстрагування перерахованих видів сировини встановлене значне збільшення концентрації ліпофільних БАР у олійних

екстрагенту порівнянні з екстракцією тільки олією, для похідних хлорофілу - в 5-6 раз і більш, для суми каротиноїдів - в 2-3 рази. При цьому вихід ліпофільних БАР у оліях екстрагенту досягає у випадку похідних хлорофілу 80-85% і суми каротиноїдів - 60-70% (рис.1.2), що має велике практичне значення, тому що саме в технології масляних екстрактів важко досягаються такі високі виходи. При цьому тривалість процесу екстракції скорочується в 1,5 - 2 рази [4, 50-57].

Вивчений процес ДСЕ ЛРС. Згідно з його результатами незалежно від виду сировини на масоперенос ліпофільних речовин у масляну фазу значною мірою впливають співвідношення обсягів водно-органічної й масляної фаз, а також природа полярної фази.

При запропонованому нами механізмі інтенсифікації при ДСЕ виходу ліпофільних речовин полярна складова в ДСЕ забезпечує процеси, що передують масопередачі ліпофільних речовин із сировини, а саме – проникнення екстрагенту в сировину, змочування й десорбцію.

Показане, що спосіб ДСЕ по ефективності екстрагування гідрофільних БАР не уступає екстракції водно-спиртовими й водно-органічними розчинниками, традиційно застосовуваними у виробництві сумарних фітопрепаратів.

Так, при екстракції ДСЕ трави звіробоя й квіток календули отримані спирто-водним екстрагуванням по показниках якості не відрізнялися від настоек, виготовлених у промислових умовах, і відповідали вимогам нормативної документації НД (таблиця 1.3) [6, 58-60].

Вихід діючих речовин становив 60-70%. Аналогічні результати були отримані при екстракції ДСЕ плодів горобини й шипшини, трави сухоцвіту. При переробці бурих водоростей вихід і якісний состав гідрофільних продуктів (манніта й альгіната натрію), одержуваних за промисловою технологією й при екстракції ДСЕ, практично не відрізнялися [58].

Крім того, розроблений метод екстрагування ЛРС двофазними системами розчинників у присутності поверхнево-активних речовин (ПАР). Це одне з

перспективних напрямків у розвитку теорії й практики двофазної екстракції. Установлене, що, створюючи певне співвідношення використуваних ПАР в складі ДСЕ, можна здійснювати спрямований процес екстрагування комплексу діючих речовин із ЛРС.

Така технологія переробки ЛРС при певному співвідношенні ПАР дозволяє одержати емульсійні екстракти, які можуть використовуватися як основа для м'яких лікарських форм і косметичних засобів або як готова лікарська форма [61].

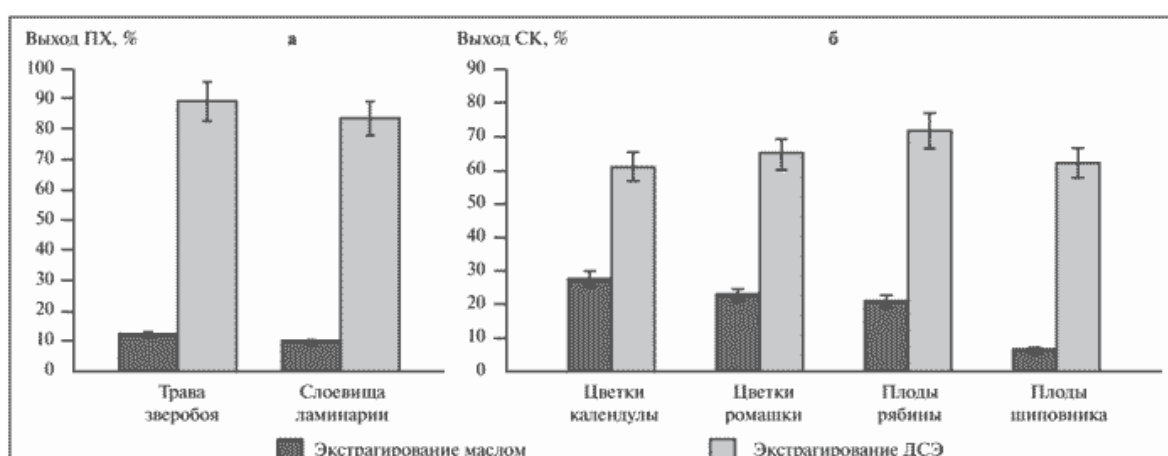


Рис.1.2. Вихід ліпофільних БАР при екстрагуванні сировини рослинною олією й ДСЕ: а – похідні хлорофілу, б – сума каротиноїдів.

Крім того, розроблений метод екстрагування ЛРС двофазними системами розчинників у присутності поверхнево-активних речовин (ПАР). Це одне з перспективних напрямків у розвитку теорії й практики двофазної екстракції. Установлене, що, створюючи певне співвідношення використуваних ПАР в складі ДСЕ, можна здійснювати спрямований процес екстрагування комплексу діючих речовин із ЛРС.

Така технологія переробки ЛРС при певному співвідношенні ПАР дозволяє одержати емульсійні екстракти, які можуть використовуватися як основа для м'яких лікарських форм і косметичних засобів або як готова лікарська форма [61].

Просте апаратурне оформлення, невисока трудомісткість і економічність обумовлюють перспективність впровадження ДСЕ у виробництво ФП.

На основі масляного екстракту звіробоя, отриманого методом ДСЕ, розроблений і випускається промисловістю лікувально-косметичний крем Звіробійн, що володіє протизапальним, ранозагоювальною дією.

Метод комплексної переробки сухої сировини бурих водоростей шляхом екстракції ДСЕ дозволив одержати новий продукт — масляний екстракт ламінарії (патент РФ RU 2142812), який використовується при виробництві кремів серії Марина.

На основі водно-спиртового вилучення, отриманого при екстракції трави звіробоя й квіток календули ДСЕ, розроблені технології гранул сухого екстракту звіробоя й гранул сухого екстракту календули. Запропоновані технології косметичного крему й лікувального гелю, що містять БАР трави звіробоя й сухоцвіту, отримані методом емульсійної екстракції [63].

Таблиця 1.3

Якість водно – спиртових екстрактів, отриманих екстракцією ДСЕ, і промислових препаратів

Зразок	Зміст, %		
	Спирт	Сухий залишок	Флавоноїди в перерахуванні на рутин
Водно-спиртова витяжка звіробоя при екстракції ДСЕ	37,1 ± 0,2	4,4 ± 0,1	0,25 ± 0,01
Звіробоя настойка виробництва ВАТ “Фармфабрика СПБ”	37,2 ± 0,3	4,6 ± 0,1	0,21 ± 0,01
Вимоги ФС 42-1889-95 до настойки звіробоя	Не менш 36	Не менш 2,8	Не менш 0,2
Водно-спиртова витяжка календули при екстракції ДСЕ	65,4 ± 0,2	2,96 ± 0,1	0,094 ± 0,01
Календули настойка виробництва ВАТ “Тверська фармфабрика ”	67,2 ± 0,3	3,2 ± 0,1	0,077 ± 0,01
Вимоги ФС 42-1948-82 до календули настойці	Не менш 65	Не менш 2,1	Не регламентоване

Запропонований новий метод переробки лікарської сировини, що дозволяє на стадії екстрагування вилучати природні комплекси ліпофільних і гідрофільних БАР [13, 41].

На підставі аналізу літератури видно, що шипшина є перспективною лікувальною рослинною сировиною. Однак ефективних сучасних технологій їхньої комплексної переробки немає. Особливий інтерес представляє ключовий процес переробки – екстрагування. Вочевидь, слід проаналізувати досягнення сучасної науки й техніки в напрямку екстрагування, які розбудовуються в різних галузях промисловості. На основі такого аналізу визначити перспективний напрямок організації процесу екстрагування й сформулювати завдання подальших досліджень.

1.5. Досягнення у техніці екстрагування з рослинної сировини

Теоретичні основи процесу екстрагування викладені в численних роботах, наприклад в (11, 13, 16-27, 35-67).

Відомо, що, для інтенсифікації процесу екстрагування, необхідно збільшити рушійну силу процесу й зменшити дифузійний опір протіканню екстрагенту. Необхідно враховувати, що ефективність будь-якого виду екстракції твердої речовини рідиною значно залежить від його розчинності, яку можна змінити, підбираючи відповідний розчинник, у який переходить необхідна речовина. Крім того, ефективність екстрагування в значній мірі залежить від способу підготовки сировини до цього процесу, оскільки клітинна проникність сировини суттєво визначається формою й розміром дисперсного состава часток [68].

Відомо, що механічні методи інтенсифікації на стадії підготовки сировини необхідні для збільшення поверхні контакту фаз, що досягається за рахунок зменшення розміру часток. Однак гідродинамічні умови фільтрування екстрагенту через шар часток у міру зменшення їх розміру значно погіршуються. Це значить, що для кожного виду сировини й умов протікання процесу екстрагування існує певний раціональний розмір часток, при якому сумарний внутрішній і зовнішній дифузійний опір є мінімальним [66-72].

Відомі методи механохімічної активації, при яких одночасно відбуваються процеси здрибнювання й екстракції (51-78).

На стадії підготовки сировини до екстрагування термічні методи також спрямовані на зменшення внутрішнього дифузійного опору. Вони знижують стійкість цитоплазматичних мембран, приводять до розриву клітин сировини, екстрагент більш вільно проникає в клітку й збільшується контакт сировини з розчинником [52].

Дія теплової обробки заснована на зневоднювальному впливі, що коагулює й, на білкові речовини, що викликає загибель рослинної клітки. Нагрівання підвищує вихід соку, інактивує внутрішньотканинні окисні ферменти, зменшує мікробну засіяність, руйнує воскову оболонку, частково денатурує білки оболонки сировини й збільшує проникність тканини [21]. Заморожування впливає на рослинну тканину, сильна дія низьких температур ушкоджує клітини, що приводить до розриву оболонки, її зневоднюванню й загибелі. Низькі температури, як і високі, викликають денатурацію протоплазми, що полегшує виділення соку із заморожених продуктів при їх відтаванні. Температура заморожування коливається від $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [74-86].

Термічні методи інтенсифікації на стадії проведення процесу спрямовані на збільшення коефіцієнта дифузії екстрагованої речовини. Однак, вплив високих температур може привести до погіршення якості одержуваного екстракту або зміні фізичних властивостей часток.

Так, наприклад, під дією високих температур можуть змінюватися пружні властивості сировини, що може привести до погіршення умов масовіддачі й відповідному до збільшення зовнішнього дифузійного опору, внаслідок чого сумарний дифузійний опір виявиться не меншим, а більшим. Тому термічні методи на даній стадії не можна вважати істотним засобом інтенсифікації процесу [72-74].

Із усіх видів попередньої обробки сировини на швидкість процесу екстрагування найбільше ефективно впливає ферментація, яка майже на

порядок збільшує коефіцієнт внутрішньої дифузії [80]. Однак ферментні препарати досить дорогі, що затримує впровадження ферментного способу обробки сировини в промислових умовах.

Останнім часом росте інтерес до методів, при яких інтенсифікація процесу досягається за рахунок використання електроімпульсних технологій, що характеризуються високими, питомими по потужності впливами на біомасу, поміщену в реактор. До них можна віднести ударну хвилю, ультразвук, електромагнітне поле й ін. Застосування даних впливів дозволяє значно підвищити ефективність процесу навіть при кімнатних температурах, зменшити масообмінні характеристики устаткування, різко знизити величину витрат електричної енергії.

Є дані про обробку плодової мезги ультразвуком [79-84]. Ультразвук виявляє руйнуючий, дроблючий вплив на рослинні клітини. Сировину обробляють ультразвуком за допомогою магнітострикторів. Негативними сторонами даного впливу є порівняно велика витрата енергії. Також рекомендується додавати до екстрагенту гліцерин, поверхово активні речовини, які затримують утворення кавітації, тобто виключають можливі деструктивні зміни, що не завжди узгодиться з технологією виробництва. При екстрагуванні необхідно враховувати підвищення температури екстрагенту за рахунок поглинання ультразвукової енергії й стежити за тим, щоб температура екстракту не перевищувала припустимих значень [77].

Вміст розчинних речовин в екстракті значно підвищується, якщо попередньо обробити рослинну сировину змінним електричним струмом [81], що приводить до часткової мацерації тканин, денатурації білкових речовин протоплазми клітин, збільшенню проникності клітинних оболонок, полегшуючи дифузії їх вмісту в навколишнє середовище. Подібним чином на рослинну сировину діє обробка іонізуючими випромінюваннями, яка проводиться в спеціальних апаратах-опромінювачах [7, 19-54, 78].

У лабораторії екологічних ресурсів ІМПБ РАН і Департаменті харчової й переробної промисловості МСХП РФ [81] вивчали електровибухову екстракцію

високого тиску, засновану на використанні електрогідравлічного ефекту Юткина, з метою застосування її в харчовій промисловості (при переробці лужки гречки, цибульної лушпайки, гніту різних плодів і т.д.). Незважаючи на те, що електровибухові технології екстракції успішно апробовані протягом останніх двадцяти років у фармацевтичній промисловості, вони не одержали широкого поширення в цій і інших галузях виробництва.

Використання НВЧ-нагрівання дозволило інтенсифікувати процес теплової обробки сировини й екстрагування стійких розчинних речовин водним середовищем. Позитивні результати використання електромагнітного імпульсного випромінювання були отримані: при виробництві харчових барвників з буряка [82], плодово-плідної сировини [83], у схемі прискореного дозрівання коньячних спиртів [84], при добуванні кедрової олії з насіння сосни сибірської [85], у лабораторних умовах для прискорення екстрагування фунгіцидів з деревних матеріалів [86], при одержанні соєвої олії [87], при добуванні олій з м'яти, розмарину, чайного дерева, сандалу й інших рослин [88], при екстрагуванні нікотину з тютюнової сировини [89].

Також запропонована екстракція за допомогою надкритичних флюїдів, заснована на унікальних властивостях розчинників у надкритичному стані [90]. Технологія базується на аномально високій розчинності надкритичних флюїдів при температурах і тисках, близьких до критичних. У порівнянні з рідкими розчинниками надкритичні флюїди відрізняються більш високим коефіцієнтом дифузії й більш низькими в'язкістю й коефіцієнтом поверхневого натягу, що дозволяє в 2-3 рази прискорити екстракцію.

Останнім часом усе більш широке застосування знаходять вакуумно-імпульсні технології переробки рослинної сировини, які дозволяють одержувати досить концентровані екстракти за короткий строк з найменшими витратами сировини й енергії [91, 92].

В основу принципу дії вакуумно-імпульсної екстракції [93] покладена попередня дегазація сировини під вакуумом, його просочення екстрагентом під атмосферним тиском, періодичне прогрівання з наступним імпульсним

вакуумуванням до залишкового тиску, рівного тиску пари розчинника при даній температурі, і з'єднанням з атмосферним тиском.

У результаті імпульсного вакуумування відбувається скипання розчинника в порах матеріалу, а пара, що утворюється, виштовхує насичений цільовим компонентом екстрагент в обсяг місцели. Потім, при з'єднанні з атмосферою, свіжі порції розчинника надходять у пори матеріалу. Вищеописану послідовність дій повторюють необхідну кількість раз.

Велике поширення одержують технології Z_2 екстракції [94], їхні позитивні сторони наступні: одержання нативних екстрактів, виключення високих температур, підвищення якості цільових продуктів, універсальність розчинника C_2 (не горючий, не є вибуховою речовиною, є в більших кількостях, має невисоку вартість). Для збільшення швидкості екстрагування використовують каталізатори, поверхово активні речовини, хімічні модифікатори.

Незважаючи на те, що надкритична екстракція має істотні переваги, її використання в харчових виробництвах недостатньо [35]. Це пов'язане з тим, що розв'язок кожного конкретного завдання екстракції вимагає індивідуального підходу до оптимізації певного технологічного процесу, його продуктивності при конкретизації сировини, екстрагенту й кінцевого продукту. Природно, що ці завдання вирішуються при забезпеченні необхідного рівня уніфікації устаткування.

1.6. Розвиток технологій екстрагування з рослинної сировини

Проведений патентний огляд дозволяє зробити висновок про те, що вдосконалення в технології екстрагування відбувається на трьох основних стадіях: стадія підготовки сировини; стадія екстрагування; стадія подальшої обробки розчину.

На першій стадії для підвищення виходу розчинних речовин із зерна використовують процеси з ефектом підривного набрякання, що сприяє збільшенню питомої поверхні й створенню розвитку пористості [96]. Застосовують обробку ферментними препаратами (ксилоглюканофоедин)

[97], воложать зерна з наступним його набряканням [98], його здрібнювання, уведення інертних газів для підвищення ароматики [99]. Практично всі ці методи дозволяють побільшати площу контакту фаз при подальшому екстрагуванні зерна.

На другій стадії основний натиск робиться на інтенсифікацію масопереносу. Найчастіше цього домагаються, змінюючи гідродинамічні умови за рахунок перемішування екстрагованої маси [100], використовуючи дію відцентрових сил у центрифугах [101], Уз-хвилі, вплив високовольтних імпульсних розрядів. Крім того, підвищують тиск усередині апарата (0,3 МПа...1,2 МПа), збільшують тривалість взаємодії фаз (24...48 годин), використовують розчин, що збагачує, розчинного компонента [102].

Також досить цікавим є вплив регульованим тиском на шар зерен і розчинник [103]. Спосіб передбачає кілька етапів. Спочатку формується шар цілих обсмажених зерен кава; потім подається водний розчинник у шар зерен кава в обсязі, рівному обсягу порожнеч у цьому шарі. Після чого впливають заданим регульованим тиском на шар зерен і розчинник; витримують зерна кава з, що не рухається розчинником при заданому тиску протягом необхідного періоду часу.

Після цього створюють потік водного екстракту із шару зерен кава. Одержуваний кавовий екстракт містить більш 10 % розчинних сухих речовин і ефективна кількість ароматичних компонентів.

У літературі [103] рекомендується використовувати так звану подвійну екстракцію кава: спочатку кава екстрагують водою температурою 90 °С, а потім – по режиму з високим тиском. Отримані в такий спосіб екстракти змішують перед сушінням, або ж сушать окремо, уже після змішуючи порошки. Спроби проводити екстрагування холодною водою не дали можливості одержати продукт високої якості. Це, імовірно, пояснюється тим, що не всі ароматичні й смакові речовини кава розчиняються в холодній воді. Однак запатентовано кілька способів такого процесу. В одному випадку кава обробляють спочатку холодною водою, температурою до 15 °С, одержуючи екстракт зі вмістом 20 %

сухих речовин, а потім водою температурою до 140 °C під відповідним тиском. Одержуваний при цьому екстракт висушують, і порошок розчиняють у першому екстракті.

Суміш, що містить до 48 % сухих речовин, висушують. Інший спосіб передбачає екстракцію здрібненого сировини при кімнатній температурі протягом 12...24 годин і значенні F_0 1...12, з наступним охолодженням екстракту, його фільтрацією для звільнення від бактерій, додаванням вкусоароматичних речовин, розведенням, при необхідності, водою й запаюванням у контейнери, без використання хімічних добавок [104].

Запропонований також спосіб екстрагування кавової суміші зрідженим газом при тиску більше атмосферного [105].

Для підвищення вмісту сухих речовин деякі виробники застосовують процес гідролізу, зокрема вводять соляну або сірчану кислоту. Однак, по-перше, гідроліз приводить до розведення вкусоароматичних речовин і появи стороннього присмаку, а по-друге, наступне видалення кислот ускладнює процес виробництва й погіршує якість отриманого продукту.

На останній заключній стадії головним завданням є збереження всіх властивостей готового продукту. Для цього розпилювальне сушіння заміняють сублімаційним, що знижує втрати коштовних речовин. При цьому може проводитися, наприклад, зпінювання [106]. Крім того, розроблена низькотемпературна технологія розпилювального сушіння (при 140 °C), яке дозволяє значною мірою зберегти аромат [107, 108]

Розглянемо установки, на які отримані патенти, що й використовуються у виробництві. Великомасштабне використання технології МХТ дозволить перейти до так званого «зеленого» індустріального процесу.

Приватна канадська компанія Radient Technologies Inc. пропонує схему екстрактора (рис. 1.3), для одержання соєвої й пальмової олій, ароматичних рослинних олій, натуральних барвників, лікарських і фармацевтичних составів. У даній схемі присутня рециклінг розчинника.

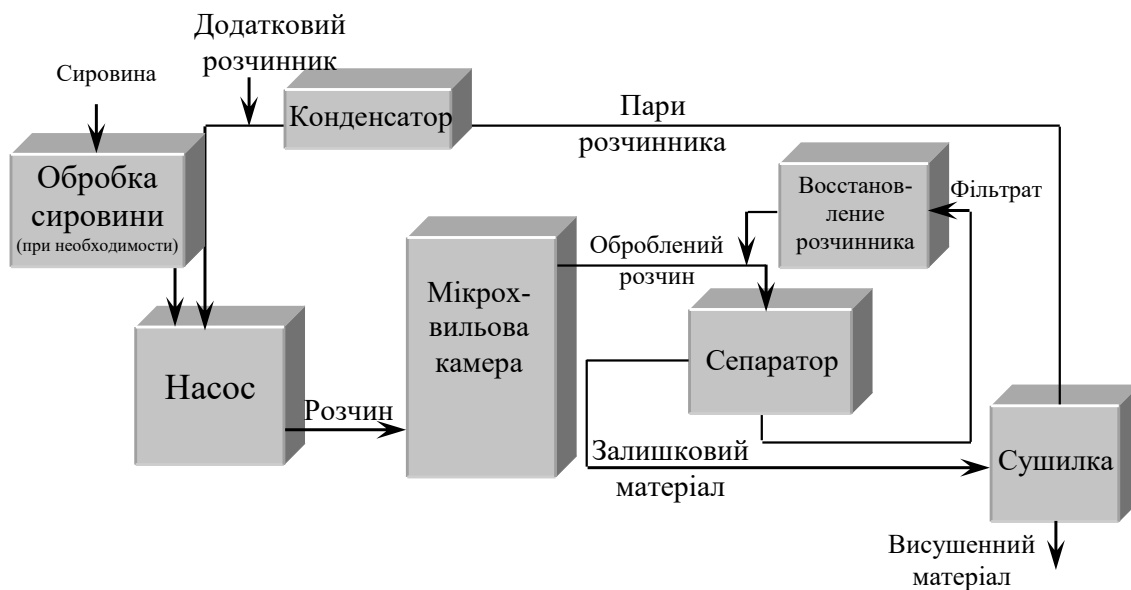


Рис. 1.3. Екстракційна установка фірми Radient Technologies Inc.

У Росії запатентована установка періодичної дії для екстракції коштовних речовин з рослинної сировини за допомогою НВЧ- енергії [109]. Екстракцію ведуть пором води, що входить до складу сировини енергією, що й нагрівається, НВЧ. Сировину завантажують у діелектричну камеру, при цьому сировині не дробиться, не перемішується, зберігає свою ізотропність і цілісність капілярів. При цьому в металевій камері розміщена циліндрична камера з діелектричного матеріалу для закладки сировини. Уздовж металевій камері розміщене не менш 6 магнетронів у два ряди. Пристрій додатково містить антенну систему для рівномірного опромінення сировини, що забезпечує повне поглинання енергії. Діелектрична камера обертається із частотою 2-10 об/хв. У металевій камері можливе створення розрідженого або підвищеного тиску. Спосіб [110] заснований на тому ж принципі: подачі суміші в полі відцентрових сил з утворенням плівкового режиму плинину й обробка плівки мікрохвильовою енергією. Оригінальний підхід до розв'язку конструкції апарата був зроблений О.Г. Бурдо й В.Г. Терзієвим [111]. Технічна ідея полягала в тому, що корпусом екстрактора (масообмінного модуля) слугувала деревина, у середині якої за вісями X, Y, Z виконані канали для проходу екстрагента.

На підставі патентного огляду можна провести класифікацію апаратів з

використанням ПМХП. По режиму роботи ці установки можна розділити на: установки періодичного (камерні) і безперервного (проточні) дії.

У свою чергу камерні розділяються на ємнісні, у яких резервуар є резонаторною камерою, і установки із зовнішньою резонаторною камерою. Найбільший інтерес для промислового застосування представляють установки безперервної дії. Принципові схеми пропонованих апаратів представлені на рис. 1.4 – 1.5.

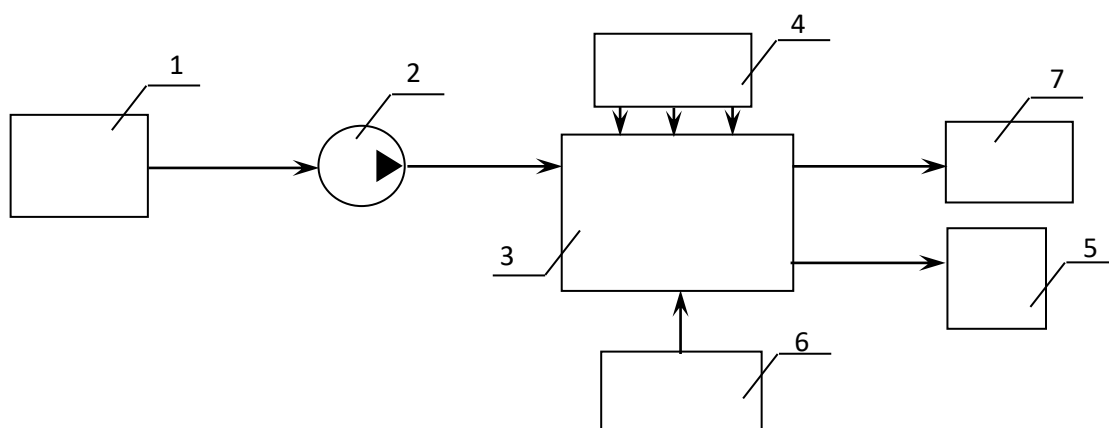


Рис.1.4. Принципова схема проточного екстрактора із МХТ.

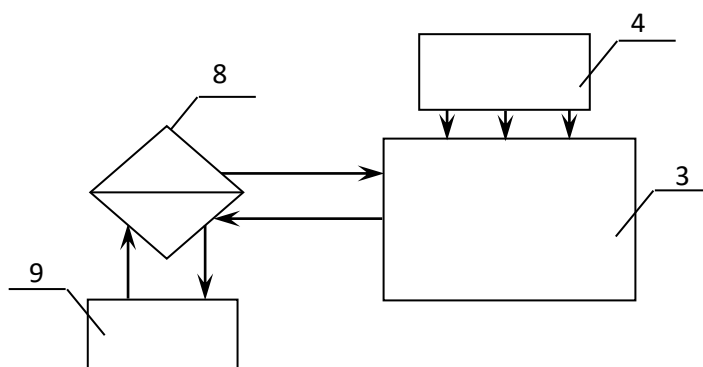


Рис. 1.5. Принципова схема камерного екстрактора із МХТ.

На рис.1.4 і 1.5 прийняте: 1 – резервуар з розчинником; 2 – насос; 3 – екстракційна камера; 4 – магнетрон; 5 – резервуар з екстрактом; 6 – резервуар з вихідною сировиною; 7 – резервуар для шламу; 8 – охолоджувач; 9 – автономна холодильна установка.

1.7. Інноваційні технічні рішення в техніці екстрагування з рослинної сировини

Таким чином, основний висновок полягає в тому, що МХТ повинні бути перспективними у виробництві фітопрепаратів, можуть значно інтенсифікувати процес масопереносу, поліпшити якість продукту.

Однак, практична реалізація можливостей мікрохвильових технологій вимагає постановки спеціальних досліджень, досяжний технічний рівень визначається їхнім характером і результатом.

Екстрагування за допомогою МХТ є революційним методом екстрагування, заснованим на селективному й обмеженому нагріванні залишкової вологи в рослинному матеріалі мікрохвилями [112].

Це локалізоване нагрівання йде дуже швидко й завершується руйнуванням фізичної структури вихідного матеріалу, що веде до прямого переміщення цільових компонентів у розчинник.

Цей процес дозволяє витягати більш широкий діапазон розчинних речовин, підбираючи необхідний розчинник.

Крім того, розчинники вибираються так, щоб бути прозорими до мікрохвиль, а виходить, тільки вихідний матеріал нагрівається. Результат – більш низьке споживання енергії й екстракти високої якості.

Схема пропонованого способу одержання екстрактів з рослинної сировини представлена на рис.1.6.

Циркуляційний контур 6 може мати охолоджувач 8.

Створення методів розрахунків розглянутих схем, їх випробування й удосконалювання для умов переробки плодів шипшини, визначення доцільних умов експлуатації вимагає комплексних досліджень, результат і обсяг яких багато в чому визначається коректною їхньою постановкою.

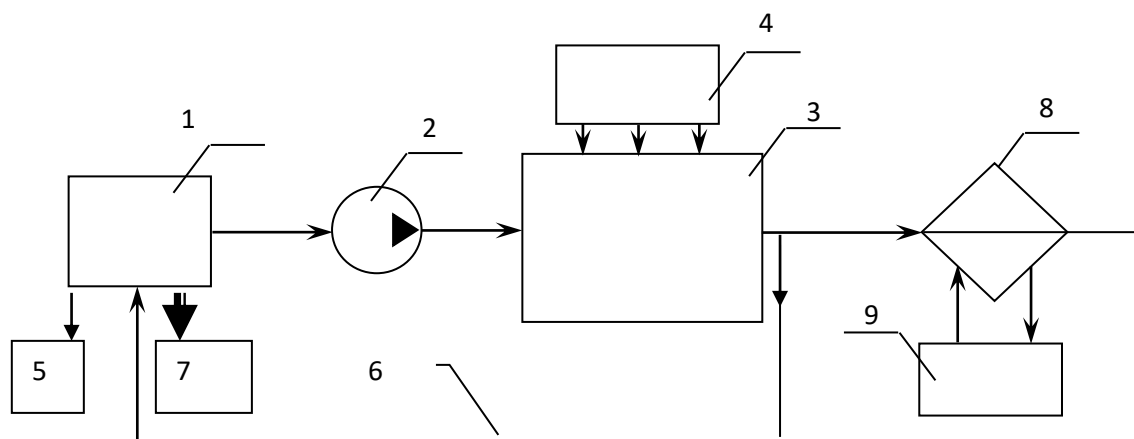


Рис. 1.6. Принципові схеми перспективного способу екстрагування у МХП: 1 – резервуар з розчинником і з вихідною сировиною; 2 – насос; 3 – екстракційна камера; 4 – магнетрон; 5 - резервуар з екстрактом; 6 – циркуляційний контур; 7 – резервуар для шроту; 8 – охолоджувач; 9 – автономна холодильна установка.

Разом з тим, сучасний рівень розуміння механізмів екстрагування у МХП, аналітичні моделі процесу може бути основою для комплексних досліджень процесів переробки плодів шипшини.

1.8. Основи теорії масопереносу при екстрагуванні у мікрохвильовому полі

У розділі розглянемо специфіку моделювання тепломасопереносу при екстрагуванні в умовах мікрохвильового поля.

1.8.1. Механізм процесу екстрагування в електромагнітному полі надвисоких частот. Процес екстрагування екстрактивних речовин з рослинної сировини в електромагнітному полі надвисоких частот здійснюється завдяки масопровідності, конвективної дифузії, а також, завдяки дії мікрохвильового випромінювання [110-129]. Розглянемо більш докладна дія останнього фактора на процес.

У звичайних умовах (без впливу МХ поля) розподіл концентрацій на границі «тверде тіло – розчинник» виглядає в такий спосіб (рис. 1.7).

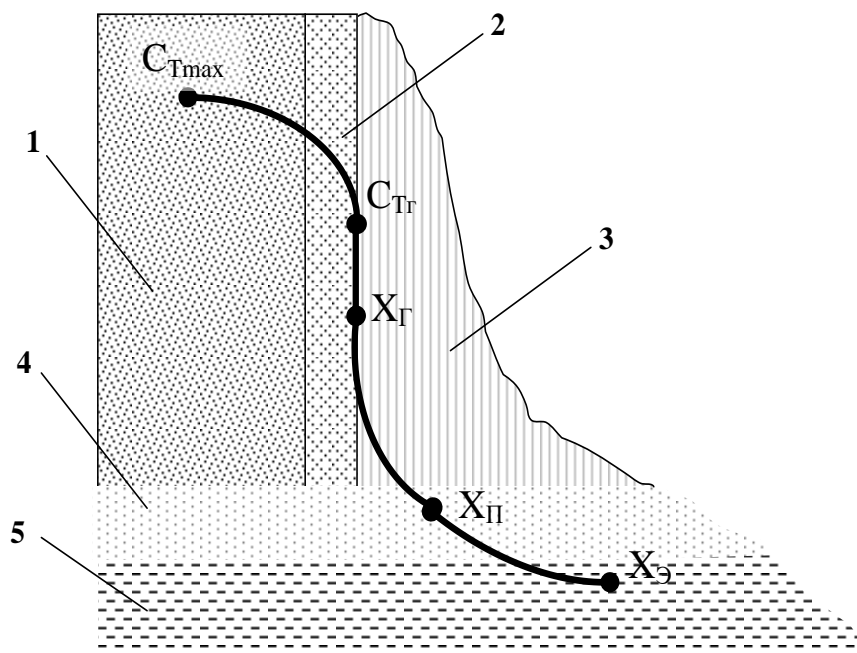


Рис. 1.7. Розподіл концентрацій на кордоні «тверде тіло - розчинник». 1 – внутрішня ділянка твердого тіла; 2 – зовнішня ділянка твердого тіла; 3 - капіляр; 4 - граничний дифузійний шар; 5 – екстрагент.

Тверде тіло в процесі екстрагування розділяється на дві ділянки – внутрішню 1, де концентрація розчинного речовини максимальна C_{Tmax} , і зовнішню 2, де ця концентрація значно менше C_{TM} , причому із часом обсяг зовнішньої ділянки поступово зростає, а внутрішньої зменшується. Дифузія у твердій фазі визначається за законом Фіка й розподіл поточної концентрації C_T у твердій фазі описується параболічною епюрою.

Масовий потік у цьому випадку J_1 залежить від коефіцієнта дифузії D і градієнта концентрацій у твердому тілі:

$$J_1 = -D \frac{dC_T}{d\delta}. \quad (1.1)$$

Частки пористої сировини мають найменшу граничну концентрацію C_{TM} , якої відповідає значення граничної концентрації в рідкій фазі X_G на границі роздільної фаз при взаємодії з розчинником.

Передбачається, що рідка фаза капіляра 3 по його діаметру однакова й рівна X_r , що можна пояснити малим діаметром капіляра й стиснутими умовами для дифузії усередині капіляра 3. Внаслідок чого розчинні речовини рухаються в середині капілярів до поверхні часток, утворюючи другий масовий потік J_2' . У граничному шарі концентрація розчину рівна X_n . Інтенсивність конвективної дифузії в стиснутих умовах визначається ефективним коефіцієнтом масовіддачі β_E :

$$J_2' = \beta_E \cdot (X_r - X_n) \quad (1.2)$$

Також, завдяки конвективної дифузії, відбувається рух розчинних речовин із граничного шару в центр потоку, де їх концентрація рівна X_E . Інтенсивність масового потоку J_2'' в цьому випадку визначає коефіцієнт масовіддачі β :

$$J_2'' = \beta \cdot (X_n - X_E) \quad (1.3)$$

Під час росту температури підвищується значення коефіцієнта дифузії, однак, стиснуті умови в капілярі не дають істотної інтенсифікації процесу переносу.

Механізм дії мікрохвильового поля пояснюється рис. 1.8. При накладенні імпульсного електромагнітного поля паралельно руху масових потоків J_1 , J_2' і J_2'' виникає ще один потік J_3 . Енергія поля, концентруючись у рідкій фазі капілярів кавового зерна, викликає утворення парових пухирців, внаслідок чого виникає градієнт тиску й рідина з капіляра періодичне викидається в потік.

Це бародифузія, яка визначається тиском, що зростають у капілярі. Частота викидів і кількість функціонуючих капілярів збільшується пропорційно електрофізичному впливу. Пропонується аналогія із центрами паротворення при вакуумуванні системи [5, 6, 68, 113]. Потік, що виникає під дією електромагнітного поля, турбулізує граничний шар, опір може бути на порядок нижче, чим у традиційних схемах масовіддачі.

Масовий потік J_3 залежить від різниці тисків у капілярі P_K і в потоцекстрагенту P_E , а також від коефіцієнта масовіддачі β_D , що суттєво

відрізняється від β_E и β :

$$J_3 = \beta_D \cdot (P_K - P_\ominus). \quad (1.4)$$

В умовах імпульсного електромагнітного поля зовнішньодифузійний режим переходить у внутрішньодифузійний, оскільки швидкість екстрагування лімітується вже не зовнішньою дифузією, а дифузією крізь пористий матеріал частки, тому загальний потік маси буде рівний:

$$J_1 = J_2 + J_3, \quad (1.5)$$

де $J_2 = J_2' = J_2''$

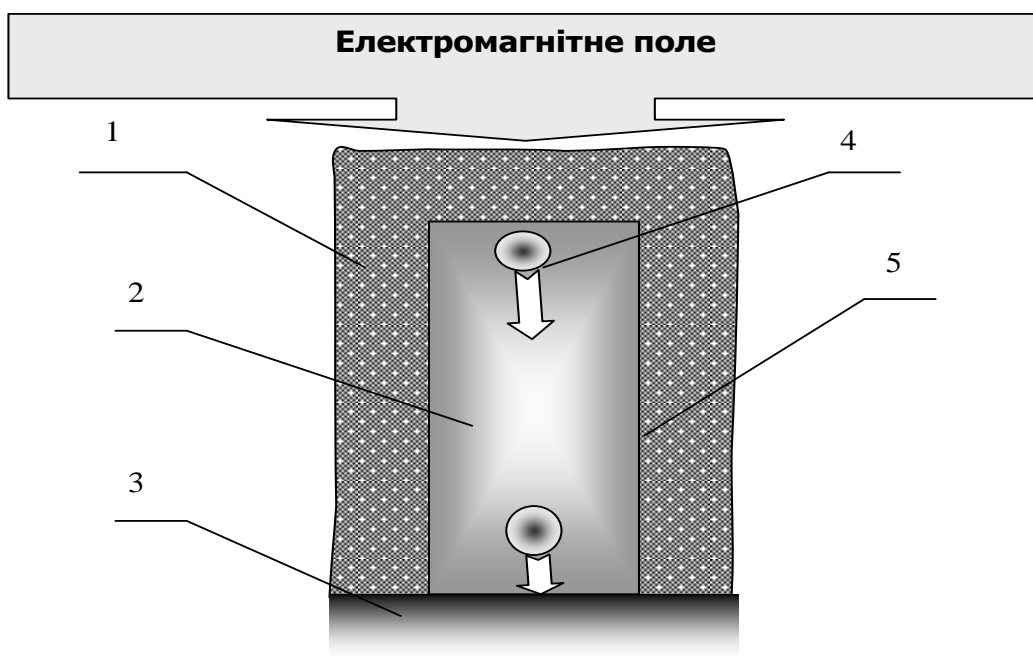


Рис. 1.8. Механізм бародифузії: 1 – тверда фаза; 2 – капіляр; 3 – екстрагент; 4 – парова бульбашка; 5 – граничний дифузійний шар.

Внутрішньодифузійний режим процесу екстрагування є найбільш інтенсивним режимом екстрагування. Однак, встає питання, при яких умовах можливе ініціювання бародифузії.

Із усього вищесказаного можна зробити вивід, що масовий потік J_1 лімітується дифузійним опором твердої фази, загальний масовий потік J_2 долає послідовно опору масопереносу в стиснутих умовах капіляра й конвективної дифузії, при цьому масовий потік J_3 , що виникає внаслідок

бародифузії, повинен подолати дифузійний опір на порядок нижче того, яке долає масовий потік J_2 .

Таким чином, головною умовою є те, що бародифузійний потік повинен подолати дифузійний опір твердої фази. Це досягається за рахунок переходу частини рідини в парову фазу. Тому при вирішенні поставленого завдання слід визначити термодинамічні параметри пароводяної суміші в каналі при початковому тиску P_E й тиску, який забезпечує бародифузю [68]:

$$P_{БД} = P_E + P_K \quad (1.6)$$

Гідравлічний опір в окремому каналі P_K дорівнює:

$$P_{K_i} = \frac{\rho \cdot w^2}{2} \left[\frac{\lambda \cdot l_i}{d_i} + \sum \xi \right] + \rho \cdot g \cdot l_i + \frac{\sigma}{d_i}, \quad (1.7)$$

де d_i – діаметр капіляра; l_i – довжина капіляра; w – швидкість руху рідини в капілярі; ρ – щільність рідини; ξ – місцеві опори; σ – сили поверхневого натягу; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; g – прискорення вільного падіння.

Проведені розрахунки [114, 124] P_K при різних діаметрах капіляра, знайдених у літературі. Прийmemo максимальну довжину каналу 2,5 мм, швидкість руху рідини в капілярі – 1 м/с. Фізичні властивості прийнято при температурі 100 °С. Результати наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Гідравлічний опір у капілярах твердої фази

Діаметр капіляра, м	Re	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Гідравлічний опір, Па
40·10 ⁻⁶	135,7	0,47	1,63·10 ⁴
20·10 ⁻⁶	67,85	0,94	6,02·10 ⁴
50·10 ⁻⁹	0,17	377,29	9,04·10 ⁹

Як видно з таблиці 1.4., розумним є досягнення тиску, що забезпечує бародифузю в мікропорах сировини.

Завданнями подальшого аналізу є питання розподілу концентрацій за схемою рис. 1.8. Визначимо перспективи для цієї мети аналітичних методів

моделювання.

1.8.2. Аналітичний розв'язок завдання масопереносу при екстрагуванні в мікрохвильовому полі. Рішення завдання масопереносу в умовах мікрохвильового поля можна розглянути як сукупність моделі дифузії усередині капіляра пористого тіла, моделі масопереносу з пористого тіла сферичної форми, а також моделі дифузії із точкового джерела в потік.

Модель дифузії усередині капіляра пористого тіла. Розглядаючи запропоновану модель (рис. 1.8), зроблено кілька допущень: 1) швидкість руху розчину постійна по всьому перетину капіляра; 2) розчинна речовина дифундує від поверхні каналу в потік. У такому випадку рівняння дифузії представлено в циліндричних координатах по поточному радіусу r [69]:

$$w_0 \frac{\partial X}{\partial Z} = D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial X}{\partial r} \right] \quad (1.8)$$

Величина $D(\partial^2 X / \partial Z^2)$, що характеризує дифузію уздовж каналу, виключно мала в порівнянні з конвективною складовою $w_0(\partial X / \partial Z)$.

Граничними умовами є:

$$X = X_p, \text{ при } Z = 0 \text{ для всіх } r; \quad X = X_e, \text{ при } r = 0,5d \text{ для всіх } Z.$$

Введення Бесселевих функцій першого роду I_0 і I_1 приводить до рівняння:

$$\frac{X - X'_p}{X_e - X'_p} = 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \frac{I_0(a_n r / 0,5d)}{I_1(a_n)} \exp\left(-\frac{D}{w_0 r^2} a_n^2 Z\right). \quad (1.9)$$

Середня концентрація на виході з каналу при Z , рівному його довжині, визначається після інтегрування (1.9):

$$\frac{X_p'' - X'_p}{X_e - X'_p} = 1 - 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{a_n} \exp\left(-\frac{D a_n^2 Z}{w_0 0,25d^2}\right) \quad (1.10)$$

де a_n - значення r , для якого $I_0(r) = 0$.

Для параболічного профілю швидкостей відповідно до розв'язку рівняння Нав'є-Стокса:

$$w_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{0,5d} \right)^2 \right] \frac{\partial X}{\partial Z} = D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial X}{\partial r} \right). \quad (1.11)$$

З урахуванням граничних умов співвідношення (11) має вигляд:

$$\frac{X''_P - X'_P}{X'_\infty - X'_P} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp - b_n \left(\frac{D}{w_{c,P} 0,25d^2} \right) Z, \quad (1.12)$$

де середня швидкість потоку $w_{cp} = 0,5w_{max}$;

a_n і b_n – константи.

Модель масопереносу з пористого тіла сферичної форми. Розгляд кінетики екстрагування з пористого тіла, зроблене при наступному допущенні, що спрощує: виділяється на поверхні тіла область, для якої товщина граничного шару (значно менше довжини виділеної області. При моделюванні представимо поверхню твердої фази як пластину, омивану тонким ламінарним шаром екстрагенту.

Поздовжня швидкість w змінюється від 0 на поверхні сфери до w_δ на зовнішній границі шару. Рівняння дифузії, що встановлює розподіл концентрації Z у часі τ в одній точці, конвективна зміна концентрацій при переході від точки до точки, що залежить від компонентів швидкості w_x і w_y , має вигляд:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial c}{\partial x} + w_y \frac{\partial c}{\partial y} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right). \quad (1.13)$$

Права частина рівняння (13) характеризує молекулярну дифузію.

Поставимо завдання визначити функцію $c(\tau, x, y)$ у шарі δ , вважаючи, що геометричні розміри виділеної області значно перевершують товщину δ . Використовуючи метод двовимірного комплексного перетворення Фур'є з нескінченними межами інтегрування [64] при початкових умовах $z(\tau, x, y)|_{\tau=0} = 0$ і граничних умовах :

$$c|_{x=\infty} = \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=\pm\infty} = 0; \quad c|_{y=\pm 0} = \frac{\partial c}{\partial y} \Big|_{y=\pm\infty} = 0 \quad (1.14)$$

можна одержати розв'язок, вважаючи, що компоненти швидкості w_x і w_y задані

й не залежать від координат, процес дифузії проходить не залежно від координати Z . Припустивши, що шукана функція $c(\tau, x, y)$ задовольняє умовам Дирихле на проміжку $(-\infty, +\infty)$ по змінним x, y і умовам на границі (1.14), записане:

$$c(\tau, x, y)|_{\tau=0} = \exp[-(|x| + |y|)]. \quad (1.15)$$

Визначивши двовимірну трансформанту шуканої функції й виконавши подвійне інтегрування, замінимо експонентне вираження першими членами його розкладання в степенний ряд, з урахуванням симетрії завдання, знайдений розв'язок крайового завдання:

$$c(\tau, x, y) = \frac{1}{(1 - D\tau)^2} \left\{ \exp[(w_x + w_y)\tau - (|x| + |y|)] + D\tau \exp\left[\frac{1}{\sqrt{D\tau}}[(w_x + w_y)\tau - (|x| + |y|)] - \sqrt{D\tau} \left\{ \exp\left[\left(w_x + \frac{w_y}{\sqrt{D\tau}}\right)\tau - \left(|x| + \frac{|y|}{\sqrt{D\tau}}\right)\right] + \exp\left[\left(w_y + \frac{w_x}{\sqrt{D\tau}}\right)\tau - \left(|y| + \frac{|x|}{\sqrt{D\tau}}\right)\right]\right\} \right\} \quad (1.16)$$

Розв'язок (16) припускає також, що відоме значення коефіцієнта дифузії D .

Модель дифузії із точкового джерела в потік. Згідно із запропонованим механізмом масообміну (рис. 1.18) крім розв'язку (10), передбачена дія бародифузії. При впливі електромагнітного поля градієнт тиску усередині відкритої тупикової пори або капіляра ($P_{БД}$) і в потоціекстрагенту (Pe) росте. За умови $P_{БД} > Pe + P_K$ відбувається викид у потік рідини з капіляра. Ураховується гідравлічний опір капіляра P_K .

Розглянутий дифузійний потік екстрактивних компонентів, що викидаються в потікекстрагенту, який рухається в напрямку Z з постійною швидкістю w_0 . У цьому випадку повинне бути вирішене рівняння:

$$w_0 \left(\frac{\partial X}{\partial Z} \right) = D \nabla^2 X \quad (1.17)$$

при наступних граничних умовах:

$$X|_{l=\infty} = 0; \quad \text{при } l \rightarrow \infty$$

$$4 \pi l^2 D \left(\frac{\partial X}{\partial r} \right) = wa, \text{ при } l \rightarrow 0 \quad (1.18)$$

$$l^2 = x^2 + y^2 + z^2,$$

де l – відстань від джерела; Z – відстань по потоці від джерела; w_a – швидкість, з якої екстрактивні компоненти входять у потік.

У випадку, коли швидкість потоку постійна (w_0), а режим стабілізувався, розв'язок (13) с граничними умовами (1.18) буде:

$$X = \frac{w_A}{4\pi D l} \exp\left[-\left(\frac{w_0}{lD}\right)(l-z)\right]. \quad (1.19)$$

Завдання про точкове джерело має практичне значення при аналізі профілю концентрації в потоці.

Навіть при настільки серйозних спрощеннях завдання, спільний розв'язок (12), (16) і (19) досить утруднений, оскільки гідродинамічна ситуація в потоці визначається турбулентним плином екстрагенту, ускладненим вихривою дифузії з каналів твердої фази.

У зв'язку із серйозними труднощами, що виникли в результаті аналітичного моделювання, застосовувалося експериментальне моделювання процесу екстрагування із зерен амаранту [118], кавового шламу [117, 124] і зерен кава [17, 81, 127]. Для забезпечення екологічної безпеки масла в якості екстрагенту використовувався етиловий спирт. Більше того, цей екстрагент забезпечив і менші енергетичні витрати.

Комбінація циркуляційного перемішування й мікрохвильового впливу знизила тривалість процесу (тобто і його енерговитратні), забезпечила високий вихід продукту. Головним корисним ефектом інноваційного способу з'явилося те, що зміст найціннішого компонента – сквалена виросло в порівнянні процесом екстрагування спиртом без МХТ в 4, 5 рази [118], а із зерен кава в 2... 4 рази [17].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

За результатами проведеного вище огляду патентної літератури можна зробити наступні висновки.

1. У концепції розвитку ринку фітопрепаратів відзначається актуальність виробництва екстрактів із плодів шипшини з високим вмістом комплексу біологічно активних речовин і, у першу чергу, аскорбінової кислоти.

2. Актуальне завдання промислового виробництва екологічно безпечних екстрактів на неенергоємному й надійному устаткуванні. Роста зацікавленість у розвитку промислового виробництва високоякісних поліекстрактів.

3. Промислові технології переробки плодів шипшини з відрізняються низькою ефективністю масопереносу, при екстрагуванні із плодів. Усе це вимагає тривалих строків організації процесу екстрагування й пов'язаних із цим матеріальних витрат. Відомі в інших галузях техніки методи інтенсифікації процесів масопереносу на практиці не застосовуються. Виникає необхідність застосування сучасних методів для прискорення процесів масопереносу.

4. Аналіз показує, що з останніх досягнень техніки серйозні можливості по інтенсифікації процесів масопереносу при екстрагуванні з рослинної сировини мають технології з використанням МХТ. Більше того, у ряді випадків такі процеси впливають і на структуру продукту, змінюють у кращу сторону його властивості. Спроби використання МХТ у процесі екстрагування із плодів шипшини не виявлені.

5. Приклади інтенсифікації електрофізичними методами процесів переносу при екстрагуванні й світовий досвід їх застосування в харчових технологіях припускає доцільність досліджень у даному напрямку й при виробництві екстрактів із шипшини.

6. Досвід кафедри процесів, обладнання та енергетичного менеджменту ОНАХТ по створенню екстракторів, які використовують новий ефект «механодифузійного переносу», повинен стати перспективним при виробництві поліекстрактів із плодів шипшини. Такі концентрати будуть затребувані як фітопрепарати, і як функціональні добавки при виробництві спеціальних

високоякісних продуктів профілактичного харчування.

7. Порівняльний аналіз показує перспективність нового при виробництві поліекстрактів напрямку: інтенсифікація масопереносу й спрощення конструкції при використанні мікрохвильових технологій.

8. Відомим спосіб збереження вітамінів у концентратах є проведення процесу при знижених температурах. Як правило, ця проблема в апаратах термічної обробки вирішується за рахунок вакууму. Приклади комбінованого екстрагування у вакуумі й у МХП у літературних джерелах не виявлені.

9. На сьогоднішній день екстракційні апарати комбінованого дії й методи їх розрахунків відсутні. Прикладів використання вакууму й МХТ у технологіях одержання екстракту із шипшини в літературі не виявлене.

Однак, дані, наведені вище, свідчать про активну роботу над створенням екстракторів, що використовують МХТ [127-139].

Список використаних джерел до розділу 1

1. Мироненко Т.А. Аптечный ассортимент: фитопрепараты. // Новая аптека. 2000, №8. С. 50—53.
2. Дорофеев В.И., Косенко Н.В., Северцев В.А. Формирование рынка лекарственного растительного сырья в России / Материалы IV Международного съезда Актуальные проблемы создания лекарственных препаратов природного происхождения. СПб., 2000. С. 18—25.
3. Ковальов В. М., Павлій О. І, Ісакова Т.І. Фармакогнозія з основами біохімії рослин. Харків, НФаУ, 2004, с. 552-578.
4. Гаммерман А. Ф., Кадаев Г. Н., Яценко-Хмелевский А. А. Лекарственные растения (Растения-целители): Справ. пособие. Москва, 1983.
5. Солодовніченко Н. М., Журавльов М.С., Ковальов В. М. Лікарська рослинна сировина та фітопрепарати . Харків: Вид-во НФаУ; МТК книга, 2003. 408 с.
6. Муравьева Д. А., Самылина И.А., Яковлев Г. П. Фармакогнозия. Москва: Медицина, 2002. –656 с.
7. Шиповник коричный / По материалам справочника И.Н.Пустырского, В.Н.Прохорова "Лекарственные травы"/ [Электронне джерело] Режим доступу: www.altmedic.ru/modules/herb/index.php?nvar=24167 - 37к – Дата звернення: 12.01.2017
8. Галеновые препараты как лекарственные средства суммарного состава // PharmSpravka - новости для аптек [Электронне джерело] Режим доступу: <http://www.pharmspravka.ru/tehnologiya-summarnyih-galenovyih-preparatov/galenovyie-preparaty/galenovyie-preparaty-kak-lekarstvennyie-sredstva-summarnogo-so.html>
9. Привалова Э.Г., Никитюк В.Г. К вопросу технологии получения высококаротиноидного препарата шиповника // Провизор. № 11. С. 30-31.
10. Минина С.А., Легостева А.Б., Сыровежко Н.В., Тушина Н.Е. и др. Способ приготовления и фармакологические свойства настойки из листьев женьшеня // Хим.-фарм. журнал. 2000, №9. С. 31— 37.

11. Первушкин С.В., Климова Л.Д., Бер О.В., Кукина Т.В, Мастерова А.А., Калеткина А.С. Использование шрота некоторых видов лекарственного растительного сырья для изготовления водных извлечений. // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции: Сборник научных трудов. Пятигорск, 2004, вып. 59. С.108—110.
12. Фомин В.В., Вайнштейн В.А., Каухова И.Е., Лимаренко Ю.А. Способ комплексной переработки сухого сырья водорослей. Патент РФ RU 2142812 С16А61К35/80 приоритет от 21.04.98, опубликован 20.12.99. // Бюллетень №35.
13. Бурдо О. Г., Альхури Ю. Пути повышения энергетической эффективности процессов переработки плодов шиповника //Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. 2015. №. 47 (2). С. 118-121.
14. М. Лонцин, Р. Мерсон Основные процессы пищевых производств: Пер. с англ.- М., 1983 – 384 с.
15. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 2 /Под общ. ред. Л.Л.Товажнянского. Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. 532 с.
16. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. Москва, 1981. 200 с.
17. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М . Экстрагирование в системе «кофе - вода». Одесса, 2007. 176 с.
18. Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах. Одесса, 2008. 348 с.
19. Бурдо О.Г.. Энергетический мониторинг пищевых производств. Одесса, 2008. 244 с.
20. Лысянский В.М. Экстрагирование в пищевой промышленности / В.М. Лысянский, С.М. Гребенюк. Агропромиздат, 1987. 188 с.
21. Теоретические основы тепло- и влагообменных процессов пищевой технологии / В.М. Харин, Г.В. Агафонов. Москва: Пищевая промышленность, 2001. 343 с.
22. Быков В.И. Об интенсификации массообмена в пористом теле при

пульсациях давления на его границе / В.И. Быков, Т.И. Вишневская, Н.Ф. Холина // Химическая промышленность. 1995. №3. С. 42-44.

23. Белобородов В.В. Извлечение биологически активных веществ из пряноароматического сырья в системе процессов экстрагирование-отжим / В.В. Белобородов, В.Н. Брик, А.В. Прокофьев // Масло-жировая промышленность. 1995. № 3-4. С. 24-27.

24. Болотов В.М. Совершенствование технологии получения пищевых красителей из плодов аронии // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. 2002. №1. С. 24.

25. Болотов В.М. Пищевые красители / В.М. Болотов, А.П. Нечаев // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. 2001. №1. С. 4-11.

26. Луцкая Б.П. Получение красителей из растительного сырья / Б.П. Луцкая, Н.И. Славущая. М.: Наука. 1977. – 30 с.

27. Сорокопуд А.Ф. Исследование процесса экстрагирования свежего плодово-плодівного сырья / А.Ф. Сорокопуд, В.А. Помозова, А.С. Мустафина // Хранение и переработка сельхозсырья. 2000. № 6. С. 22-24.

28. Орлов И.В. Настои, полученные при водной и ультразвуковой экстракции из трав душицы, пустырника, мяты перечной // Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. №12. С. 26-27.

29. Пат. 5358725 США, МПК⁵ А 23 F 3/00, 5/00. Method and device for extracting effective ingredients from dried plant materials / Izumitani Maremitsu, Sawada Yoshimi; McCoffee Co. Ltd. – № 85985; Заявлено 01.07.93; Опубл. 25.10.94; Приор. 01.07.92, № 4-197788.

30. Кардашов Г.А. Тепломассобменные акустические процессы и аппараты / Г.А. Кардашов, П.Е. Михайлов. – М.: Машиностроение, 1976.

31. Суворова Г.М. Утилизация отходов винодельческой промышленности в пищевой энокраситель. // Сб. науч. трудов «Всесоюзной конференции по физико-химическому анализу многокомпонентных систем». – Махачкала, 1997. С. 94-95.

32. Пат. 2191520 Россия, МПК⁷ А 23 F 3/36. Способ экстракции

водорастворимых веществ из растительного сырья / А.В. Барская, В.И. Курец, Г.Л. Лобанова. – № 98119596/13; Заявл. 28.10.98. Опубл. 27.10.2002.

33. Sensoy I. Extraction using moderate electric fields / I. Sensoy, S.K. Sastry // *J. Food Sci.* 2004. 69. № 1. P. 7-13.

34. Алейников И.Н. Энергосберегающая технология для производства биофлавоноидных красителей / И.Н. Алейников, В.Н. Сергеев // *Пищевая промышленность.* 1998. № 8. С. 43.

35. Красители для пищевых продуктов: Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИПЦ, 1989. 15 с.

36. Христюк В.Т. Влияние электромагнитного поля на выход и состав клюквы / В.Т. Христюк, Л.Н. Узун, М.Г. Барышев // *Известия ВУЗов. Пищевая технология.* 2002. № 4. С. 73-74.

37. Терзіев В.Г. Інтенсифікація екстрагування у харчових технологіях В.Г. Терзіев, П.І. Осадчук, О.Г. Бурдо // *Харчова і переробна промисловість.* 1999. № 9. С. 30-31.

38. Ширеторова В. Г. Разработка основ технологического процесса получения кедрового масла свч-экстракцией спиртом этиловым: Автореф. дис... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2002. – 19 с.

39. Armstrong S.D. Microwave-Assisted Extraction for the Isolation of Trace Systemic Fungicides from Woody Plant Material: Dissert... PhD. Virginia, 1999. 129 p.

40. Haizhou Li Ultrasound and Microwave Assisted Extraction of Soybean Oil: A Thesis Presented for the Master of Science Degree. Knoxville, 2002. 67 p.

41. Amer Ali Scrutiny of Microwave Essential Oil Extraction / Ali Amer, Rosli Mohd Yunus, Ramlan Abd. Aziz. Malaysia Technology University. 2003. 7 p.

42. Hupe M. Effects of moisture content in cigar tobacco on nicotine extraction – similarity between Soxhlet and focused open-vessel microwave-assisted techniques / *J. Chromatogr.* 2003. 1011. № 1-2. P. 213-219.

43. Дадашев М.Н. Использование сверх критических флюидов в различных экстракционных процессах и перспективы их применения / М.Н.

Дадашев, И.М. Абдулагатов // Химическая промышленность. 1993. № 10. С. 40-47.

44. Рыбальченко А.С. Ресурсо- и энергосбережение с применением вакуумно-импульсных технологий / Тезисы VI Всерос. студ. науч.-практ. конф. «Новый взгляд на проблемы безопасности в XXI веке». Иркутск, 2001. Т.1. С. 161-162.

45. Рыбальченко А.С. Исследование экстракции солодкового корня / А.С. Рыбальченко, В.П. Голицын, Л.Ф. Комарова // Химия растительного сырья. – 2002. №4. С. 55-59.

46. Патент України № 6651 Україна, B01 D11/00 Спосіб екстрагування з твердого тіла / Я.М. Гумницький, М.Ф. Юрим, В.М. Сеньків. – №20041008630; Заявл. 22.10.2004; Опубл. 16.05.2005. – Бюл. №5.

47. Аверин К.М. Промышленные сверхкритические экстракционные установки / К.М. Аверин, А.Р. Водяник, И.Е. Кизим // Пищевая промышленность. 2003. № 10. С. 44.

48. Шаззо Р.И. Технология CO₂-обработки сырья растительного и животного происхождения / Р.И. Шаззо, Г.И. Касьянов // Хранение и переработка сельхозсырья. 1999. № 3. С. 10-13.

49. Schenker S. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions / S. Schenker, S. Handschin, B. Frey, R. Perren, F. Escher / J. Food Sci. 2000. 65. № 3. P. 452-457.

50. Шевцов А.А. Разработка и научное обоснование способа обжарки кофе перегретым паром / А.А. Шевцов, Л.Н. Остриков, А.Н. Зотов, И.В. Подгузова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 8. С. 148-150.

51. А.с. 1839313, Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/24. Способ производства растворимого кофе / Ф.Г. Нахмедов. – № 4746175/13; Заявлено 05.10.89; Опубл. 27.05.96, Бюл. № 15.

52. Пат. 2080076 Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/24. Способ экстрагирования жаренного и молотого кофе: / Горбен Бринк Ларсен. – № 93053498/13; Заявл. 21.01.92; Опубл. 27.05.97, Бюл. №15.

53. Пат. 6337098 США, МПК⁷ А 23 F 5/00. Method of improving the aroma and flavor of coffee using noble gases / American Air Liquide, К.С. Spenser, С.Е. Boisrobert – № 08/305733; Заявл. 14.09.1994; Опубл. 08.01.2002.
54. Пат. 5637343 США, МКК⁶ А 23 F 5/24. Process for making coffee concentrate / G.B. Ryan – № 504539; Заявл. 20.07.95; Опубл. 10.06.97.
55. Пат. 403000 Австрия, МКИ⁶ А 47 J 31/36, А 23 F 5/26. Verfahren zum Zubereiten eines Kaffeegetränkes durch Rotationsextraktion / Tchibo Frisch-Röst-Kaffee GmbH. – № 120/96; Заявл. 26.01.96; Опубл. 27.10.97.
56. Пат. 655496 Австралия, МКИ⁵ А 23 F 005/26, 003/18, А 23 L 001/22. Extraction method / Lang Timothy Ralston. – № 23670/92; Заявл. 21.07.92; Опубл. 22.12.94.
57. Пат. 6548094 USA, МПК⁷ А 23 L 1/28/ А 23 F 5/24. Coffee system / P.A. Kalenian. – № 09/731677; Заявл. 06.12.2000; Опубл. 15.04.2003.
58. Пат. 6602538 США, МПК⁷ А 23 F 5/00. Coffee concentrate / A.W. Watkins (Jr), E.T. Watkins. – №10/165520; Заявл. 11.06.2002; Опубл. 05.08.2003.
59. Пат. 2059382 Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/10 Промышленное устройство для экстракции ценных веществ из растительного сырья с помощью свч-энергии Касьянов Г.И., Квасенков О.И.; ВНИИ консерв. и овощесуш. пром-ти – № 93031259/13; Заявл. 24.06.93. Опубл. 10.05.96. Бюл. №13.
60. Пат. 6497911 США, МПК⁷ А 23 F 5/00. Process for the preparation of a water soluble coffee or tea product from a non-rewetted particulate material obtained from an extract by drying / Niro A/S, Hansen Ove Emile, Sorensen Per Bo, Ilkjaer Jorgen, Sorensen Jeus Mourits № 09/567581; Заявл. 05.05.2000; Опубл. 24.12.2002.
61. Bassoli D.G. Instant coffee with natural aroma by spray-drying / D.G. Bassoli, A.P. Sumi, Y. Akashi, H. Vchida, A.S. De Castro, N. Ohtani, T. Obayashi, M. Nakayama, A. Shigekane, Y. Tamura, M. Tomita, M. Takahashi, N. Narui // 15^{ème} Colloq. Sci. int. Cafè. – Paris, 1993. – P. 712-718.
62. Пат. 5922385 США, МПК⁶ А 23 F 5/00, А 23 В 4/03. Process for the preparing low density soluble coffee products having increased particle strength and

rapid hot water / Stipp Gordon Keith, White Robert Lee, The Procter & Gamble Co. – № 08/933431; Заявл. 18.09.1997; Опубл. 13.07.1999.

63. Microwaves in the industry processes. Biennial Report // Publications of Environmental Technology Centre. Toronto: Canada, 1998. – 23 p.

64. Lopez-Avila V. Microwave-Assisted Extraction of Organic Compounds from Standard Reference Soils and Sediments / V. Lopez-Avila, R. Young // Analytical Chemistry. – 1994. – 66. – P. 1097-1106.

65. Калинин Л.Г. Научно-технические аспекты широкого применения микроволновых технологий. Состояние вопроса, проблемы, решения // Мікрохвильові технології в народному господарстві: Впровадження. Проблеми. Одеса: ОКФА. 1996. С. 62-68.

66. Параскова П. Возможности современных микроволновых технологий для переработки пищевых продуктов и консервирования / П. Параскова, Т. Чекаров // Мікрохвильові технології в народному господарстві: Впровадження. Проблеми. – Одеса: ОКФА. 1996. С. 31-34.

67. Heddleson R.A. Destruction of Salmonella species heated in aqueous salt solutions by microwave energy / R.A. Heddleson, S. Doores, R.C. Anantheswaran, G.D. Kuhn // J. Food Protection. 1993. 56. P. 763.

68. Губиев Ю.К. Микроволновые процессы и техника в пищевой технологии / Ю.К. Губиев, В.В. Красников, А.Г. Гаспарянц // Перерабатывающая промышленность. 1996. № 1. С. 39-44.

69. Datta A. K. Handbook of Microwave Technology for Food Applications / A.K. Datta, R.C. Anantheswaran. – Marcell Dekker, Inc. 2001. 511 p.

70. Терзиев В.Г. Интенсификация массопереноса при производстве крепких напитков: Автореф. дис...канд. техн. наук. Одеса, 2000. – 18 с.

71. Kingston H.M. Introduction to Microwave Sample Preparation / H.M. Kingston, L.B. Jassie. – Washington DC: American Chemical Society, 1998. 288 p.

72. Пат. 2216575, Россия, МПК⁷ С 11 В 1/10. Промышленное устройство для экстракции ценных веществ из растительного сырья с помощью СВЧ-энергии / А.И. Марколия, Н.И. Малых, Л.Г. Голубчиков, Е.С. Ямпольский, Г.И.

Астапенко, В.Г. Балашов, А.П. Жуков, Т.П. Топчий №2002100237/13; Заявл. 11.01.2002. Опубл. 20.11.2003.

73. Пат. 2075214 Россия, МКИ⁶ С 11 В 1/10, 9/02. Способ микроволновой экстракции биологического сырья / О.И. Квасенков, ВНИИ консерв. и овощесуш. пром-ти. – № 94036034/13; Заявл. 27.09.94. Опубл. 10.03.97. Бюл. №7

74. Пат. України, МКИ С12G1/02. Экстрактор / В.Г. Терзієв, Т.А. Начасва, М.Д. Захаров, О.Г. Бурдо № 99095364 Заявл. 29.09.1999; Опубл. 15.09.2000. Бюл. № 4

75. Мурадов М.С. Экстракция красящих веществ из растительно сырья (обзор) / М.С. Мурадов, Т.Н. Даудова, Л.А. Рамазанова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2000. №4. С. 21-27.

76. Белобородов В.В. Экстрагирование из твердых материалов в электромагнитном поле сверхвысоких частот // Инженерно-физический журнал. 1999. 72. №1. С. 141-146.

77. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. 600 с.

78. Saleeb F.Z. Adsorption of carbon dioxide on roast and ground coffees // 7th Int. Colloquium on the Chemistry of Coffee. Hamburg, 1975. P. 335-339.

79. Аксельруд Г.А., Альтшулер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию. М.: Химия, 1983. 263 с.

80. Гумницький Я.М. Кінетика екстрагування цільового компоненту з поодинокого капіляру в умовах вакуумування системи / Я.М. Гумницький, Л.О. Венгер, М.Ф. Юрим // Вісник НУ Львівська політехніка Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2003. № 488. С. 220-222.

81. Бурдо О.Г. Наномасштабные процессы в пищевых технологиях / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Сборник научных трудов МПА: Вып. II – М.: ГИОРД, 2004 г. С. 292-305.

82. Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях // Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.-2005. С.88-93

83. Процессы переработки кофейного шлама / О.Г. Бурдо та ін. // Киев: «ЭнтерПринт», 2014. 228 с.
84. Ballesterosa L.F., Cerqueiraa M.A., Teixeiraa J.A., Mussattob S.I. Characterization of polysaccharides extracted from spent coffee grounds by alkali pretreatment // *Carbohydrate Polymers* – 127 (2015). P. 347-354
85. Chan C.-Hung, Lima J.-J., Yusoff R., Ngoh G.-C. A generalized energy-based kinetic model for microwave-assisted extraction of bioactive compounds from plants // *Water Environment Research*, 2015. Vol. 88, Num. 10. P. 1192-1229
86. Bhuyan D.J., Vuong Q.V., Chalmers A.C., van Altena I.A., Bowyer M.C., Scarlett C.J. Microwave-assisted extraction of *Eucalyptus robusta* leaf for the optimal yield of total phenolic compounds // *Industrial Crops and Products*, 2015. Vol. 69. P. 1-10
87. Flyrez N., Conde E., Domínguez H. Microwave assisted water extraction of plant compounds // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2015. Vol. 90, Is. 4. P. 590-607
88. Tewari S., Ramalakshmi K., Methre L., Mohan Rao L.J. Microwave-Assisted Extraction of Inulin from Chicory Roots Using Response Surface Methodology // *J. Nutr. Food Sci.*, 2015. Vol. 5. P. 342-349
89. Jacotet-Navarro M., Rombaut N., Fabiano-Tixier A.-S., Danguien M., Bily A., Chemat F. Ultrasound versus microwave as green processes for extraction of rosmarinic, carnosic and ursolic acids from rosemary // *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015. Vol. 27. P. 102-109
90. Chung-Hung C., Jian-Jiun L., Yusoff L., Gek-Cheng R., Gek-Cheng N. A Generalized Energy-Based Kinetic Model for Microwave-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Plants // *Separation and Purification Technology*, 2015. Vol. 143. P. 152-160.
91. Chemat F., Cravotto G. Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds: Theory and Practice. Food Engineering Series, 2013. 238 p.

92. Zhou T., Xiao X., Li G. Hybrid Field-Assisted Solid_Liquid_Solid Dispersive Extraction for the Determination of Organochlorine Pesticides in Tobacco with Gas Chromatography // *Anal. Chem.*, 2012. Vol. 84. P. 420-427
93. Lebovka E., Vorobiev F. *Chemat Enhancing Extraction Processes in the Food Industry*. By Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2012. 518 p.
94. Wang C.-C., Yau H.-T. Application of hybrid microwave thermal extraction techniques for mulberry root bark // *Thermal Science*, 2013. Vol. 17, No. 5. P. 1311-1315
95. Дячок В. В. Науково-теоретичні основи екстрагування лікарської рослинної сировини: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.12: захист 09.02.2011 / наук. конс. Мальований М.С.. Київ: НУХТ, 2010. 43 с.
96. Дячок В.В., Запоржець Ю.В., Гуглич С.І. Розроблення екологічно безпечної технології одержання фізіологічно активних сполук метолом екстрагування рослинної сировини // *Наукові праці ОНАХТ*, 2016. № 1 (80). С. 108-113.
97. Dyachok V., Ilkiv I. The mechanism of extraction from solid bodies cellular structure // *Chemistry & chemical technology*, 2013. Vol. 7, № 1. P. 23-27.
98. Dyachok V., Dyachok R., Gaiduchok O., Ilkiv I. Mathematical model of massretutn from lamina of leaf into extractant // *Chemistry & chemical technology*, 2015. Vol. 9, № 1. P. 107-110.
99. Чайка О.І. Експериментальні дослідження екстрагування з рослинної сировини методом дискретно-імпульсного введення енергії // *Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України*. Одеса, 2012. Вип. 41, том 1. С. 48-51.
100. Иваницкий Г.К., Гоженко Л.П. Аналитическое исследование условий возникновения кавитации в трубе пульсационного диспергатора ударного типа // *Пром. теплотехника*, 2014. Т. 36, № 6. С. 49-56.

101. Іваницький Г. К. Дослідження впливу кавітаційного механізму при пульсаційному екстрагуванні рослинної сировини // Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України. Одеса, 2014. Вип. 45, том 2. С. 112-115.

102. Гоженко Л.П. Застосування енергоефективного обладнання для отримання екстракту чистотілу // Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України. Одеса, 2017. Вип. 1, том 81. С. 65-70.

103. Семенишин Є.М. Особливості екстрагування цільових компонентів з пористих структур // Наук. вісн.: Зб. наук.-техн. пр. Львів, 2004. УкрДЛТУ. Вип. 14.4. С. 317–321.

104. Гумницький Я.М., Сеньків В.Н. Исследование влияния гидродинамических условий на экстрагирование вещества из линейных капилляров // Вопросы химии и химической технологии, 2006. № 3. С. 157-161.

105. Зав'ялов В.Л., Малежик І.Ф. Дослідження зовнішнього масообміну в умовах віброекстрагування із рослинної сировини // Наукові праці ОНАХТ, 2012. Вип. 41, том 1. С. 95-98.

106. Білонога Ю.Л. Спосіб інтенсифікації процесу екстрагування хонсуриду із застосуванням поверхнево-активних речовин // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького, 2008. Т.10. №2 (37). С.14-18.

107. Атаманюк В.М. Зовнішній тепломасообмін підчас фільтраційного сушіння // Промышленная теплотехника, К., 2006. Т. 28, № 5, С. 47-54.

108. Гумницький Я.М., Сеньків В.Н. Исследование влияния гидродинамических условий на экстрагирование вещества из линейных капилляров // Вопросы химии и химической технологии, 2006. Т. 40, №3. С. 1–6.

109. Гумницький Я.М., Венгер Л.О., Юрим М.Ф. Кінетика екстрагування цільового компоненту з поодинокого капіляру в умовах вакуумування системи // Хімія, технологія речовин та їх застосування: Вісник НУ «Львівська політехніка», 2003. №488. С. 220-222.

110. Гумницький Я.М., Сеньків В.М., Юрим М.Ф. Інтенсифікація екстрагування з капілярів при періодичному вакуумуванні системи // Хімія,

технологія речовин та їх застосування: Вісник НУ «Львівська політехніка», 2005. №529. С. 177-179.

111. Дячок В.В. Дифузійна рівновага при екстрагуванні рослинної сировини // Хімія, технологія речовин та їх застосування. Вісник НУ «Львівська політехніка», 2006. №553. С. 229-234.

112. Зав'ялов В.Л. Аналітичне дослідження масоперенесення при безперервному віброекстрагуванні із рослинної сировини // Наукові праці НУХТ, 2013. №53. С. 132-139.

113. Зав'ялов В.Л. Дослідження ефективності зовнішнього масообміну при віброекстрагуванні з рослинної сировини / Зав'ялов В.Л. та ін. // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал, 2010. №4 (60). С. 101-105.

114. Зав'ялов В.Л. Дослідження протитечійного розділення фаз при твердо фазовому віброекстрагуванні / Зав'ялов В.Л. та ін. // Матеріали II Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності» (11 вересня 2013 р.). Київ, 2013. С. 68-70.

115. Зав'ялов В.Л. Енергетичні показники процесу безперервного віброекстрагування / Зав'ялов В.Л. та ін. // Наукові праці НУХТ, 2014. №54. С. 8-16.

116. Zavialov V., Malejic I., Bodrov V., Misyura T., Popova N., Zaporozhets Y. Vibratory extraction and prospects of its using rational processing of vegetable raw materials and their processing waste. The second north and east European congress on food (May 26, 2013). Kiev: NUFT, 2013. 167 p.

117. Терзиев С.Г., Макиевская Т.Л., Ружицкая Н.В. Кинетика экстрагирования из шлама кофе при микроволновом подводе энергии // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2014. Вип. 46, том 2. С. 300-303.

118. Буйвол С.М., Світличний П.І., Малашевич С.А. Інтенсифікація екстрагування олії в електромагнітному полі // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2011. Вип. 39. С. 163-166.

119. Терзієв С.Г., Левтринська Ю.О. Дослідження гідравлічних і масообмінних процесів при мікрохвильовому екстрагуванні кави // Харчова промисловість, 2017. № 21. С. 127-134.

120. Бурдо О.Г., Бандура В.Н., Левтринская Ю.О. Электротехнологии адресной доставки энергии при обработке пищевого сырья [Электронный ресурс] // Электронная обработка материалов, 2017. № 53 (3). С. 64-72.

121. Burdo O., Bandura V., Zykov A., Zozulyak I., Levtrinskaya J., Marenchenko E. Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. 4/11(88). P. 34-42.

122. Burdo O., Bandura V., Zykov A., Zozulyak I., Levtrinskaya J., Marenchenko E. Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transfer. [Электронный ресурс] // EUREKA: Physics and Engineering, 2017. 4. P. 18–24. doi: 10.21303/2461-4262.2017.00399

123. Микроволновые технологии интенсификации массообменных и тепловых процессов при переработке растительного сырья / Левтринская Ю.О. и др. // Зб. наук. пр. ОНАХТ. Том 80, вип. 1. С. 67-73.

124. Бурдо О.Г., Терзієв С.Г., Левтринская Ю.О. Энергетика экоиндустрии производства пищевых концентратов // Научный информационно-аналитический инженерный журнал «Problemele energeticii regionale (Проблемы региональной энергетики)», 2015. №3 (29). С.112-118.

125. Бурдо О.Г., Терзієв С.Г., Левтринская Ю.О. Энергетические проблемы экономики Украины // Энергетика: економіка, технології, екологія, 2015. №4. С. 66-73.

126. Терзієв С.Г., Левтринская Ю.О., Бурдо О.Г. Совершенствование теплотехнологий производства кофе // Зб. наук. пр.. ОНАХТ. Том 2, вип. 47. С. 81-87.

127. Чуешов В.И., Гладух Е.В., Сайко И.В., Ляпунова О.А., Сичкарь А.А., Крутских Т.В., Рубан Е.А., Черняев С.В. Технология лекарств промышленного

производства: учебник для студ. высш. учеб. завед.: перевод с укр. Яз. : в 2 ч. Ч. 1; Винница: Новая Книга, 2014. – 696 с.

128. Дубашинская Н.В., Хишова О.М., Шимко О.М. Характеристика способов получения экстрактов и их стандартизация (часть II) // Вестник фармации. №2 (36.) 2007. р. 70-79

129. Мінарченко В. М., Бутко А. Ю. Дослідження вітчизняного ринку лікарських засобів рослинного походження // Фармацевтичний журнал. 2017. №. 1. С. 30-36.

130. Valadez-Carmona L. et al. Valorization of cacao pod husk through supercritical fluid extraction of phenolic compounds // The Journal of Supercritical Fluids. 2018. Т. 131. С. 99-105.

131. Rapinel V. et al. Potentialities of using liquefied gases as alternative solvents to substitute hexane for the extraction of aromas from fresh and dry natural products // Comptes Rendus Chimie. – 2018. Vol. 21, Is. 6, p. 590-605.

132. Jacotet-Navarro M., Rombaut N., Fabiano-Tixier A.-S., Danguien M., Bily A., Chemat F. Ultrasound versus microwave as green processes for extraction of rosmarinic, carnosic and ursolic acids from rosemary // Ultrasonics Sonochemistry, 2015. Vol. 27. P. 102-109.

133. Manscy O. A. Justification of composition and technology of granules with sunflower protein and plant polyextract. // Український біофармацевтичний журнал. 2014. № 3 (32). 2014. р. 4-7.

134. Бахтина, С.М. Фармакологическое изучение сухого полиэкстракта из наземной части остролодочника остролистного: автореф. дис. ...канд. фарм. наук: 14.0.25 // Санкт-Петербург. гос. мед. ун-т им. И.П. Павлова, 1996. 23 р.

135. Чуйкин С.В., Галеева Р.Р., Егорова Е.Г., Галеева З. Р. Применение фитокомплекса с полиэкстрактом листьев шалфея лекарственного в комплексной профилактике и лечении стоматологических заболеваний у детей с ДЦП. // Educatio. 2015. №3 (10)-5). р. 50-56.

136. Manal A. Sorour. Optimization of multiple effect evaporators designed for fruit juice concentrate // American Journal of Energy Engineering, 2015, pp. 6-11.

137. Матасова С. А., Рыжова Г. Л., Дычко К. А. Химический состав сухого водного экстракта из шрота шиповника //Химия растительного сырья. 1997. №. 2. с. 28-31

138. Бурдо, О. Г., Сиротюк, И. В., Альхури, Ю., Левтринская, Ю. О. Микроволновая энергия, как фактор интенсификации тепломассопереноса и формирования полиэкстракта. // Проблемы региональной энергетики, (1 (36)). (2018). с. 58-71 DOI: 10.5281/zenodo.1217259

139. Источники витамина С // Медицинский справочник «Правильное питание». Режим доступа: <http://www.medical-enc.ru/15/pitanie/71.shtml> Дата звернення: 11.05.2018

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ Й ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сировина рослинного походження, характерне для переробної промисловості агропромислового комплексу, у процесі екстрагування суттєво міняє свої механічні, теплофізичні й дифузійні властивості. Тому для розрахунків добування доцільно використовувати інтервальні методи розрахунків, що дозволяють урахувувати вплив перерахованих факторів на процес екстрагування.

2.1. Формулювання науково-технічних гіпотез

Проведений у розділі 1 аналітичний огляд дозволяє зробити наступні припущення:

1. Основним процесом у традиційних технологіях переробки плодів шипшини є екстрагування. Як правило, це тривалий і малоефективний процес, який супроводжується високими рівнями термічних впливів на сировину. Тому екстракти шипшини не відповідають повною мірою сучасним вимогам до фітопрепаратів.

2. Традиційні технології виробництва фітоекстрактів характеризуються рядом науково-технічних протиріч:

- розчинність цільових компонентів пропорційна величині температури, але з ростом рівня термічного впливу знижується вміст у продукті ряду корисних компонентів;

- для зниження температури процесу в деяких екстракторах використовують вакуум, однак такі конструкції виявляються громіздкими, металомісткими й ніяких прийнятних розв'язків по механічному впливу на формування граничного шару не відомо. У результаті значна тривалість процесу екстрагування, низька продуктивність і зайва енергоємність.

Актуальні пошуки нових підходів при екстрагуванні плодів шипшини.

3. Ніяких відомостей ні про позитивний або негативному досвіді застосування інноваційних енергоефективних технологій екстрагування плодів шипшини в доступній літературі не виявлено.

4. В ОНАХТ запропоновані технології екстрагування, в основі яких принципи адресної доставки енергії до окремих елементів харчової сировини. Технології реалізуються на базі електромагнітних генераторів мікрохвильового діапазону, і апробовані при екстрагуванні з деревини (коньячне виробництво), кава, при виробництві різних рослинних олій. Підтверджена істотна інтенсифікація процесів екстрагування.

5. Позитивні результати, отримані при екстрагуванні на базі принципів спрямованої енергетичної дії, дають підстави вважатися, що системи мікрохвильового підведення енергії в стані розв'язати науково-технічні протиріччя, які властиві завданням переробки плодів шипшини.

6. Установлене, що інтенсивність масопереносу, граничні концентрації визначаються умовами фазових рівноваг і теплофізичними властивостями екстрагенту й екстракту. Для шипшини необхідні дані відсутні.

7. Конструкції апаратів для екстрагування мають резерви для вдосконалювання, підвищення інтенсивності масопереносу, росту продуктивності й зниження енергоємності.

Представляється, що важливим фактором, що визначають ефективність процесу екстрагування, є спосіб підведення енергії. Цей фактор доведений у конструкціях мікрохвильових екстракторів, які розроблено в ОНАХТ [1].
Стосовно до організації процесу екстрагування із плодів шипшини в роботі висуваються наукові положення.

Перше наукове положення: «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».

Друге наукове положення: «Підключення гідродинамічної рушійної сили в процесі переносу забезпечить вихід більш широкого спектра цільових компонентів, оскільки виявиться можливим вихід із плодів не тільки розчинних компонентів».

Третє наукове положення: «Традиційна схема теплопередачі (енергія – тверде тіло - екстрагент) при електромагнітному обігріві зміниться на схему (енергія – розчин – тверде тіло). Селективне поглинання енергії молекулами розчину забезпечить функціонування апарата при знижених температурах».

Підставою для формулювання цього наукового положення є аналіз фактів, отриманих при експериментальному моделюванні процесу екстрагування в електромагнітному полі [1-15]. Реалізація сформульованих наукових положень вимагає постановки комплексних аналітичних і експериментальних досліджень, що враховують специфіку плодів.

2.2. Характеристика загальних завдань досліджень.

Завдання необхідних досліджень виглядають наступним чином:.

1. Розробити статичні балансові моделі, установити умови фазових рівноваг системи (плоди шипшини - екстрагент).
2. Поставити завдання моделювання, створити параметричну й математичну моделі кінетики екстрагування плодів шипшини в електромагнітному полі.
3. Методами теорії подоби модифікувати отриману математичну модель до рівня моделі в узагальнених змінних, і сформулювати конкретні завдання експериментального дослідження кінетики процесів.
4. Розробити методику експериментів по екстрагуванню плодів шипшини в електромагнітному полі.
5. Виконати комплексні експериментальні дослідження статички й кінетики екстрагування, установити вплив конструктивних і режимних параметрів на інтенсивність процесів масопереносу.
6. Узагальнити результати експериментального моделювання й запропонувати методики інженерних розрахунків.
7. Провести апробацію конструкцій мікрохвильового екстрактора в умовах виробництва.
8. Дати оцінку якісних параметрів зразків продукції.

Сформовано програму досліджень (рис. 2.1)



Рис. 2.1. Програма досліджень.

2.3. Методи математичного моделювання мікрохвильових екстракторів

Розглянемо методи аналітичного моделювання статичних і кінетичних залежностей процесу екстрагування в мікрохвильових апаратах.

2.3.1. **П а р а м е т р и ч н а м о д е л ь .** Параметрична модель повинна відбивати сполучене, що протікають гідродинамічні, теплообмінні й дифузійні взаємодії в апараті. Зведення всіх ключових факторів, відповідальних за процеси, що протікають, представимо у вигляді параметричної моделі (рис.2.1).

Специфіку плодів визначають: температуропровідність (a_c), теплоємність (c_c), щільність (ρ_c) і теплопровідність (λ_c). Вид екстрагенту відбивають: температуропровідність (a_e), теплоємність (ρ_e), щільність (ρ_e) і теплопровідність (λ_e), в'язкість (ν_e) і схована 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 (v), висота або довжина (L), діаметр або ширина реакційного обсягу (V), обсяг продукту, що завантажуються (V_p). Параметри системи генеруючої електромагнітне поле (ЕМП): споживана електрична потужність (N_e) і електричний ККД (η_e).

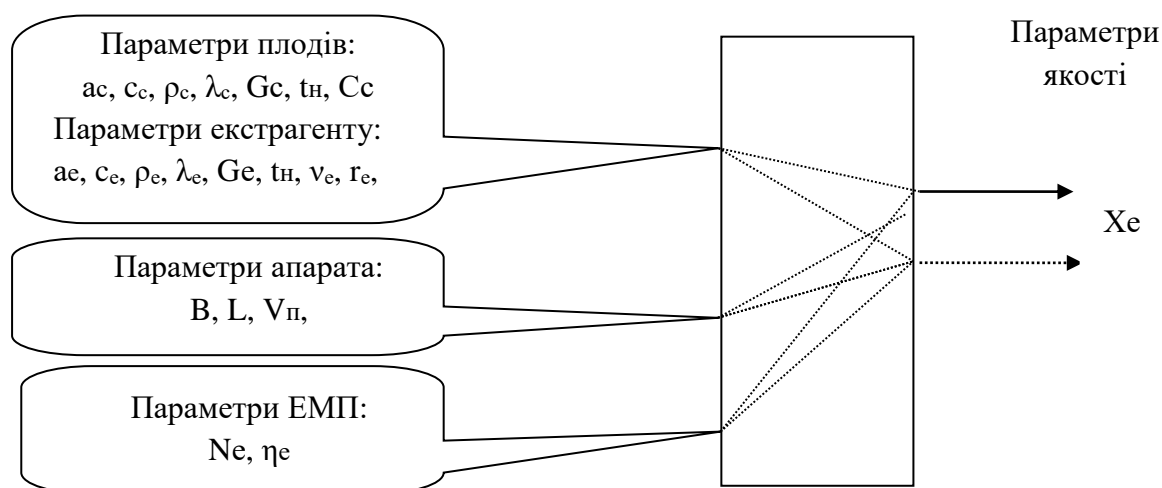


Рис.2.2. Параметрична модель мікрохвильового екстрактора.

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.

2.3.2. Статичні моделі мікрохвильового екстрактора. У загальному випадку, слід розглядати два послідовні процеси: властиво екстрагування й часткове (або повне) відділення від екстракту розчинника, наприклад, шляхом випарювання. Потрібно розглянути співвідношення матеріального балансу цих процесів і теплового балансу. Для оцінки величини рушійної сили процесів необхідні відомості за умовами фазових рівноваг у системі «плоди шипшини - екстрагент».

Розглянемо балансові моделі процесу блокового виморожуваного. На вхід у кристалізатор надходить сік з концентрацією X_n у кількості G_n (рис.2.2).

На першому етапі змішуванням плодів G_c і розчинника G_p забезпечується необхідне значення гідромодуля. Суміш надходить в екстрактор, де під дією ЕМП відбувається масоперенесення цільових компонентів із плодів, формується потік екстракту, кількість якого G_e , а концентрація сухих речовин – X_e . При необхідності за допомогою випарювання розчинник з екстракту відганяється, виходить більш концентрований продукт, кількість якого G_p і концентрація X_p . Пара розчинника, кількість якого G_p , або направляється в змішувач, або конденсується. При цьому, кількість дистилату теж G_p .

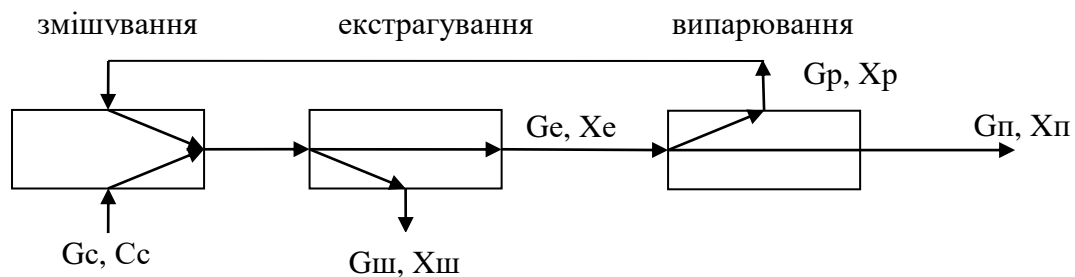


Рис.2.3. Схема матеріальних потоків.

Відома характеристика сировини: G_c , C_c . Практично легко вимірюються параметри: G_p , X_p , G_e , X_e , G_p , X_p . Для відомої кількості шипшини $G_{ш}$ (рис.2.4) визначається концентрація в ньому цільових компонентів $X_{ш}$.

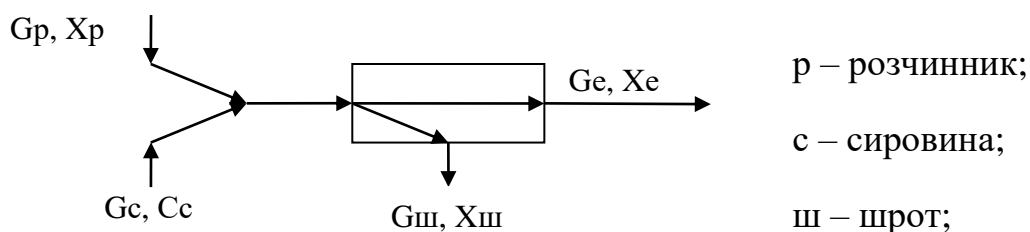


Рис.2.4. Технологічний оператор екстрактора.

Для процесу екстрагування:

$$\left. \begin{aligned} G_p + G_c &= G_e + G_{ш} \\ G_p X_p + G_c C_c &= G_e X_e + G_{ш} X_{ш} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Рівняння мольного складу фізичних потоків:

$$X_p + C_c + X_e + X_{ш} = 1 \quad (2.2)$$

З першого співвідношення (2.1) витікає $G_{ш}$:

$$G_{ш} = G_p + G_c - G_e \quad (2.3)$$

яке підставляється в друге рівняння (2.1):

$$G_p X_p + G_c C_c = G_e X_e + (G_p + G_c - G_e) X_{ш} \quad (2.4)$$

звідки:

$$X_{ш} = X_e - \frac{G_p X_p + G_c C_c - G_e X_e}{G_p + G_c - G_e} \quad (2.5)$$

Для процесу випарювання

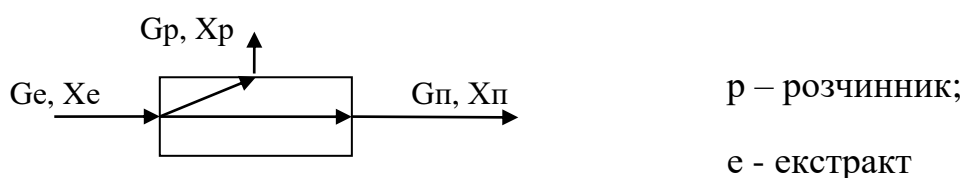


Рис.2.5. Технологічний оператор випарювання.

$$\left. \begin{aligned} G_{п} + G_p &= G_e \\ G_e X_e &= G_p X_p + G_{п} X_{п} \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Аналогічно (2.3) витікає:

$$G_p = G_e - G_{п} \quad (2.7)$$

і вміст екстрактивних речовин у розчині:

$$X_p = \frac{G_e X_e - G_{п} X_{п}}{G_e - G_{п}} \quad (2.8)$$

Умови рівноваги системи «плоди шипшини - екстрагент» необхідно визначити експериментально.

2.3.3. Аналітичні моделі кінетики процесу екстрагування. Феноменологічні закони містять у собі відомі лінійні співвідношення необоротних процесів – рівняння Фур'є, Фіка. Феноменологічний потік якої-небудь величини J являє собою добуток феноменологічного коефіцієнта L на узагальнену силу X [3], яка визначається градієнтом тієї або іншої величини: $J = LX$.

При цьому, залежності для комбінованих явищ, таких як термодифузія, термоелектрика зводяться до вигляду

$$J_i = \sum L_{ij} X_j \quad (2.9)$$

Рівняння (2.9) справедливо для оцінки декількох ефектів, для розрахунку сполучених процесів. Так при екстрагуванні плодів шипшини має місце термодифузія ($j = 2$, оскільки існує два потоки тепловий і дифузійний). Тоді:

$$J_1 = L_{11} X_1 + L_{12} X_2 \quad (2.10)$$

$$J_2 = L_{21} X_1 + L_{22} X_2$$

При цьому феноменологічні коефіцієнти L_{ij} при $i \neq j$ (2.10) описують прості процеси (теплопровідність, дифузію в ізотропних середовищах), а при $i = j$ ефекти, що накладають.

Таким чином, у системі (2.10):

L_{11} - характеризується коефіцієнтом теплопровідності λ ;

L_{22} - характеризується коефіцієнтом дифузії D ;

$X_1 - \text{grad } T$; $X_2 - \text{grad } C$; L_{12} і L_{21} - коефіцієнти дифузії (коефіцієнти Соре), які виражають спільний вплив двох ефектів.

Причому згідно з рівнянням взаємності Онгазера $L_{ij} = L_{ji}$ для $i = j$, тому що вони виражають той самий ефект [5]. Таким чином, подібне моделювання термодинамічних потоків дозволяє одержати систему лінійних диференціальних рівнянь виду $\partial q / \partial \tau = \alpha \Delta X$, які є рівняннями математичної фізики.

Рівняння (2.10) відомо як формула Лапласа. А термодинамічну модель процесу екстрагування можна представити у вигляді 3-х основних етапів. У початковий момент часу система складається із двох елементів: твердого тіла (фаза 1) і екстрагенту (фаза 2), які розділені непроникною перегородкою F (площа поверхні фазового контакту). У проміжному стані системи ($\tau < \tau_{\text{проц}}$) через поверхню F починають дифундувати цільові компоненти (рис. 2.6), утворюючи відділений від розчину дифузійний Граничний шар (фаза 3). Цей шар формується на всіх ділянках поверхні F .

тверде тіло, фаза 1	F	Фаза 3	рідина
зниження вмісту цільових компонентів			екстракт (фаза 2) $X = X(\tau)$

Рис. 2.6. Термодинамічна модель етапів екстрагування.

Із часом вміст цільових компонентів у фазі 2 збільшується, а у фазі 1 - зменшується. Наприкінці процесу ($\tau = \tau_{\text{проц}}$) (рис.2.5) ставиться завдання практично повністю витягти всі цільові компоненти з фази 2. Відомо, що інтенсивність масопереносу диктується товщиною граничного шару, тобто фазою 3.

Формування фази 3 протікає залежно від гідродинамічних умов в апарату. Розглянемо представницький осередок, який є гетерогенною системою, що складається з розчину, твердого тіла й розподілених у ньому капілярів і цільових компонентів (рис.2.6). поведінка якого в межах осередку масоперенесення визначається як дифузійними процесами, так і впливом сил гравітації, інерції й іншими комбінованими впливами на параметри граничного шару.

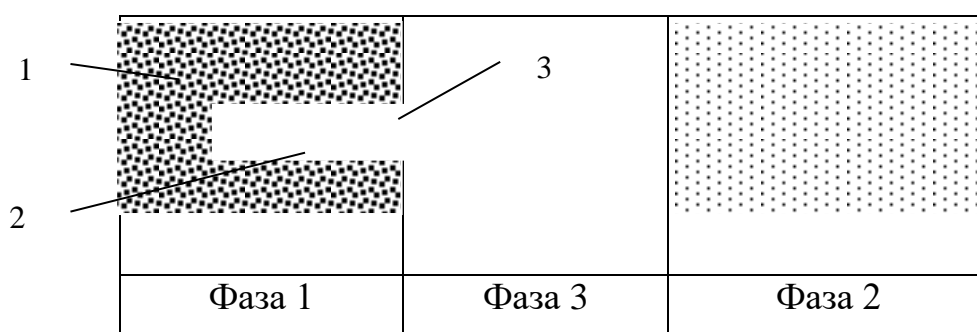


Рис.2.6. Модель гетерогенного осередку. 1- тверде тіло; 2 – концентрований розчин; 3 – канал, гідравлічний зв'язок між фазами.

Граничний шар формується на торцевих і бічних поверхнях каналу 3 (рис.2.6). Ставиться завдання інтенсифікувати процес масопереносу в обсязі представницького осередку. Пропонуються наступні технічні розв'язки.

1. Залучити додаткові інерційні сили для впливу на гідродинамічний Граничний шар, що спричинить і зменшення дифузійного граничного шару. Це відомі технічні розв'язки, засновані на організації циркуляції екстрагенту, використання перемішування й вібраційних технологій [12].

2. Застосувати технології адресної доставки енергії до окремих елементів фаз 2 і 3 можуть кардинально змінити гідродинамічну ситуацію й суттєво інтенсифікувати процес масопереносу. Ці інноваційні, електротеплові технології розроблені на кафедрі ПОЕМ Одеської національної академії харчових технологій, вони дали позитивний результат у процесах масопереносу [12-14].

Представляється, що технології адресної доставки енергії дозволять реалізувати наукові положення, сформульовані в розділі 2.1.

У процесах комбінованого впливу на осередок можливі різні відомі й несподівані ефекти [15]. При цьому розглядаються необоротні процеси обміну теплотою, речовиною й електромагнітною енергією між елементами системи при електродифузионних методах екстрагування. Обидві фази розділені природньою границею (фронт поверхні фазового контакту). Зв'язок між фазами здійснюється через вузькі канали у твердому тілі. Отже, температура, тиск, концентрація й електричний потенціал при переході через границю роздягнула фаз змінюються стрибкоподібно і є функціями часу (рис. 2.6).

Термодинамічний аналіз комбінованих електродифузионних процесів показує шляху керування потоками при екстрагуванні в зовнішніх силових полях. Установлюються комбінації градієнтів ΔT , ΔP , $\Delta \phi$, ΔX , які визначають потрібні швидкість перерозподілу компонентів і якість процесів. Тому перейдемо до подальшого моделювання на основах фундаментальних законів переносу.

В основі математичної моделі кінетики екстрагування у Мв-Поле використані ідеї моделі сушіння А.В.Ликова [36], положення про форми зв'язку вологи П.А.Рабиндера [23] і механізмах масопереносу, розроблених на кафедрі ПОЕМ. Тоді диференціальне рівняння тепломасопереносу буде мати вигляд

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C_P}{\partial \tau} &= K_{11} \nabla^2 C_P + K_{12} \nabla^2 C_M + K_{13} \nabla^2 C_K + K_{14} \nabla^2 t + K_{15} \nabla^2 P \\ \frac{\partial C_M}{\partial \tau} &= K_{21} \nabla^2 C_P + K_{22} \nabla^2 C_M + K_{23} \nabla^2 C_K + K_{24} \nabla^2 t + K_{25} \nabla^2 P \\ \frac{\partial C_K}{\partial \tau} &= K_{31} \nabla^2 C_P + K_{32} \nabla^2 C_M + K_{33} \nabla^2 C_K + K_{34} \nabla^2 t + K_{35} \nabla^2 P \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} &= K_{41} \nabla^2 C_P + K_{42} \nabla^2 C_M + K_{43} \nabla^2 C_K + K_{44} \nabla^2 t + K_{45} \nabla^2 P \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} &= K_{51} \nabla^2 C_P + K_{52} \nabla^2 C_M + K_{53} \nabla^2 C_K + K_{54} \nabla^2 t + K_{55} \nabla^2 P \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

В (2.11) за допомогою феноменологічних коефіцієнтів K_{ij} встановлюються функціональні зв'язки між тиском P , температурою t , концентраціями цільових компонентів, відповідно, на поверхні C_P , у міжклітинному просторі C_M і в клітинній структурі сировини C_K .

Поставлене нестационарне тривимірне завдання масопереносу, яка повинна доповнюватися системою рівнянь, що описують сполучені процеси переносу конвективної дифузії, дифузії в стиснутих умовах капіляра й дією бародифузії. Приблизно цей процес представлений моделлю функціонування точкового джерела [37]. Модель універсальна, але, як і всі моделі такого класу, надзвичайно складна для практичної реалізації.

Для подальшого аналізу процесу екстрагування, спростимо завдання й виділимо елемент, який ґрунтовно характеризує складну систему. Представляється, що таким елементом може бути канал, який зв'язує тверду фазу й екстрагент (рис.2.6). Математичну модель процесу екстрагування для окремого капіляра, який розглядається як ядро представницького осередку, зручно представляти в циліндричних координатах (рис.2.7) у вигляді вісесиметричної схеми.

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 [35] розглядається комплекс на поверхні й в обсязі (у капілярах і в клітках);
- для кожного інтервалу часу (зони) коефіцієнти переносу (теплопровідності, температуропровідності й дифузії покладаються постійними);
- тверде тіло має полікапілярну структуру, у якій перенос цільових компонентів відбувається дифузією;
- у процесі масопереносу структура твердого тіла залишається незмінною.

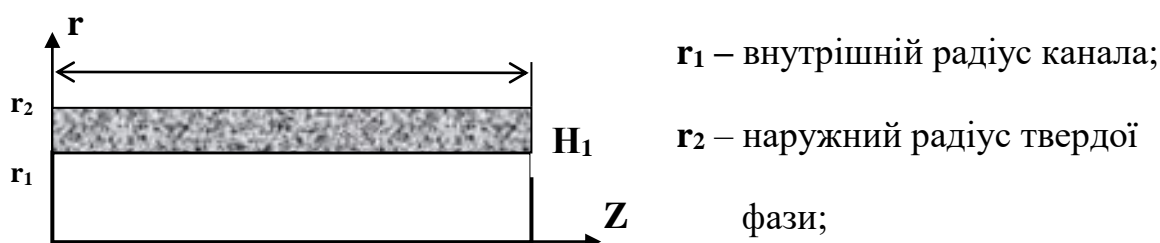


Рис. 2.7. Ядро представницького осередку.

Математична модель повинна відбивати сполучені процеси гідродинаміки, теплообміну й масопереносу, тобто містити рівняння Нав'є-Сокса, нерозривності й енергії з відповідними умовами однозначності [32-40].

Для стаціонарного режиму $\frac{dw}{d\tau} = 0$ й рівняння Нав'є-Стокса буде мати

вигляд:

$$\rho w \operatorname{grad} w = \rho g - \operatorname{grad} P + \mu \nabla^2 w \quad (2.12)$$

Для рідин, що не стискаються ($\rho = \text{const}$) рівняння нерозривності спрощується

$$\operatorname{div} w = 0 \quad (2.13)$$

Для процесу масопереносу в рівнянні збереження маси [25] замість щільності підставляють масову концентрацію компонента C .

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + w_r \frac{\partial C}{\partial r} + w_z \frac{\partial C}{\partial z} + C \left(\frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.14)$$

Рівняння (2.14) ураховує, що концентрація компонента змінюється в просторі й у часі.

Диференціальне рівняння теплопровідності Фур'є-Кирхгофа [25] у циліндричній системі координат (при $\omega = \text{const}$) має вигляд:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c_v \rho}, \quad (2.15)$$

де $a = \lambda / (c_v \rho)$ – ізохорична температуропровідність, $\text{м}^2/\text{с}$.

Рівняння (2.15) – це лінійне диференціальне рівняння в частинних похідних другого параболічного типу. Рівняння враховує, що підведення енергії здійснюється від електромагнітних джерел. Оскільки такий вид енергопідводу характеризується об'ємним впливом, те коректно представити його у вигляді об'ємного джерела, питомого потужність якого q_v .

На основі (2.15) конкретизуємо моделі досліджуваного каналу (рис.2.7) відомо: його обсяг (дорівнює обсягу в ньому екстрагенту) V_2 ; енергія, споживана продуктом $N\eta\tau$; температури – t_2 . Процес протікає в діапазонах тисків $P_a \leq P \leq P_i$.

Енергія, випромінювана електромагнітним генератором (N) визначається ККД генератора (η) і витрачається на підвищення температури продукту (t_2).

Для висот $0 \leq Z \leq H_1$; радіусів $0 \leq r \leq r_1$:

початкові умови ($\tau = 0$): $t_2 = t_n$; $V_2 = V_n$;

граничні умови II роду: $qv = (N\tau/V_2) = \text{const}$.

Рівняння енергії в каналі прийме вид:

$$\frac{\partial t_2}{\partial \tau} = a_2 \left(\frac{\partial^2 t_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_2}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t_2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t_2}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_2 c_{2v} \rho_2}, \quad (2.16)$$

Частина твердої фази 1, яка ставиться до представницького осередку (рис.2.7), обмежена радіусами $\mathbf{r}_1 \leq \mathbf{r} \leq \mathbf{r}_2$ і висотою $0 \leq \mathbf{Z} \leq \mathbf{H}_1$. Температури й теплофізичні константи мають індекс 1. Початкові умови:

$$\text{при } \tau = 0, \quad t_1 = t_n, \quad Y = Y_0 \quad (2.17)$$

На границі каналу із твердим тілом ($\mathbf{r} = \mathbf{r}_1$) ГУ III роду:

$$-\lambda_1 \left(\frac{\partial t_1}{\partial r} \right) - \alpha_2 (t_2 - t_1) = 0, \quad (2.18)$$

Аналогічно дифузійні ГУ:

$$-D_1 \left(\frac{\partial y}{\partial r} \right) - \beta_2 (X_n - X_1) = 0, \quad (\mathbf{r} = \mathbf{r}_1) \quad (2.19)$$

У співвідношенні (2.19): D_1 - ефективний коефіцієнт дифузії, який урахує мікроперенос маси цільових компонентів у капиллярнопористій системі фази 1; β_2 - коефіцієнт масотдачі від твердого тіла до екстрагенту в каналі; B – концентрації цільових компонентів у твердій фазі; X_1 - концентрації цільових компонентів у рідкій фазі; X_n – концентрація насичення.

Одномірне нестационарне поле концентрацій цільових компонентів у твердій фазі (1) визначається рівнянням дифузії:

$$\frac{\partial Y}{\partial \tau} + \frac{\partial Y}{\partial r} w_r = D_2 \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial r^2} \right) \quad (2.20)$$

Рівняння енергії у твердій фазі 1 прийме вид

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a_1 \left(\frac{\partial^2 t_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_1}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t_1}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t_1}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_1 c_{IV} \rho_1}, \quad (2.21)$$

Рівняння (2.21) встановлює зв'язок між тимчасовою й просторовою зміною температури в будь-якій точці твердого тіла. Можна вважати, що потік переважно рухається по координаті \mathbf{r} . Тому поле температур логічно вважати одномірним:

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a_1 \left(\frac{\partial^2 t_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_1}{\partial r} \right) + \frac{N\eta}{V_1 c_{IV} \rho_1}, \quad (2.22)$$

Частина екстрагенту (фаза 2), яка ставиться до представницького осередку (рис.2.6), обмежена радіусами $0 \leq r \leq r_2$ і висотою $\mathbf{H}_1 \leq \mathbf{Z} \leq \mathbf{H}_2$. Температури й теплофізичні константи мають індекс 3. Початкові умови:

$$\text{при } \tau = 0, \quad t_3 = t_n, \quad x_0 \leq x \leq x_1 \quad (2.23)$$

На границі екстрагенту із твердим тілом ГУ III роду:

$$-\lambda_1 \left(\frac{\partial t_1}{\partial z} \right) - \alpha_3 (t_3 - t_1) = 0, \quad \text{при } r_1 \leq r \leq r_2 \quad \mathbf{Z} = \mathbf{H}_1 \quad (2.24)$$

За аналогією запишемо дифузійні ГУ:

$$-D_1 \left(\frac{\partial y}{\partial r} \right) - \beta_3 (X_3 - X_n) = 0, \quad r_1 \leq r \leq r_2 \quad \mathbf{Z} = \mathbf{H}_1 \quad (2.25)$$

Рівняння енергії в прикордонному шарі (у фазі 3) і у фазі 2 прийме вид

$$\frac{\partial t_3}{\partial \tau} = a_3 \left(\frac{\partial^2 t_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_3}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t_3}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t_3}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_3 c_{3V} \rho_3}, \quad (2.26)$$

У фазах 2 і 3 (рис.2.7) тепловий потік рухається переважно уздовж осі **Z**, тому:

$$\frac{\partial t_3}{\partial \tau} = a_3 \left(\frac{\partial^2 t_3}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_3 c_{3V} \rho_3}, \quad (2.27)$$

Система рівнянь (2.16) - (2.27) є математичною моделлю екстрагування із плодів шипшини в електромагнітному полі. Аналітичний розв'язок наведеної моделі не можливо, не дивлячись на серйозні допущення, зроблені при постановці завдання. Складність розв'язку пов'язана із проблемами реалізації рівняння Нав'є-Стокса, розрахунками радіальних і осьових компонентів швидкості переміщення екстрагенту.

Гідродинамічна ситуація в потоці визначається турбулентним плином екстрагенту, ускладненим вихровою дифузійною дією з каналів плодів шипшини. Характер вихрової дифузії, викликані дією електромагнітного поля, не визначений. Разом з тим, на основі рівнянь (2.16) - (2.27) використовуючи методи теорії подоби можна суттєво спростити модель, перейти до співвідношень, які будуть описувати квазістаціонарні процеси переносу в обмеженому діапазоні. Структура таких критеріальних моделей може бути отримана із системи (2.16) - (2.27), а в явному вигляді - після експериментального моделювання, програма якого впливає з отриманих у загальному вигляді критеріальних рівнянь. Важливо, щоб критеріальні моделі відбивали ключові фактори, які характерні для комбінованих процесів тепло- і масопереносу при екстрагуванні в електромагнітному полі.

2.3.4 Механізми екстрагування в електромагнітному полі. При безградієнтному хвильовому підведенні електромагнітної енергії до полярних молекул розчину встановлене явище, яке в роботі [32] назване «механодифузійним ефектом». Розглянемо дію такого ефекту стосовно до завдання екстрагування із плодів шипшини (рис.2.8).

У результаті підведення електромагнітної енергії (ЕМП) генеруються в глибині мікрокапіляра (1) парові пухирці (2). У результаті переходу рідини в парову фазу росте її обсяг, отже підвищується тиск. Створюється рушійна сила для потоку екстракту з капіляра 1. Це потужний, суцільно гідравлічний потік, який захоплює із собою екстракт із граничного шару (5), нерозчинні (3) і слабозрозчинні (4) компоненти (рис.2.8).

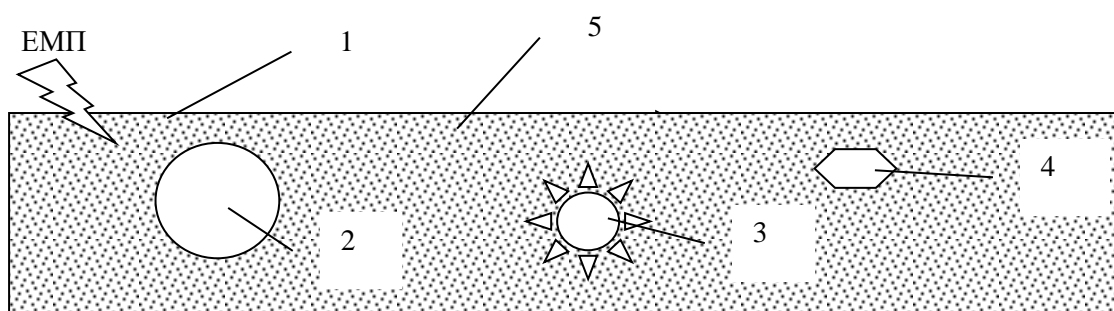


Рис. 2.8. Фізична схема взаємодії компонентів і потоку: 1 – стінка капіляра, 2 – парова бульбашка, 3 – нерозчинні в рідині компоненти, 4 – слабозрозчинні компоненти, 5 – дифузійний граничний шар.

Таким чином, з капіляра (1) виходить дифузійний потік екстракту, який доповнюється потоком цілого комплексу компонентів не характерних взагалі для класичних дифузійних процесів. Завдання, яке вирішувалося за рахунок багатоконпонентних сумішей екстрагенту [34], в умовах ЕМП стає більш простій.

Представимо структуру потоку з капіляра (1) на основі принципів електродифузійного моделювання (рис.2.9).

На рис.2.9 прийняті позначення концентрацій: $Y_{(t)}$ - поточне у твердій фазі; Y_{Γ} – у твердій фазі на границі з екстрагентом; значення концентрації розчинних компонентів; C_C і C_H – відповідно, концентрації у твердій фазі слабозрозчинних і нерозчинних в екстрагенте компонентів; X_C і X_H – те ж, але в екстракті; X_{Σ} – сумарне значення всіх перенесених в екстракт компонентів, яке складається зі складових дифузійного ($X_{рд}$) і гідравлічного потоків.

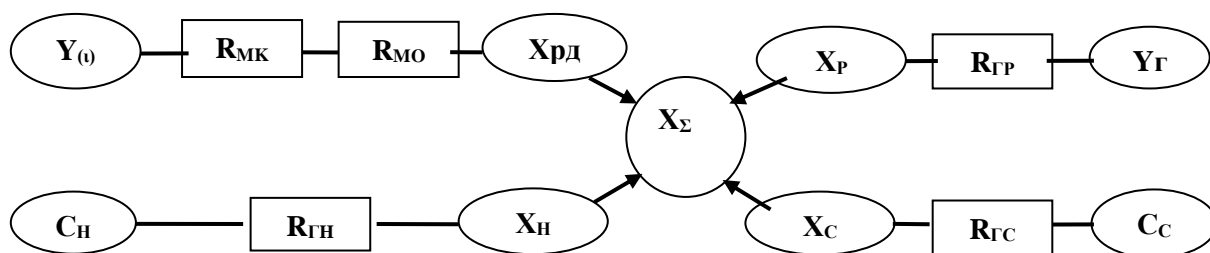


Рис. 2.9. Електродифузійна модель сполучених гідро- дифузійних потоків з капілярного каналу.

Видно з рис.2.9, що класичний, чисто дифузійний, потік послідовно долає ланцюг дифузійних опорів: мікрокапілярів ($R_{МК}$) і масовіддачі ($R_{МО}$). Інші компоненти долають класичні гідравлічні опори. Розчинні компоненти із граничного шару ($R_{ГР}$), слабозчинні – ($R_{ГС}$) і нерозчинні – ($R_{ГН}$).

Гідравлічний потік, рушійною силою якого є різниця тисків, може на порядки підвищити інтенсивність масопереносу при екстрагуванні.

Матеріальні потоки всіх компонентів визначаються балансами відповідних сил, які формуються в капілярі міжклітинного простору. Результуюча цих сил визначить швидкість відповідного потоку. Розрахунки величини кожного потоку проводиться по загальних кінетичних рівняннях дифузії й гідравліки [15], які наведені в табл.2.

Для нерозчинних компонентів чисто дифузійні складові потоку відсутні.

Сумарним результатом дії всіх рушійних сил буде масовий потік J , який складається з дифузійного потоку j_1 (перебуває з рівняння Фіка: $j_1 = -D dc_T / d\delta$), і гідравлічних потоків j_2, j_3 і j_4 . [31, 32].

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.

Таблиця 2.2

Механізми переносу компонентів з капілярних каналів

Характеристика потоку	Рушійна сила	Опір потоку	Маса компонента	Модель процесу
Конвективно-дифузійне масоперенесення	Різниця концентрацій $Y - X_{PD}$	Дифузійний опір, R_D	M_{P1} (потік j_1)	$\frac{dM_{P1}}{Fd\tau} = \frac{Y - X_{PD}}{R_D}$
Механічний перенос розчинних речовин із граничного шару	Різниця тисків $P_K - P_0$	Гідрравлічний опір, R_{GP}	M_{P2} (потік j_2)	$\frac{dM_{P2}}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{GP}}$
Механічний перенос слабозчинних речовин з капілярів	Різниця тисків $P_K - P_0$	Гідрравлічний опір, R_{GC}	M_C (потік j_3)	$\frac{dM_C}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{GC}}$
Механічний перенос нерозчинних речовин з капілярів	Різниця тисків $P_K - P_0$	Гідрравлічний опір, R_{GH}	M_H (потік j_4)	$\frac{dM_H}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{GH}}$

Для спрощення завдання будемо вважати, що потік маси j визначається ефективним специфічним коефіцієнтом масовіддачі β_P і різницею тисків у капілярі P_{DO} 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 [30].

На основі принципів теорії подоби в роботі [30] запропонований новий безрозмірний комплекс – число енергетичної дії, фізичний зміст якого відбиває відношення витрат енергії МХ технології (Q) і базового варіанта (Q_0). Тоді, число $Bu = Q/Q_0$.

Для завдань екстрагування у МХ – поле:

$$Bu = N (r w d^2 \rho)^{-1} \quad (2.28)$$

У співвідношенні (2.28) прийняте: N - потужності випромінювання; w – швидкість екстрагенту; r прихована теплота фазового переходу; d – визначальний розмір, діаметр капіляра; ρ - щільність.

Представляється, що співвідношення (2.28) може врахувати вплив електромагнітного поля на кінетику екстрагування із плодів шипшини, що воно може відбити в класичних рівняннях масопереносу вплив такого специфічного потоку. Для обґрунтування загальної структури моделі в узагальнених змінні для поставленого завдання залучимо методи теорії подоби.

2.3.5. З а с т о с у в а н н я м е т о д у а н а л і з у р а з м і р н о с т е й . У загальному випадку вплив на величину ефективного коефіцієнта масовіддачі β_E мають висоти шару плодів H , щільність ρ і в'язкість екстрагенту μ , 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 (діаметра) шару L [45]. Внесок природної конвекції встановлюється різницею концентрацій у потоці ΔX і гравітаційним полем. Дія бародифузії за рахунок мікрохвильового поля визначається різницею тисків у зонах каналу.

Величина цієї різниці представляється пропорційної енергії випромінювання й тієї енергії, яка необхідна для паротворення. Тобто величинам питомої теплоти паротворення r і потужності поля N .

Тоді вихідна функціональна залежність загального виду буде у вигляді:

$$\beta_E = f(H, L, \rho, \mu, w, D, r, N k, \Delta X, g).$$

Список перерахованих параметрів представлено в таблиці 2.3. Усі ці параметри містять тільки три основні розмірності (табл. 2.3): довжину (L), масу (M) і час (τ).

Користуючись аналізом розмірностей, замінимо цю функцію залежністю між числами подоби. У цьому випадку число змінних $n = 12$, число їх одиниць

вимірювання $m = 3$. Тоді, згідно π -теоремі, число безрозмірних комплексів, що описують процес, повинне бути рівно $(n - m) = 9$.

Таблиця 2.3

Список параметрів при екстрагуванні в ЕМП

Параметр	Символ	Розмірність
Ефективний коефіцієнт масовіддачі	β_E	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Висота шару	H	м
Діаметр шару	L	м
Середня щільність потоку	ρ	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Середня в'язкість потоку	μ	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$
Середня швидкість потоку	w	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Коефіцієнт дифузії	D	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
Схована теплота паротворення	r	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Потужність мікрохвильового поля	N	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
Проникність шару	k	м^2
Різниця концентрацій	ΔX	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Гравітаційна постійна	g	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$

Параметри H, ρ, μ ухвалюємо загальними для всіх безрозмірних груп. Тоді, для першої групи запишемо:

$$\pi_1 = H a \rho^b \mu^c \beta_E^g. \quad (2.29)$$

Або, у розмірній формі:

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c \left[\frac{L}{\tau} \right]^g. \quad (2.30)$$

Для рівняння (2.30) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 2.4

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1		$b + c = 0$
L	1	-3	-1	1	$a - 3b - c + g = 0$
τ			-1	-1	$-c - g = 0$

Розв'язком системи рівнянь (табл. 2.4) є: $a = b = -c = g$. Тому:

$$\pi_1 = \frac{H \cdot \rho \cdot \beta_{\Sigma}}{\mu} \quad (2.31)$$

Наступні комплекси визначимо аналогічно, шляхом об'єднання H, ρ, μ з параметрами, що залишилися (табл. 2.3):

$$\left. \begin{aligned} \pi_2 &= \frac{\Delta X}{\rho}; & \pi_3 &= \frac{H^3 \rho^2 g}{\mu^2}; & \pi_4 &= \frac{H \rho w}{\mu}; \\ \pi_5 &= \frac{\rho \cdot D}{\mu}; & \pi_6 &= \frac{H^2 \rho^2 r}{\mu^2}; & \pi_7 &= \frac{H \rho^2 N}{\mu^3}; \end{aligned} \right\} \quad (2.32)$$

Комплекс π_8 є безрозмірною параметричною проникністю Π и враховує геометрію укладання часток твердого матеріалу: $\pi_8 = \frac{k}{H^2}$. Це рівняння разом з (2.32) і системою (2.33) використовується для пошуку комбінацій, які дадуть структуру критеріального рівняння.

Ще один з комплексів показує співвідношення геометричних параметрів каналу:

$$\pi_9 = L / H . \quad (2.33)$$

Комплекс π_4 - це число Рейнольдса, а $(\pi_5)^{-1}$ - число Шмидта. Групи π_1 і π_5 дають число Шервуда: $\pi_5 / \pi_1 = \beta_E d / D = Sh$. Групи π_1 і π_4 дають число

Стантона $St_m = \frac{Sh}{Re Sc} \equiv \frac{\beta_{\Sigma}}{w}$:

$$\pi_1 / \pi_4 = \beta_E / w = St_m . \quad (2.34)$$

У зв'язку зі специфікою завдання, пов'язаної з інерцією потоку екстрагенту й впливом швидкості потоку на значення коефіцієнта β_E , представляється доцільним прийняти в якості обумовленого числа подоби число Стантона масообмінного. Далі:

$$\pi_2 \pi_3 (\pi_8)^3 = g l^3 \rho \Delta X \mu^2 = Gr_{\delta}, \quad (2.36)$$

є дифузійним числом Грасгофа.

Вплив мікрохвильового поля враховується комбінацією:

$$\pi_7 (\pi_4 \pi_6)^{-1} = N (r w H^2 \rho)^{-1} = Bu . \quad (2.37)$$

У даній роботі в якості базової вважається та енергія, яка необхідна для перетворення в пару всього розчину, який проходить через екстрактор. Зручно

для розглянутого завдання вважати співвідношення сумарної енергії випромінювання модуля екстрактора й енергії необхідної для перекладу в пару відповідного потоку екстрагенту в цьому модулі. З ростом N росте значення числа Bu , росте різниця тисків, інтенсифікуються викиди з капілярної структури. Це приведе до росту коефіцієнта β_c . Більше того, ці викиди турбулізують і Граничний шар. Отже, число Bu може характеризувати не тільки ступінь енергетичного впливу, але й відповідну гідравлічну ситуацію в касеті.

Таким чином, одержуємо:

$$\pi_1 (\pi_4)^{-1} = A (\pi_4)^m (\pi_2 \pi_3 (\pi_6)^3)^g (\pi_5)^{-n} (\pi_7)^p (\pi_4 \pi_6)^{-p} (\pi_8)^d (\pi_9)^k. \quad (2.38)$$

Або в більш звичному вираженні через числа подобі:

$$Stm = A (Re)^m (Gr_\delta)^g (Sc)^n (Bu)^p (L/H)^q (\Pi)^k. \quad (2.39)$$

Для умов аналізованого завдання можна зневажити параметричним комплексом L/H , який є заходом турбулізації гідродинамічного граничного шару вхідної зони й характерний для коротких каналів, і числом Грасгофа, тому що в режимі інерційного потоку внесок природньої конвекції малий. Тому, показники ступеня g і q наближаються до 0. Остаточно структура критеріального рівняння буде:

$$Stm = A (Re)^m (Sc)^n (Bu)^p (\Pi)^k. \quad (2.40)$$

Число Стантона безпосередньо пов'язане з дифузійним опором, воно не залежить від ситуації у пристінному прикордонному шарі як області дії молекулярного механізму масопереносу.

Проведений вище аналіз схеми масопереносу показує, що значення β_E для проточних екстракторів визначається інерцією потоку (масоперенесення в умовах вільного руху відсутнє), геометричні параметри апарата не можуть безпосередньо впливати на інтенсивність масовіддачі. У цих умовах швидкість

поток може бути прийнята в якості характеристичного значення коефіцієнта масовіддачі, і служити для нього масштабом віднесення.

Константи A , m , n , p і k визначаються при обробці масиву відповідних експериментальних даних.

Виконані вище аналітичні дослідження визначають і завдання експериментального моделювання.

2.4. Методи експериментального моделювання

У науковій літературі [23-56] приводяться залежності для розрахунків кінетики масопереносу при екстракції з кавових з рослинної сировини, однак, це приватні залежності, вірні для конкретних заданих умов. Дослідження даних робіт вирішують внутрішнє завдання для окремої частки й, фактично, що не зачіпають зовнішнє завдання для проточних процесів, використовуваних у промисловому виробництві.

Складний характер взаємодії факторів, що визначають швидкість протікання процесів екстрагування в системі «тверде тіло - рідина», не дозволяє встановити загальну модель усіх випадків добування. Але розв'язок завдання масопереносу в умовах мікрохвильового поля можна розглянути як сукупність моделі дифузії усередині капіляра пористого тіла, моделі масопереносу з пористого тіла сферичної форми, а також моделі дифузії із точкового джерела в потік.

Розрахунки процесу екстрагування речовини рідиною із твердої фази полягає у визначенні необхідної тривалості процесу (конструктивних особливостей апарата при заданій швидкості руху по ньому) для одержання потрібного ступеня добування. Можливий і зворотний розрахунки - визначення ступені добування речовини при заданому часі процесу.

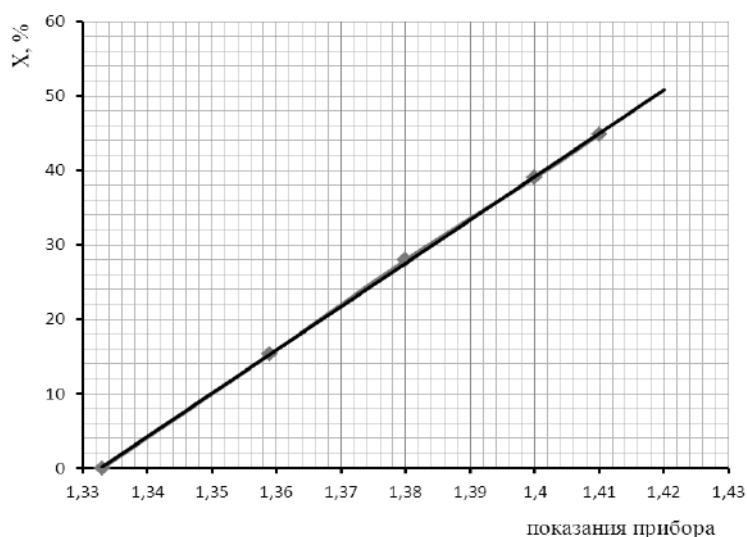
2.4.1. Методика визначення концентрації екстрактивних речовин. Основним параметром, який характеризує ефективність екстрагування, вважається концентрація водорозчинних сухих речовин в екстракті. Тому вибір методу визначення цього параметра є важливим при дослідженнях. У роботі рівнялися 3 приладу для

виміру концентрації: рефрактометр типу ІФС, фотометр «Spekol» і цифровий рефрактометр типу ...

У роботі з рефрактометром ІФС використовувався метод градуувального графіка. Підготовлялася серія стандартних розчинів з відомою концентрацією, і вимірявся показник переломлення розчинів.

За отриманими даними був побудований градуувальний графік у системі координат «показник переломлення – масова частка речовини» (рис. 2.10, а).

Концентрацію стандартних розчинів визначали за стандартною методикою висушування зразків у термостаті при температурі 80 °С до постійної ваги. Зважування зразків проводилося на аналітичних вагах типу Radwag AS 220 з точністю $\pm 0,001$ г (рис. 2.10, б).



а)



б)

Рис. 2.10. Тарування рефрактометра ІФС. а) - тарувальний графік, б) – аналітичні ваги Radwag AS 220.

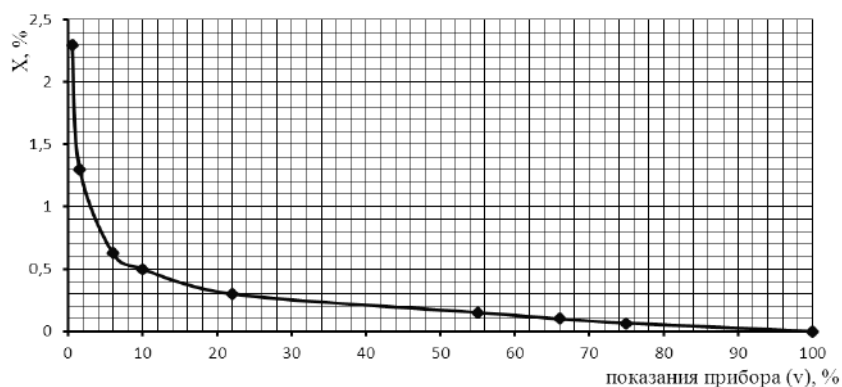
У досліджах, для яких концентрація екстрактивних речовин у розчині не перевищувала 2,5 %, визначалася за допомогою фотометра «Spekol». Тарування шкали оптичної щільності фотометра проводилася порівнянням показань приладу з результатами визначення загального екстракту за стандартною методикою висушування розчину.

Значення, отримані зважуванням, рівнялися з результатами розрахунків матеріальних балансів по концентраціях екстрактивних речовин у розчині. Для цього плоди шипшини зважувалися до й послу досвідів. При цьому, як правило, вони висушувалися до постійної ваги в термостаті

Для роботи на фотометрі «Spekol» була визначена довжина хвилі, при якій показник переломлення для розчину кава максимальний. Він був отриманий при вимірі оптичної щільності розчину при всіх довжинах хвиль, наявних на приладі, стосовно оптичної щільності води.

За результатами виміру був побудований графік, який показав, що максимальний показник переломлення для розчину кава відповідає довжині хвилі $\lambda_{max} = 560$ нм. Для цієї довжини хвилі був побудований тарувальний графік (рис. 2.11,а).

Так само використовувався прилад TDS COM – 100 фірми HM Digital у діапазоні виміру 0...8,56 г/л; при аналізі висококонцентрованих розчинів, перед вимірами здійснювалося їхнє розведення чистим екстрагентом до прийнятних значень концентрацій.



а)



б)

Рис. 2.11. Визначення концентрації екстрактів шипшини: а) - тарувальний графік спектрофотометра «Spekol», б) – цифровий рефрактометр .

Також для визначення концентрації використовувався цифровий рефрактометр HI 96801, Hanna Instruments з діапазоном вимірювання

0...80 % с.р.. Прилад має високу точність $\pm 0,2\%$ с.р. і простий у використанні. Зразки не мають потреби в додатковій обробці. Однак, такий прилад чутливий до перепадів температури, тому зразки повинні бути охолоджені до однієї температури.

2.4.2. М е т о д и к а з н е в о д н ю в а н н я з р а з к і в . Таке завдання виникає, коли необхідно визначити «суху частину» у зразку (у плодах, або екстракті). У плодах може цікавити вологість, а в екстракті – дійсний вміст сухих речовин.

Розрізняють вологу вільну макрокапілярів, яка змочує речовину з поверхні й проникає у великі пори; вологу мікрокапілярів, що заповнює пори речовини діаметром менш 5 мм; вологу набрякання, або структурн, що проникає шляхом осмосу усередину високомолекулярних міцелл – клітковини, білків, крохмалю і т.д.; вологу, зв'язану адсорбційно, утримувану поверхневою енергією речовини.

Принцип визначення «сухого залишку» методом висушування полягає в тому, що певне навішення речовини висушують у термостаті при температурі 105 °С до постійної маси, і по різниці між початковою масою й масою сухого залишку знаходять кількість води в досліджуваному продукті.

Попередньо визначають постійну масу бюкса. Для цього вимитий бюкс міститься в сушильну шафу на 30 хв при температурі 105 °С, потім він проохолоджується в ексикаторі й зважується, після чого знову міститься в сушильну шафу на 10...15 хв і після охолодження зважується. Періодичне підсушування й зважування проводиться доти, поки бюкс не придбає постійної маси.

У висушеній бюксі міститься 2...5 г матеріалу. Висота шару сировини в бюксі не повинна перевищувати 1 див. Бюкс у відкритому виді ставиться в сушильну шафу, попередньо нагрітий до 105 °С.

Висушування проводиться протягом 4...5 год, після чого бюкс виймається з термостата, ставиться в ексикатор, для охолодження на 30 хв і зважується на аналітичних вагах Radwag AS 220 / C (з точністю $\pm 0,0004$ г). Потім бюкс із

навішенням повторно завантажуються в сушильну шафу, і через 1,0...1,5 год повторюється та ж операція охолодження й зважування. Так необхідно працювати доти, поки різниця між результатами двох зважувань буде не більше 0,0005 г. У цьому випадку маса зразка вважалася постійною.

Вологість речовини знаходять по формулі:

$$w = b/a \cdot 100, \quad (2.41)$$

де b – збиток у масі навішення після висушування, обумовлена по різниці;
 a – маса випробуваного матеріалу.

Концентрація сухих речовин є величиною, зворотної w .

2.4.3. М е т о д и к а в и з н а ч е н н я г р а н и ч н о ї к о н ц е н т р а ц і ї е к с т р а к т и в н и х р е ч о в и н у п л о д а х . Об'єктом досліджень була система «плоди шипшини – вода». Методика передбачала визначення максимальної концентрації екстрактивних речовин у твердій фазі.

При дослідженнях даному завданню до плодів послідовно додавався свіжий екстрагент до повного виснаження плодів. Шляхом послідовних матеріальних балансів, порівнянням їх результатів з даними по зважуванню сухих зразків до й послу досвідів, установлювалися значення максимальної кількості сухих речовин у плодах шипшини.

Досвіди проводилися при постійній температурі не перевищуючої 100 °С, в умовах навколишнього середовища, при впливі мікрохвильового поля й без поля.

2.4.4. М е т о д и к а в и з н а ч е н н я в и с о т и ш а р у о б р о б л ю в а н о г о п р о д у к т у . У досідах плоди шипшини, з відомою концентрацією екстрактивних речовин, завантажувалися в реакційний обсяг із прозорого діелектричного матеріалу, виконаний у формі циліндра. Реакційний обсяг містився в камеру електромагнітної обробки. Висота шару вимірялася повірником штангенциркулем з точністю 0,05 мм із урахуванням

маси завантаженого сировини, розподіленого по всьому обсягу касети.

2.4.5. Методика визначення швидкості потоку екстрагенту. Для визначення швидкості потоку екстрагенту визначалася спочатку об'ємна витрата екстрагенту (обсяг, що протікає в камері за 1 секунду) по формулі (2.48). Об'ємна витрата V розчину визначався ваговим методом, тобто вимірявся час заповнення відомого обсягу – мірна ємність 25 мл ціна розподілу 1 мл (ДЕРЖСТАНДАРТ 1770-74). Для цього користувалися секундоміром СОС ін – 26 з точністю виміру 0,1 с. Докладний розрахунки швидкості потоку екстрагенту в циліндрі описано в п. 2.2.8. по формулі (2.66).

2.4.6. Методика визначення потужності мікрохвильового поля. Основний обсяг експериментів проведений на установках, у яких енергопідвод здійснювався методом імпульсного регулювання. Задавався загальний час електрофізичного впливу й частота включення магнетрона. Мікрохвильова установка підключалася до електричної мережі через комбінований вимірювальний комплект типу ДО-50. За допомогою ватметра цього приладу визначалася споживана установкою потужність. Секундоміром перевірялася точність роботи таймера мікрохвильової установки. Microwave leakage monitor EM0328 портативний тестер витоку МХ випромінювання вказує на інтенсивність електромагнітного поля в діапазоні 0...10 мВ/див. У режимі роботи магнетрона вихідна потужність становила 900 Вт, частота 2,450 ГГц. Погрішність циклів таймера виявилася в межах 0,3 %.

Корисна потужність N_n , споживана продуктом, визначалася по формулі:

$$N_n = N \cdot \eta / 100. \quad (2.42)$$

Потужність мікрохвильового поля (N , Вт), коефіцієнт корисної дії перетворення споживаної генератором електричної потужності у НВЧ-енергію (η , %), споживаного продуктом.

2.4.7. Методика визначення властивостей

екст р а к т у . При обробці результатів експериментів виникає необхідність розрахунків теплофізичних і фізико-хімічних властивостей водяних розчинів із цільовими компонентами із плодів шипшини. Аналіз літературних джерел по властивостях речовин показав, що існують дані для визначення теплофізичних і фізико-хімічних властивостей екстрактів. У літературі [47-48] представлені залежності щільності ρ , питомої теплоємності c_p від температури t і вмісту сухих речовин X для водного слабokonцентрованого екстракту.

$$\rho = 1000 + 490,4 \cdot \frac{X}{100} - \left(0,646 + 0,354 \cdot \frac{X}{100} \right) \cdot t, \text{ кг/м}^3, \quad (2.43)$$

$$c_p = 4,187 - (27,29 - 9,37 \cdot t) \cdot X \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}. \quad (2.44)$$

Однак дані для визначення в'язкості ν і питомої теплоти паротворення r для водного екстракту кава відсутні. Значення ν і r прийняті по рекомендаціях [47] для води залежно від температури:

$$\nu \cdot 10^6 = e^{33,23 - 5,93 \ln(t + 273)} - 0,87, \text{ м}^2/\text{з}, \quad (2.45)$$

$$r = 2470,7 - 1,66 \cdot t - 0,48 \cdot 10^{-2} \cdot t^2, \text{ кДж/кг}. \quad (2.46)$$

Температури (t_k, t_n) вимірялися на вході й на виході розчину з екстрактора за допомогою хромель-алюмелевих термопар і цифрового вимірювального приладу Fluke 561 NVA Сpro, а також термометра DAN-1000.

Значення коефіцієнта дифузії D для екстрактів прийняті по [47] і встановлене середнє значення коефіцієнт дифузії $D = 0,19 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ при температурі $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вплив температури середовища ($t, \text{ }^\circ\text{C}$) на середні значення коефіцієнта дифузії враховувалося по співвідношенню [47]:

$$D(t) = (1,968 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3,702 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 3,759 \cdot 10^{-3} \cdot t + 0,099) \cdot 10^{-9}, \quad (2.47)$$

Співвідношення (2.43) - (2.47) необхідні для обробки експериментальних

даних.

2.4.8. Методика визначення коефіцієнта масовіддачі. Методика визначення коефіцієнта масовіддачі включала наступні етапи [47]:

1. Вимір концентрації екстрактивних речовин у розчині й сировину й температури розчину в початковий $t_n, ^\circ\text{C} - X_n; C_n, \%$ і кінцевий момент часу $t_{до}, ^\circ\text{C} - X_k; C_k, \%$;

2. Вимір обсягу екстрагенту $V, \text{м}^3$ і ваги плодів $G_3, \text{кг}$;

3. Вимір температури розчину в момент $\tau_n - t_n, ^\circ\text{C}$;

4. Вимір температури розчину в момент $\tau_k - t_k, ^\circ\text{C}$;

5. Реєстрація потужності НВЧ-випромінювача $N, \text{Вт}$;

6. Розрахунки об'ємної витрати екстрагенту $VP, \text{м}^3 / \text{с}$

$$V_p = \frac{V}{\tau_k}. \quad (2.48)$$

7. Розрахунки потоку екстрактивних речовин із плодів у розчин:

$$J_M = \frac{C_i - C_{i-1}}{\tau_i - \tau_{i-1}}, \text{ \%}/\text{с}. \quad (2.49)$$

8. Розрахунки об'ємної витрати екстрактивних речовин $V_E, \text{м}^3/\text{с}$:

$$V_E = \frac{X_i}{\rho_3 \cdot (\tau_i - \tau_{i-1})}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.50)$$

9. Розрахунки середньої температури:

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (t_k - t_n), ^\circ\text{C}. \quad (2.51)$$

10. Розрахунки фізико-хімічних властивостей розчинів ρ, c_p, ν і r при t_{cp} і поточної концентрації X_i по рівняннях (2.43)...(2.46).

11. Розрахунки поточної концентрації водорозчинних компонентів у плодах шипшини:

$$C_{тек} = C_{3max} - \frac{V_p \cdot \rho \cdot X_i}{G}. \quad (2.52)$$

12. Визначення площі поверхні контакту фаз (площі поверхні каналу) $- F_K, \text{м}^2$;

13. Розрахунки коефіцієнта масовіддачі:

$$\beta_e = \frac{V_v \cdot 100}{F_K \cdot (C_{тек} - C_p)}, \text{ м/с.} \quad (2.53)$$

Порівн – рівноважна концентрація.

14. Побудова приватних залежностей впливу конструктивних і режимних параметрів на β_e .

Оскільки у випадку виникнення явища бародифузії відбуваються часткове руйнування стінок капілярів і турбулізація граничного шару, традиційна модель масопереносу міняється. Виникає загальний бародифузійний потік J_M , у якому неможливо виділити усередині- і зовні дифузійні складові. Таким чином, інтенсивність масообміну можна охарактеризувати ефективним коефіцієнтом масовіддачі β_E , який обчислюється по формулі (2.53).

2.4.9. Методика визначення площі поверхні контакту фаз. Методика для визначення площі поверхні контакту фаз у системі «плоди шипшини – вода» наступна:

1. Вимір лінійних розмірів ємності, у яку поміщені плоди, і «порожнеч», які дорівнюють вільному обсягу простору між частками (діаметр – L , м; висота – H , м; обсяг – $V_{нуст}$, м³).

2. Визначення обсягу ємності:

$$V = 0,25\pi \cdot L^2 \cdot H. \quad (2.54)$$

3. Визначення обсягу плодів:

$$V_k = V - V_{нуст}. \quad (2.55)$$

4. Вимір маси плодів ($G_{ш}$, кг) і їхньої щільності (ρ_k , кг/м³):

$$\rho_k = \frac{G_{ш}}{V_k}. \quad (2.56)$$

5. Визначення обсягу середньої частки ($V_ч$, м³). Для цього зважується кілька однакових навішень (m , кг) і в них підраховується кількість часток (n , шт).

$$V_ч = \frac{m}{n \cdot \rho_k}. \quad (2.57)$$

6. Визначення еквівалентного діаметру різнокаліберних часток (d_e , м):

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_ч}{\pi}}. \quad (2.58)$$

7. Визначення площі поверхні усередненого кількості часток (n , шт) у навішенні – ($F_ч$, м²):

$$F_ч = n \cdot 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_e}{2}\right)^2. \quad (2.59)$$

8. Визначення питомої поверхні 1 кг маси плодів ($F_{y\partial}$, м²/кг):

$$F_{y\partial} = \frac{F_ч}{m}. \quad (2.60)$$

9. Визначення площі контакту фаз (F_k , м²):

$$F_k = G_{ш} \cdot F_{y\partial}. \quad (2.61)$$

2.4.10. Методика узагальнення результатів експериментів. Розрахунки чисел подобий необхідних для цього параметрів проводився згідно з рівнянням (2.40). Методика обробки результатів включала наступні етапи:

1. Визначення пористості шару плодів:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{нуст}}}{V}. \quad (2.62)$$

2. Визначення еквівалентного діаметра (d_c , м) каналу в шарі плодів по еквівалентному діаметру часток:

$$d_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \cdot d_p. \quad (2.63)$$

3. Розрахунки проникності k , м²:

$$k = \left(\frac{d_c}{2} \right)^2 / 8. \quad (2.64)$$

4. Розрахунки площі живого перетину для проходу екстракту через шар плодів у циліндрі $F_{\text{СЛ}}$, м²:

$$F_{\text{СЛ}} = 0,25\pi \cdot L^2. \quad (2.65)$$

5. Визначення по середній температурі коефіцієнта дифузії D (2.47);
6. Розрахунки швидкості потоку екстрагенту в циліндрі w , м/с;
- 7.

$$w = \frac{w_f}{\varepsilon}, \quad (2.66)$$

де wf – фактична швидкість потоку екстрагенту в циліндрі, м/с.

$$wf = VP / F_{\text{СЛ}} \quad (2.67)$$

8. Розрахунки числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot L}{\nu} \quad (2.68)$$

9. Розрахунки числа Шмидта:

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.69)$$

10. Розрахунки числа Стантона:

$$St_m = \frac{\beta_{\text{э}}}{w} \quad (2.70)$$

11. Розрахунки безрозмірної параметричної проникності:

$$\Pi = \frac{k}{H^2} \quad (2.71)$$

12. Розрахунки числа Bu :

$$Bu = \frac{N_n}{rL^2w\rho} \quad (2.72)$$

13. Побудова приватних залежностей $\beta_E = f(w)$; $\beta_E = f(N)$; $Stm = f(Re)$.

2.4.11. Оцінка погрешностей вимірів. Метою

експериментальних досліджень було визначення параметрів критеріального рівняння (2.40) і залежності для розрахунків умов фазових рівноваг. Погрішність оцінки цих параметрів залежить від точності розрахунків чисел Stm , Sc , Re , які у свою чергу визначаються погрішностями оцінки геометричних і режимних характеристик процесу екстрагування, отриманих з допомогою вимірів. Для зменшення систематичних помилок, обумовлених погрішністю приладу, використовувалися прилади із класом точності 0,5...1. Робота із приладами здійснювалася відповідно до правил, наведених у паспортах і інструкціях для експлуатації.

Вплив випадкових помилок на результати коректувалося проведенням повторних вимірів. Отже, порядок оцінки погрішностей експериментальних досліджень наступний.

- 1) Інструментальні погрішності (погрішності прямих вимірів);
- 2) Погрішності оцінки похідних величин (погрішності непрямих вимірів);
- 3) Погрішності методу обробки.

Інструментальні погрішності. Прямі виміри дають оцінки висоти й діаметра каналу, часу, потужності випромінювання, зміни обсягу екстрагенту в мірній ємності, обсягу розчину, його оптичної щільності концентрації, маси плодів.

При використанні лінійки максимальна погрішність виміру висоти каналу становить 1мм, і при визначенні лінійкою діаметра каналу - 1мм. Погрішність реєстрації часу процесу за допомогою секундоміра СОС ін – 2б не перевищує 1с.

Максимальна погрішність виміру температури приладом DAN-1000 становила 0,5 °С, термометром – 0,1 °С, а оптичної щільності по фотометру типу «SPEKOL» - 0,01. Маса плодів визначався на аналітичних вагах Radwag AS 220 / С з помилкою $\pm 0,0004$ г, а обсяг розчину в мірній ємності - у межах 1мол (ДЕРЖСТАНДАРТ 1770-74).

Межа припустимої відносної похибки прямих вимірів, обумовлених класом точності приладу й значенням вимірюваної величини, наведений у табл. 2.5.

При розрахунках межі припустимої відносної погрішності бралися до уваги верхні й нижні значення вимірюваних величин.

Погрішність непрямих вимірів і методу апроксимації. Погрішність значення швидкості потоку визначається погрішностями виміру відрізка часу, зміни обсягу розчину в мірній ємності й площі живого перетину каналу (2.66). Звідси впливає оцінка відносного середньоквадратичного відхилення:

$$\bar{\delta}w^2 = \bar{\delta}Vp^2 + \bar{\delta}\tau^2 + \bar{\delta}F_{cl}^2. \quad (2.73)$$

Погрішність визначення часу процесу критично мала. Основний внесок вносять значення діаметра й обсягу. Відносні погрішності швидкості потоку лежать в інтервалі: $0,0009 < \Delta w < 0,0013$ %.

Так, середньоквадратична помилка виміру концентрації при інтерполяції тарувального графіка для спектрофотометра «Spekol» рівна 0,97, а для рефрактометра – 1, відносні помилки відповідно 3,2 % і 2,76 %.

Оскільки погрішності для ρ , ν , c_p , r , D залежать від температури й концентрації, те середньоквадратична помилка виміру фізичних властивостей кавового розчину визначаються по більших погрішностях даних величин [21]. Отримані наступні погрішності: для щільності – 4,53 %, для в'язкості – 0,05 %, для схованої теплоти паротворення – 0,09 %, для теплоємності – 3,2 %, для коефіцієнта дифузії – 0,12 %.

Знаходимо відносне середньоквадратичне відхилення оцінки коефіцієнта масовіддачі:

$$\bar{\delta}\beta^2 = \bar{\delta}V_e^2 + \bar{\delta}(F_k)^2 + \bar{\delta}\Delta C^2 + \bar{\delta}(3)^2. \quad (2.74)$$

Усі відносні погрішності визначення коефіцієнта масовіддачі лежать усередині інтервалу: $1,7 < \Delta\beta < 6,4$ %.

Аналогічно для чисел подоби:

Таблиця 2.5

Межі погрешності, що допускається, прямих вимірів

№ з/п	Вимірювана величина		погрешність, що допускається	
	Найменування	Позначення	Абсолютна	Відносна
1	Час, з	τ	1	$1/300 = 0,003$ $1/1800 = 0,0006$
2	Висота, мм	H	1	$1/27 = 0,037$ $1/20 = 0,05$ $1/14 = 0,07$ $1/8 = 0,125$
3	Діаметр, мм	L	1	$1/200 = 0,005$
4	Температура, °C	Термопара	T	$0,5/30 = 0,017$ $0,5/75 = 0,007$
		Термометр		$0,1/10 = 0,01$ $0,1/100 = 0,001$
5	Оптична щільність	Рефрактометр	E	$0,001/1,3334 = 0,0007$
		«SPEKOL»		$1/15 = 0,07$ $1/100 = 0,01$
6	Вага, г	G_u	0,001	$0,001/180 = 0,000006$ $0,001/335 = 0,000003$
7	Обсяг, л	VP	0,01	$0,001/5 = 0,002$ $0,001/20 = 0,00005$

$$\bar{\delta}Stm^2 = \bar{\delta}\beta^2 + \bar{\delta}w^2, \quad (2.75)$$

$$\bar{\delta}Re^2 = \bar{\delta}w^2 + \bar{\delta}H^2 + \bar{\delta}v^2, \quad (2.76)$$

$$\bar{\delta}Bu^2 = \bar{\delta}N^2 + \bar{\delta}r^2 + 2 \bar{\delta}H^2 + \bar{\delta}w^2 + \bar{\delta}\rho^2, \quad (2.78)$$

$$\bar{\delta}Sc^2 = \bar{\delta}D^2 + \bar{\delta}v^2, \quad (2.79)$$

$$\bar{\delta}Pr^2 = \bar{\delta}F_{\kappa}^2 + 2 \bar{\delta}H^2. \quad (2.80)$$

Середньоквадратичні погрешності чисел подоби Стантона, Шмідта, Рейнольдса й безрозмірних параметрів Pr и Bu складаються з погрешностей

зміни зазначених вище величин і довідкових значень (ν , ρ , D , r , c_p). Слід зазначити, що навіть при завищених значеннях погрішностей вхідних параметрів ($\delta Re = \pm 2,3 \%$, $\delta Sc = \pm 1,13 \%$, $\delta Bi = \pm 5,8 \%$), вихідна погрішність δStm критеріального рівняння не перевищить 6,5 %. Тобто середньоквадратична погрішність математичної моделі містить погрішність експерименту, яка не перевищує 6,5 %.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. На підставі досвіду дослідження процесу екстрагування з рослинної сировини виникає необхідність глибокого вивчення процесу екстрагування із плодів шипшини при дії мікрохвильового поля.

2. Розглянуті статичні моделі періодичного, напівперіодичного й безперервного процесів екстрагування в мікрохвильовому полі.

3. Механізм впливу мікрохвильового поля ґрунтується на дії бародифузії, що виникає за рахунок утвору парових пухирців у капілярах пористого тіла. Потік, що виникає під дією електромагнітного поля, турбулізує Граничний шар, відбувається часткове руйнування стінок капілярів, знижуючи опір у ланцюзі «капіляр – дифузійний Граничний шар – потік» у порівнянні із традиційними схемами масовіддачі. Виникає загальний бародифузійний потік масопередачі J_M , у якому неможливо виділити усередині- і зовні дифузійні складові. Таким чином, інтенсивність процесу можна охарактеризувати ефективним коефіцієнтом масовіддачі β_E .

4. Через те, що розв'язок основного завдання дисертаційної роботи аналітичними методами серйозно ускладнене, то обґрунтована необхідність експериментального моделювання процесу екстрагування із плодів шипшини при впливі мікрохвильового поля.

5. Методом «аналізу розмірностей» встановлена структура критеріального рівняння. Для випадку екстрагування в мікрохвильовому полі при русі розчину крізь пористий шар число Стантона визначається числом Рейнольдса, Шмідта, безрозмірною параметричною проникністю й числом паротворення, яке встановлює співвідношення потужності поля й тієї енергії,

яка необхідна для перекладу розчину в парову фазу.

6. Розглянуті методики визначення концентрації сухих речовин в екстракті, умов фазової рівноваги, властивостей кавового розчину, потужності мікрохвильового поля, площі поверхні контакту фаз, коефіцієнта масовіддачі й проникності шару.

7. Оцінка інструментальних погрішностей і погрішностей непрямих вимірів установила, що відносні погрішності визначення коефіцієнта масовіддачі не перевищують 6,4 %. Середньоквадратична погрішність математичної моделі числа Стантона в межах 6,5 %.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе-вода»: монографія. О.: ТЕС, 2007. 176 с.
2. Бурдо О.Г. Процессы переработки кофейного шлама // Киев: «ЭнтерПринт», 2014. 228 с.
3. Плотникова В.В. Кинетические закономерности процесса экстрагирования при производстве растворимого кофе: дис... канд. техн. наук.: 05.18.12. К., 1983. 134 с.
4. Kemeng G., Pokorny N. Application of the Infrapid 31 instrument in the determination of the moisture and oil content of roast coffee by the near infrared reflectance spectroscopic // Hung. Sci. instrum, 1984. № 58. P. 65-68.
5. Pokorny I. Veränderungen von Aminosäuren und reduzierenden Zuckern während des Kaffeeaufbereitens. Nahrung, 1974. 799 p.
6. Trugo L.G., Macrae R. The determination of carbohydrates in coffee products using high performance liquid chromatography // 10th Int. Colloq. on Int. Coffee, Paris, 1983. P. 187-192.
7. Гончаренко Г.К., Орлова Е.И., Чернышева И.С. Интенсификация процессов экстракции в системе твердое тело – жидкость // Совершенствование теории и техники экстрагирования из твердых материалов с целью создания высокоэффективных автоматизированных экстракторов: материалы респ. конф. К., 1974. С. 33-34.
8. Аксельруд Г.А. Массообмен в системе твердое тело-жидкость. Изд-во Львов. ун-та, 1970. 186 с.
9. Аксельруд Г.А. Теория диффузионного извлечения веществ из пористых тел. Изд-во Львов. ун-та, 1959. 234 с.
10. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система твердое тело – жидкость. Л.:Химия, 1974. 256 с.

11. Аксельруд Г.А., Семенишин Е.М. Об определении механизма экстрагирования твердой фазы из пористых тел // ЖФХ, 1976. Т. 50, № 10. С. 2568–2572.
12. Бурдо О.Г. Пищевые наноэнерготехнологии. Херсон, 2013. 294 с.
13. Белобородов В.В. Проблемы экстрагирования в пищевой промышленности // Изв. вузов. Пищ. технология, 1986. №3. С. 6-11.
14. Белобородов В.В. Структура экстрагируемого материала как один из определяющих факторов эффективности процесса экстракции // Масло-жировая пром-сть, 1957. № 5. С. 19.
15. Ряшко Г.М. Интенсифікація процесу екстрагування при виробництві розчинної кави: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв: захист -17.10.2006/науч. кер. О.Г.Бурдо; ОНАХТ. О.:ОНАХТ, 2006. 192 с.
16. Макиевская Т.Л. Кинетика комбинированных процессов производства экстрактов кофе в микроволновом поле: дис...канд. тех. наук: 05.18.12- процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств: защита 26.12.2013 / науч. рук. О.Г. Бурдо; Одес. нац. акад. пищевых технологий. О. : ОНАХТ, 2013. 182 с. (Приложения + CD). – Библиогр.: с. 145-158. – 26.12.2013.
17. Потапов В.О., Мартинець І.С. Експериментальне визначення масообмінних характеристик харчової сировини // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі.: зб.наук. праць. Х., 2009. Вип. 2 (10). С.453-458.
18. Лысянский В.М., Ющенко Н.М., Шляпников В.А. Интервально-итерационный метод расчета равновесия фаз эфиромасличного сырья с учетом равновесия фаз // Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств: тез. у респ. конф. Днепропетровск, 1980. С. 62.
19. Романков П.Г. Массообменные процессы химической технологии. (Системы с твердой фазой). Л.: Химия, 1975. 336 с.

20. Лысянский В.М., Гребенюк С.М. Экстрагирование в пищевой промышленности. Агропромиздат, 1987. 188 с.
21. Молохова Л.Г., Решетилов А.Е. Сравнительная оценка эффективности методов экстракции // Материалы 2-го Всесоюз. съезда фармацевтов. Рига, 1974. С. 90-91.
22. Малежик І.Ф. Процеси і апарати харчових виробництв: підруч. для вузів // К.: НУХТ, 2003. 400 с.
23. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1985. 503 с.
24. Харин В.М., Агафонов Г.В. Теоретические основы тепло- и влагообменных процессов пищевой технологии. Москва: Пищевая пром-сть, 2001. 343 с.
25. Nielsen K.F., Ngemela A.F., Jensen L.B., de Medeiros L.S., Rasmussen P.H. UHPLC-MS/MS determination of ochratoxin A and fumonisins in coffee using QuEChERS Extraction combined with mixed-mode SPE purification // J. Agric. Food Chem, 2015. Vol. 63. P. 1020-1034
26. Corbin C., Fidela T., Leclerc E.A., Barakzoy E., Sagot N., Falguières A., Renouard S., Blondeau J.-P., Ferroud C., Doussot J., Lain E., Hano C. Development and validation of an efficient ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds // Ultrasonics Sonochemistry. Vol. 26, P. 176-185
27. Várvolgyi E., Gere A., Szöllösi D., Sipos L., Kovács Z., Kókai Z., Csóka M., Mednyánszky Zs., Fekete A., Korány K. Application of sensory assessment, electronic tongue and GC-MS to characterize coffee samples // Arabian Journal for Science and Engineering, 2015. Vol. 40, Is. 1. P. 125-133
28. Chan C.-Hung, Lima J.-J., Yusoff R., Ngoh G.-C. A generalized energy-based kinetic model for microwave-assisted extraction of bioactive compounds from plants // Water Environment Research, 2015. Vol. 88, Num. 10. P. 1192-1229
29. Bhuyan D.J., Vuong Q.V., Chalmers A.C., van Altena I.A., Bowyer M.C., Scarlett C.J. Microwave-assisted extraction of *Eucalyptus robusta* leaf for the

optimal yield of total phenolic compounds // *Industrial Crops and Products*, 2015. Vol. 69. P. 1-10

30. Dahmoune F., Nayak B., Moussi K., Remini H., Madani K. Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Myrtus communis* L. leaves // *Food Chemistry*, 2015. Vol. 166. P. 585-595

31. Flyrez N., Conde E., Domínguez H. Microwave assisted water extraction of plant compounds // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2015. Vol. 90, Is. 4. P. 590-607

32. Tewari S., Ramalakshmi K., Methre L., Mohan Rao L.J. Microwave-Assisted Extraction of Inulin from Chicory Roots Using Response Surface Methodology // *J. Nutr. Food Sci.*, 2015. Vol. 5. P. 342-349

33. Liu F., Hou R.-H., Liao S.-T., Zou Y.-X., Xiao G.-S. Optimisation of Ultrasonic-Microwave-Assisted Extraction Conditions for Polysaccharides from Mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb) Leaves and Evaluation of Antioxidant Activities in vitro // *Med chem*, 2015. Vol. 5 (2). P. 090-095

34. Rahmati, Abdullah A., Momeny E., Kang O.L., Optimization studies on microwave assisted extraction of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectin using response surface methodology // *International Food Research Journal*, 2015. Vol. 22 (1). P. 233-239

35. Jacotet-Navarro M., Rombaut N., Fabiano-Tixier A.-S., Danguien M., Bily A., Chemat F. Ultrasound versus microwave as green processes for extraction of rosmarinic, carnosic and ursolic acids from rosemary // *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015. Vol. 27. P. 102-109

36. Kadam S.U., Tiwari B.K., Smyth T.J., O'Donnell C.P. Optimization of ultrasound assisted extraction of bioactive components from brown seaweed *Ascophyllum nodosum* using response surface methodology // *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015. Vol. 23. P. 308-316

37. Zhao P., Zhao L., Qi C., Wang G., Hou X. A hierarchical cluster analysis of ten index constituents based on microwave-assisted extraction by

UHPLC-MS/MS for the evaluation and quality control of Cortex Juglandis Mandshuricae // *Anal. Methods*, 2015. № 7. P. 1816-1824

38. Wu C.-Hsin, Kuo C.-Y., Guan S.-S. Adsorption Kinetics of Lead and Zinc Ions by Coffee Residues // 2015. Vol. 24, No. 2. P. 761-767

39. Chung-Hung C., Jian-Jiun L., Yusoff L., Gek-Cheng R., Gek-Cheng N. A Generalized Energy-Based Kinetic Model for Microwave-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Plants // *Separation and Purification Technology*, 2015. Vol. 143. P. 152-160.

40. Mestdagh F., Davidek T., Chaumonteuil M., Folmer B., Blank I. The kinetics of coffee aroma extraction // *Food Research International*, 2014. Vol. 63. P. 271-274

41. Chemat F., Cravotto G. Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds: Theory and Practice. Food Engineering Series, 2013. 238 p.

42. Zhou T., Xiao X., Li G. Hybrid Field-Assisted Solid_Liquid_Solid Dispersive Extraction for the Determination of Organochlorine Pesticides in Tobacco with Gas Chromatography // *Anal. Chem.*, 2012. Vol. 84. P. 420-427

43. Bartel C., Mesías M., Morales F.J. Investigation on the extractability of melanoidins in portioned espresso coffee // *Food Research International*, 2015. Vol. 67. P. 356-365

44. Krishnaswamy K., Orsat V., Gariépy Y., Thangavel K. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic antioxidants from grape seeds (*Vitis vinifera*) // *Food and Bioprocess Technology*, 2013. Vol. 6. P. 441-455

45. Lebovka E., Vorobiev F. Chemat Enhancing Extraction Processes in the Food Industry. By Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2012. 518 p.

46. Mussatto S.I., Machado E.M.S., Martins S., Teixeira J.A. Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues // *Food Bioprocess Technol*, 2011. Vol. 4. P. 661-672

47. Терзієв В.Г. Інтенсифікація масопереноса при виробництві крепких напій: автореф. дис...канд. техн. наук.: 05.18.12. О., 2000. 18 с.

48. Терзиев С.Г., Макиевская Т.Л. Кинетика процесса экстрагирования в микроволновом поле // Наук. пр. ОНАХТ, О., 2011. Вип. 39, т.2. С. 200-203.
49. Лысянский В.М., Ющенко Н.М., Шляпников В.А. Интервально-итерационный метод расчета равновесия фаз эфиромасличного сырья с учетом равновесия фаз // Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств: тез. у респ. конф., Днепропетровск, 1980. С. 62.
50. Калинин Л.Г. Технологические аспекты широкого применения микроволновых технологий. Состояние проблемы. Задачи. Решения //
51. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
52. Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах. О.: Друк, 2008. 348 с.
53. Бурдо О.Г., Ряшко, Г.М., Светлічний П.І. Моделювання масопереносу при екстрагуванні із зерен кави // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. / голов. ред. О.О. Шубін. Донецьк, 2005. Вип. 13, т. 1. С. 23-29.
54. Математическая модель процесса экстрагирования из растительного сырья / Безчаснюк Е.М. и др. // Фармаком, 2003. № 1. С. 54-57.
55. Терзиев С.Г., Макиевская Т.Л. Применение теории подобия в задачах экстрагирования в микроволновом поле // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2014. Вип. 45, том 2. С. 158-162.
56. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М., Терзиев С.Г. Експериментальне моделювання процесу екстрагування із зерен кави // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2004. Вип. 27. С. 200-205.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРАГУВАННЯ ІЗ ПЛОДІВ ШИПШИНИ

Для розробки наукових основ процесів екстрагування із плодів шипшини, як показано в розділі 2, необхідні комплексні експериментальні дослідження, які визначають відсутні в літературі статичні й кінетичні закономірності процесів екстрагування в електромагнітному полі мікрохвильового діапазону.

3.1. Характеристика об'єкта досліджень

Об'єктом досліджень є лікувально-профілактичні плоди шипшини. Основний технологічний процес, який досліджувався, це екстрагування. Саме цей процес при виробництві ФП є ключовим. Якість готового продукту в значній мірі визначається температурним режимом процесу екстрагування. Тому, в традиційних технологіях екстрагування, для збереження цілющого потенціалу сировини обмежують вплив термічної дії на сировину, у результаті чого процес триває іноді тиждень.

У роботі пропонується застосувати інноваційні електрофізичні технології адресної доставки енергії до елементів харчової сировини. Рішення засновано на наступному:

- досвід удосконалювання теплотехнологій у різних галузях техніки показує широкі можливості модернізації устаткування на основі електротехнологій.
- світовий досвід свідчить про активну роботу над створенням екстракторів, які використовують електромагнітні джерела енергії;
- приклади організації низькотемпературних режимів, інтенсифікація процесів масопереносу за допомогою електрофізичних методів при виробництві фітопрепаратів відсутні.

Тому, досліджувався процес екстрагування із плодів шипшини у МХ полі. Вирішувалося завдання порівняти запропоновані підходи із традиційними технологіями.

Для цього експерименти проводилися на 4 стендах: на базі термостата (моделювалися традиційні принципи екстрагування); у мікрохвильовому екстракторі при нерухливому шарі сировини; у мікрохвильовому вакуумному екстракторі; у мікрохвильовому екстракторі із циркуляційним контуром і холодильною машиною. Досвіди проводилися в широкому діапазоні зміни параметрів (таб. 3.1).

Таблиця 3.1

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 таб. 3.1 концентрація в 60 % була отримана при концентруванні екстракту у вакуумному мікрохвильовому випарному апараті.

3.2. Принципові схеми експериментальних стендів.

Планується отримати кінетичні залежності для 4 різних способів екстрагування, які реалізуються на установках (рис. 3.1).

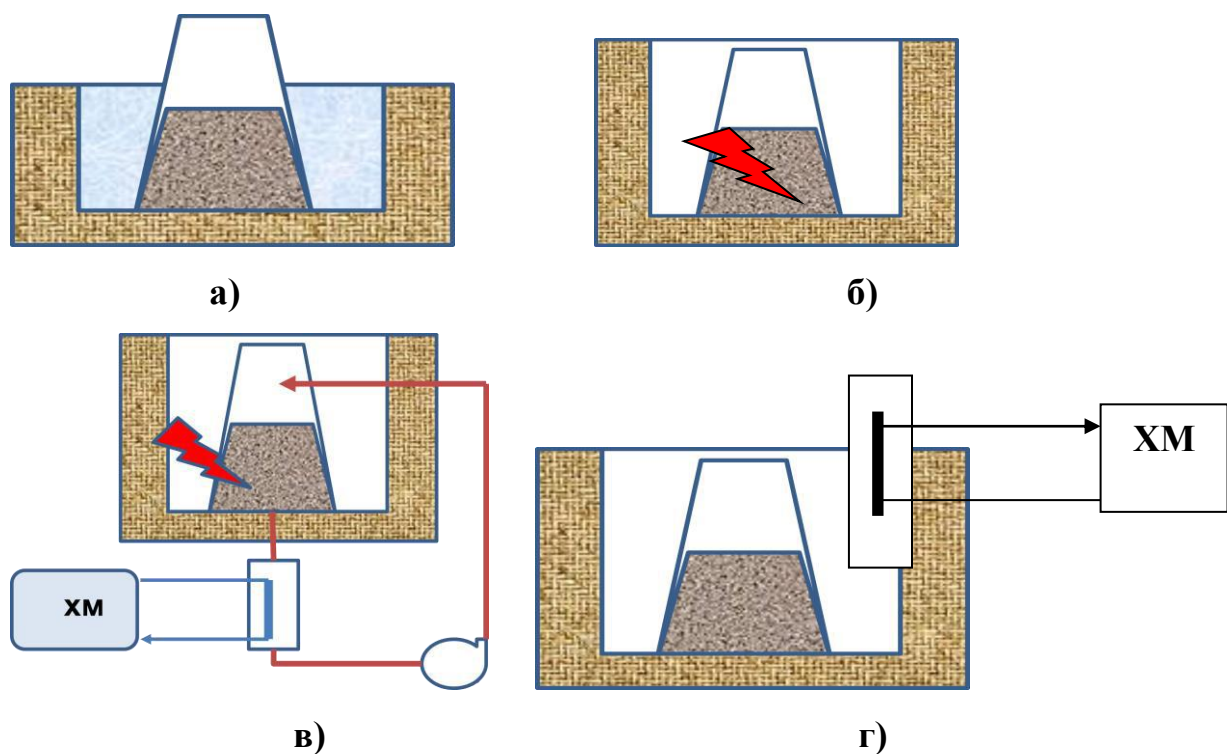


Рис. 3.1. Принципові схеми стендів: а) – стенд №1; б) – стенд №2; в) – стенд №3; г) – стенд №4.

Установки реалізовано:

- на базі термостата (стенд №1, імітує традиційні принципи екстрагування);
- на базі мікрохвильової камери при нерухливому шарі плодів шипшини (стенд №2);
- у мікрохвильовому екстракторі конструкції ОНАХТ із циркуляційним контуром і холодильною машиною (стенд №3);
- у розробленій установці на базі вакуумного мікрохвильового екстрактора (стенд №4).

У стенді №3 із циркуляційним контуром підтримувалася температура в реакційному обсязі на рівні 30-45 °С.

Порівняння результатів експериментів дадуть можливість обґрунтувати раціональну конструкцію екстрактора й режими добування цільових компонентів із плодів, які забезпечать максимальне збереження корисних речовин при мінімальних енергетичних витратах.

3.3. Порядок проведення експериментів

При роботі на стендах дотримувався наступний порядок. На першому етапі проводиться підготовка зразків і стенда, яка включає наступні операції: прохолоджується вода в холодильній машині; дробиться й вимірюється маса плодів (M_p); відміряється необхідна маса екстрагенту (M_v); встановлюється потужність магнетрона (N_m).

Після пуску установки періодично вимірюються: температури (за допомогою пірометра й термопар) – t ; витрата екстрагенту (ваговим методом) – V ; час дії ЕМ-поля – τ_m ; потужність магнетрона (N_m); оптична щільність екстракту (за допомогою Spекol) – D ; концентрація екстракту X (за допомогою цифрового рефрактометра); час реєстрації параметрів – τ .

Вибірково визначаються концентрації екстракту (методом висушування до постійної ваги). Розраховуються вихідні параметри дослідів: концентрація (X_e) екстракту (по тарувальній залежності); гідромодуль (Γ); витрата МХ-енергії (E_m).

Порядок обробки результатів спостережень.

1) розрахунки маси, що перейшла у розчин речовин

$$m = XeVe\tau_e \quad (3.1)$$

2) визначення концентрації цільових компонентів у плодах

$$C_i = C_n - Xe/\Gamma, \quad (3.2)$$

де: C_n – початковий зміст цільових компонентів у плодах.

3) розрахунки витрати МХ – енергії:

$$E_m \tau_{\text{ц}} Z \quad (3.3)$$

де: $\tau_{\text{ц}}$ – час одного циклу; N_m – потужність включення магнетрона;

Z – кількість циклів за відрізок часу.

4) Визначення питомої витрати енергії:

$$J = E_m/m \quad (3.4)$$

5) Розрахунки площі поверхні фазового контакту:

$$F = n f \quad (3.5)$$

де: n – число часток, f – середня площа поверхні 1 частки.

За результатами розрахунків будуються графічні залежності: $D = f(\tau)$; $Xe = f(\tau)$; $m = f(\tau)$; $C_i = f(\tau)$; $t = f(\tau)$. Перераховані кінетичні залежності встановлюються при постійних значеннях Ve , Γ , N_m , F .

При постійних значеннях Γ , F для умов відсутності мікрохвильового поля ($N_m = 0$), для різних значень витрати екстрагенту ($Ve = var$) реєструються залежності: $D = f(\tau)$; $Xe = f(\tau)$; $m = f(\tau)$; $C_i = f(\tau)$ і $J = f(\tau)$.

Обираються дані експериментів при постійних значеннях Ve , Γ , N_m , F з

яких формуються кінетичні залежності ключового параметра - коефіцієнта масовіддачі (β , м/с): $\beta = f(Ve)$; $\beta = f(\Gamma)$; $\beta = f(N_M)$; $\beta = f(t)$; $\beta = f(F)$.

Для розрахунків коефіцієнта масовіддачі використовується співвідношення:

$$\beta = Ve X_e (X_n - X_e) / F \quad (3.6)$$

Отримані значення параметрів використовуються для розрахунків чисел подоби і їх узагальнення в критеріальній формі. Зразки екстрактів фотографувалися, їхнє забарвлення характеризувало ступінь насичення розчину. Світлини реакційного об'єму й зразків наведені на рис. 3.2.

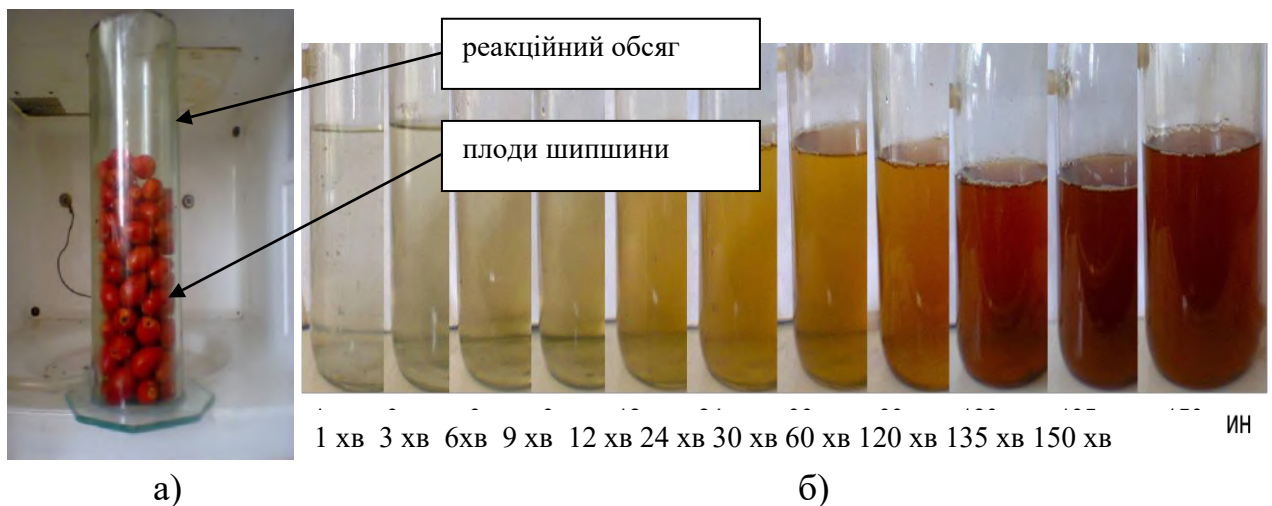


Рис.3.2. МХ-екстрактор (а) і зразки екстрактів (б).

Концентрації зразків екстрактів (рис. 3.2, б, рис. 3.3) визначалися за методикою, опис якої наведено в розділі 2.

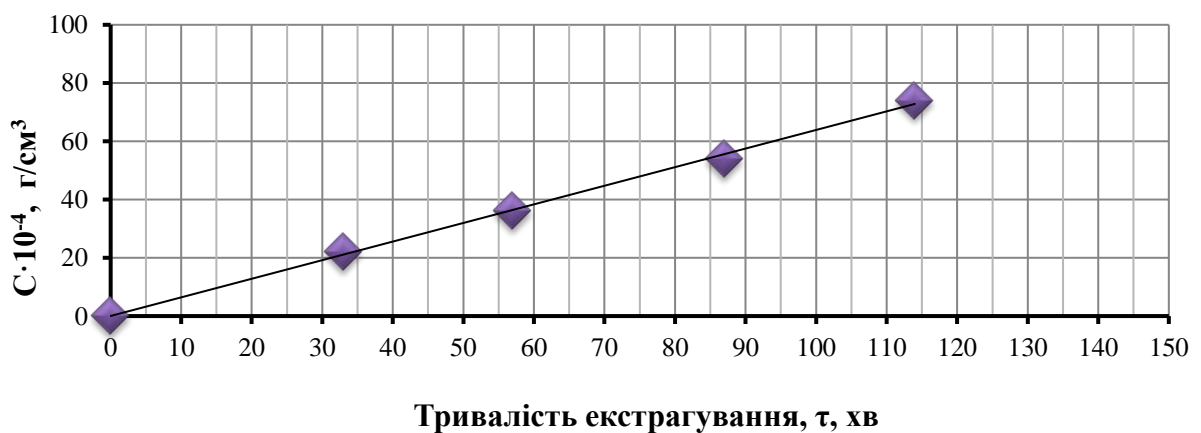


Рис. 3.3. Типова залежність кінетики екстрагування.

Викладений порядок використовувався при всіх дослідах. Організація експериментів передбачала зміну досліджуваного параметра при фіксації інших.

3.4. Вміст водорозчинних речовин у плодах шипшини

На першому етапі комплексних досліджень визначався зміст водорозчинних речовин у плодах шипшини коричневого. Досліди проводилися в нерухливому шарі, з половинками плодів, при температурі $t=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, на стенді №1. Температура стабілізувалася за допомогою водяної лазні. Вага плодів становила 25 г, плоди заливалися дистильованою водою, вага якої була 75 г (гідромодуль 1:3). Послідовно плоди заливалися гарячою водою, екстракт зливався, вимірялася його концентрація, а плоди заливалися чистою гарячою водою (рис. 3.5, табл. 3.2). Так, плоди доводили до виснаження.

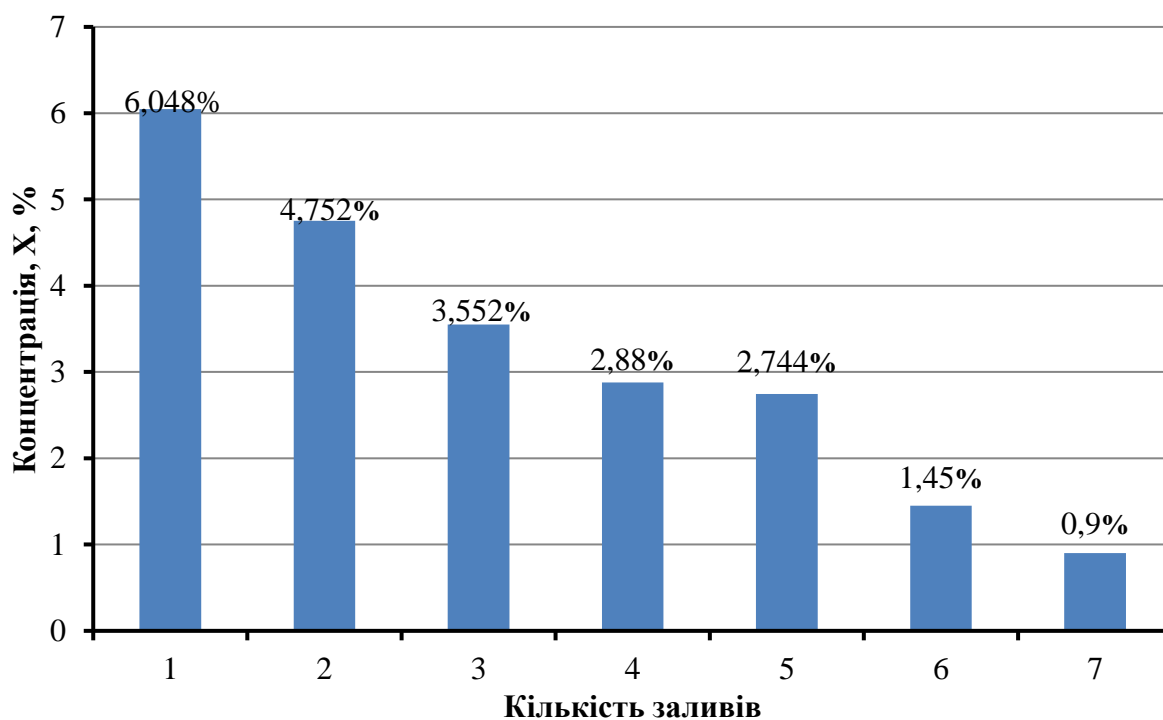


Рис. 3.5. Зміна концентрацій водорозчинних речовин в екстрактах при різних заливах.

Ілюстрація режимів проведення дослідів при першому заливі наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати експериментальних досліджень

Тривалість дослідження, хв	Концентрація сухих водорозчинних речовин, %	Маса сухих водорозчинних речовин, г	Витягнуто розчинних речовин, %	Обсяг концентрату, мол
1	0,24	0,12	0,46	-
16	1,32	0,63	2,53	-
35	2,25	1,08	4,32	-
48	2,5	1,20	4,80	-
65	3	1,44	5,76	-
78	3,15	1,512	6,048	48

Аналогічно проводилися дослідження при 2 – 7 заливах. Кінетика процесів наведена на рис. 3.6.

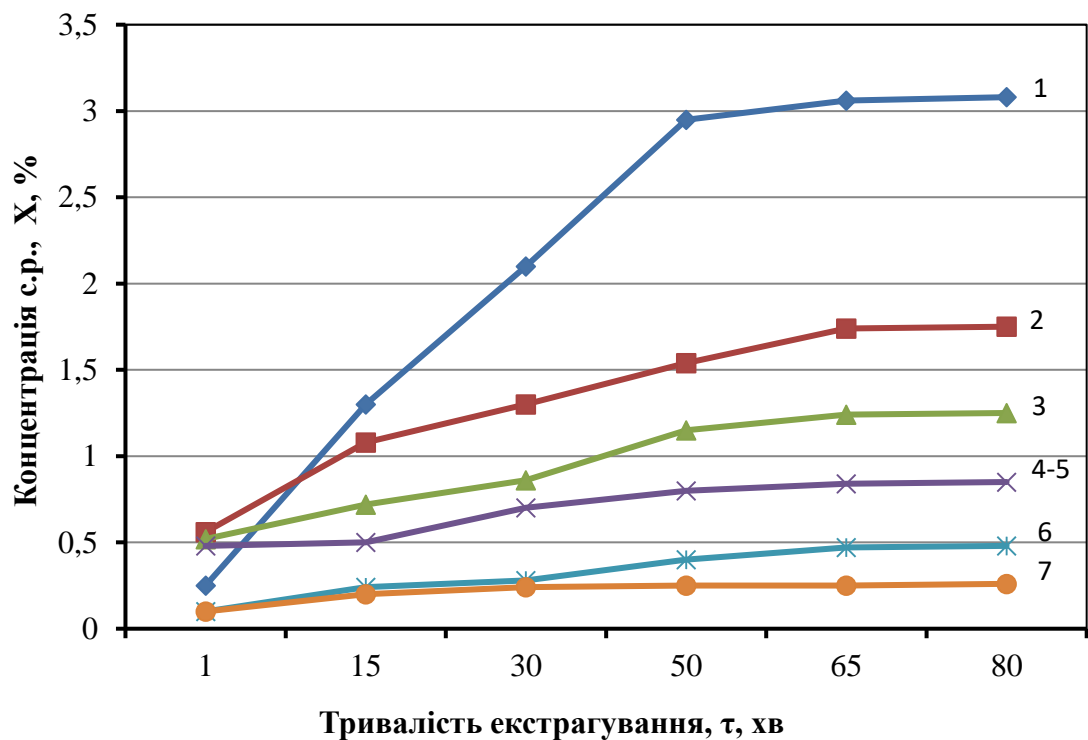


Рис. 3.6. Кінетика екстрагування при різних заливах.

На основі матеріальних балансів розрахований повний зміст водорозчинних речовин у плодах шипшини (рис.3.7).

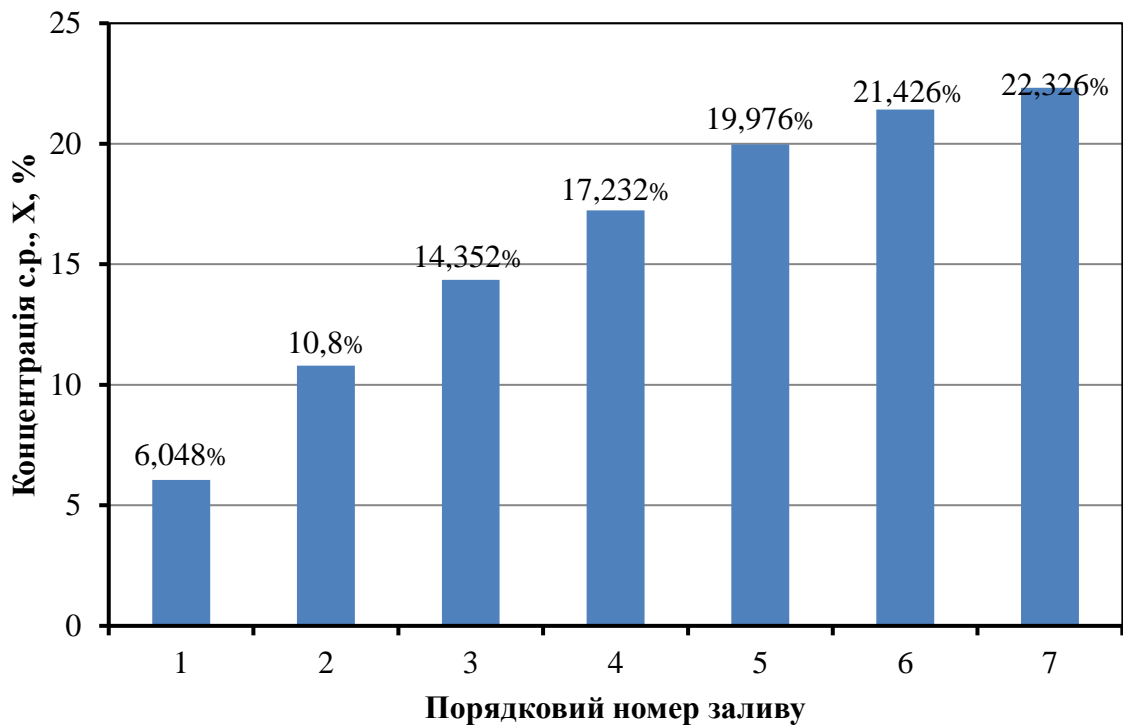


Рис. 3.7. Відсоткове співвідношення водорозчинних речовин у плодах щодо нерозчинних.

Видно, що із плодів шипшини можна вилучити 22,3% водорозчинних сухих речовин (рис.3.7). Отримані значення можуть використовуватися при розрахунках рушійної сили процесу екстрагування, для визначення коефіцієнта інтенсивності масопереносу. Подальші експериментальні дослідження стосувалися кінетики екстрагування.

3.5. Приватні експериментальні залежності процесів екстрагування плодів шипшини в нерухливому шарі

Досліди проводилися на стендах №1 і №2. Послідовно вивчався вплив основних параметрів на кінетику екстрагування.

3.5.1. Дослідження комплексного впливу основних параметрів на кінетику екстрагування

Поставлена серія дослідів, у яких порівнювалася інтенсивність масопереносу на стенді №1 (умови традиційної подачі енергії) і стенді №2 (попередня обробка плодів МХ полем). Тривалість екстрагування витримувалася однаковою – 10 хв. Теплова обробка проводилася увесь час при

температурі 60 °С (рис.3.8, 1). У МХ поле плоди оброблялися від кімнатної температури протягом 1 хвилини (рис.3.8, 2), і 1,5 хвилин (рис.3.8, 3).

Досліди проводилися з половинками плодів шипшини в нерухомому шарі. Видно, що вид енергії, температура й кількість підведеної енергії впливають на інтенсивність процесу екстрагування (рис. 3.9).

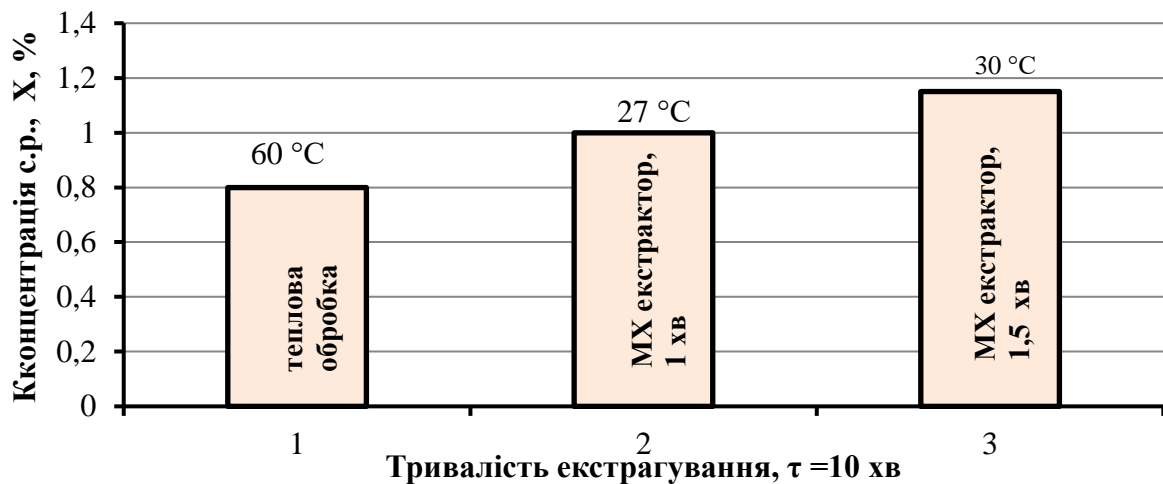


Рис.3.8. Порівняння впливу температури, тривалості попередньої обробки й виду енергії на інтенсивність масопереносу.

Тому проведені серії експериментів по дослідженню впливу окремо цих факторів на кінетику масопереносу при екстрагуванні.

3.5.2. Вплив виду енергії, що підводилася. У дослідах із цілими плодами шипшини в нерухомому шарі порівнювалися вплив температури й виду енергії (рис.3.9). Порівняння проводилося при однаковому температурному режимі: і на стенді №1, і на стенді №2 температура стабілізувалася на рівні 65 °С. Однаковим витримувався й гідромодуль, співвідношення маси плодів шипшини й води – 1:2. Досліди проводилися із цілими плодами.

Видно (рис. 3.9, а), що електромагнітне поле інтенсифікує процес у 5 разів. Слід урахувати, що в стенді №1 заливалася відразу гаряча вода, а в стенді №2 – з температурою навколишнього середовища, тобто затрачалася енергія ще й на підігрів води.

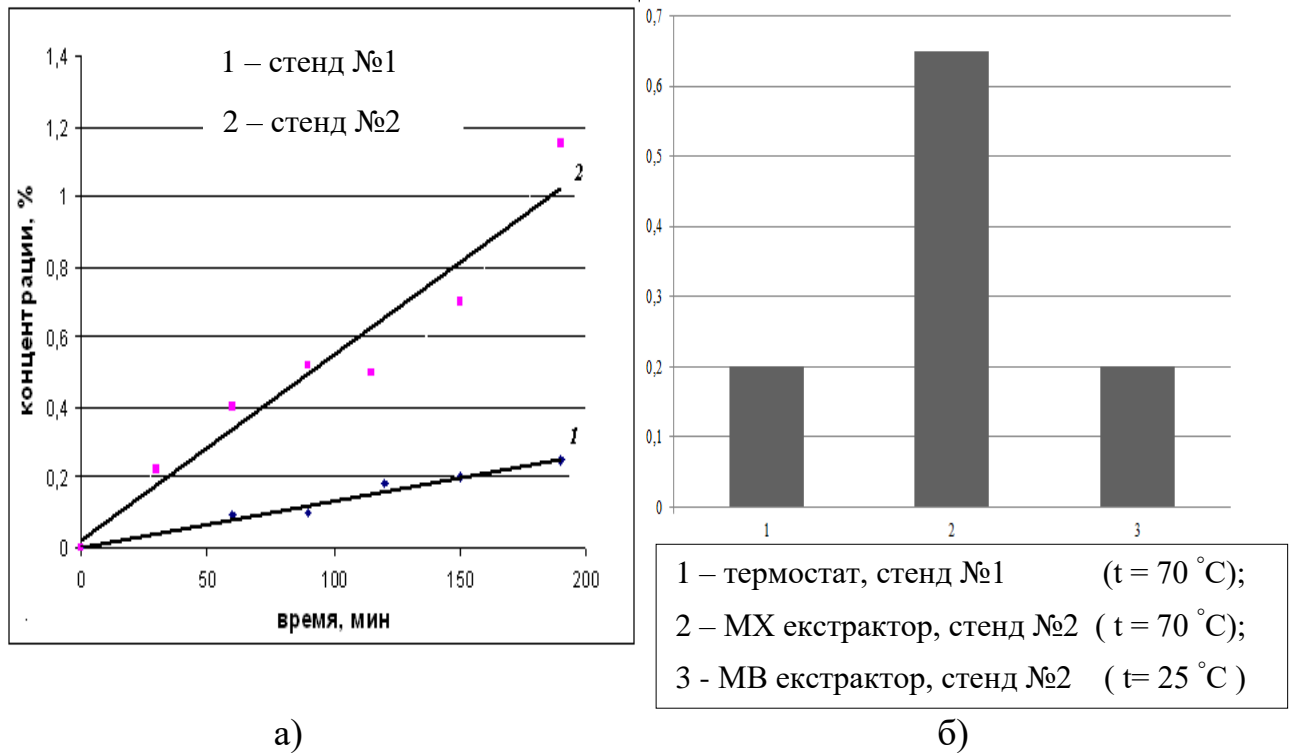


Рис.3.9. Кінетика екстрагування із плодів шипшини.

Порядок виконання другої серії експериментів був наступний. Перший дослід. Половинки плодів шипшини залили дистильованою водою (гідромодуль 1:3) при температурі $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, витримували 1 хвилину в нерухомому шарі. Другий дослід. Половинки плодів шипшини залили дистильованою водою (гідромодуль 1:3) при температурі $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Потім воду злили, і плоди шипшини обробили МХ полем 1 хвилину. Третій дослід. Відрізнявся від другого тим, що обробка проводилася тільки 15 с.

У другій серії дослідів (рис.3.9, б) встановлено, що за однакове тривалість екстрагування концентрація розчину й у традиційній технології, і у МХ екстракторі були однаковими. Але дослід в термостаті проводився при температурі $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.3.9, б, 1), а рівень температур у МХ екстракторі становив $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.9, б, 3). При екстрагуванні у МХ поле на рівні температур $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.3.9, б, 2) вихід цільових компонентів виріс в 3, 5 рази.

Тільки теплова обробка половинок плодів шипшини на стенді №1 у плинні 1 хвилини при температурі $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ підвищує концентрацію сухих речовин до 0,2 % (рис. 3.9, б). Обробка МХ-полем такий саме час доводить температуру

теж до 70 °С і підвищує концентрацію в 3,5 рази більше (рис.3.9, б). При цьому, затрачається енергія $E=62$ кДж, при питомій енергії $j= 1,2$ Мдж/кг.

МХ обробка протягом 15 секунд при питомій енергії $j= 0,3$ МДж/кг плодів шипшини нагріває продукт від 16 °С до температури 25 °С і підвищує концентрацію сухих речовин до 0,2 %, тобто також, як і при тепловій обробці при 70 °С у плинні 1 хвилини.

По розділу можна зробити 4 висновки. По перше, при обробці у МХ полі вихід цільових компонентів на лад вище, ніж при традиційної тепловій обробці плодів. Так, при тривалому тепловому екстрагуванні протягом 60 хв вихід екстрактивних речовин виявився в 2 рази нижче, чим при обробці у МХ поле протягом 30 хв.

По-друге, раціональний час обробки у МХ полі обмежується 30 хвилинами.

По-третє, вплив тривалості попередньої обробки плодів у МХ поле вимагає детального вивчення.

По-четверте, вплив ступеня здрібнювання плодів вимагає окремого дослідження.

3.5.3. Вплив ступеня здрібнювання плодів.
Ставилося завдання встановити вплив ступеня дроблення плодів шипшини на інтенсивність процесів екстрагування. Досвіди проводилися на стенді №2 у нерухомому шарі. Досліджувалися цілі плоди шипшини, їх половинки, їх четвертинки та плющені плоди. Досліджувалися попередньо висушені плоди. Результати досліджень наведені на рис. 3.10. Результати залежностей (рис. 3.10) дають нам можливість судити про те, що найбільш доцільним є екстрагування плодів шипшини, попередньо підданих механічному впливу. У такому випадку, екстрагент проникає у середину плода, що значно інтенсифікує процес самого екстрагування за рахунок безперешкодного виходу екстракту й збільшення площі фазового контакту. Оболонка при екстрагуванні цілих плодів шипшини є значним дифузійним опором.

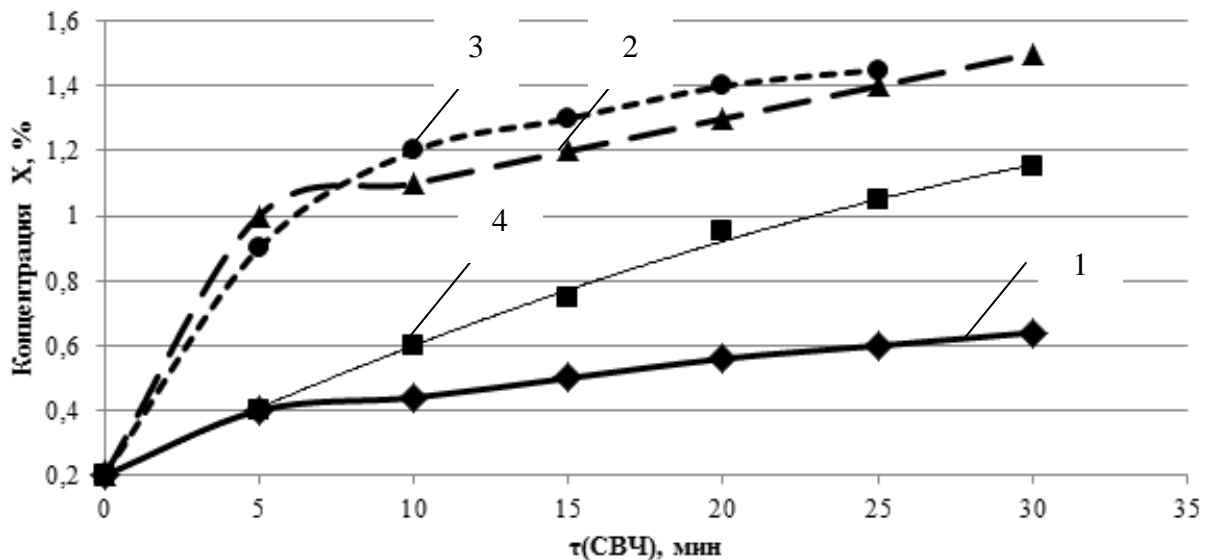


Рис. 3.10. Кінетика екстрагування у МХ-полі при різному здрібнюванні плодів шипшини. 1 – цілі плоди; 2 – $\frac{1}{2}$ плодів; 3 – $\frac{1}{4}$ плодів; 4 – плющені плоди шипшини.

Однак надмірне здрібнювання плодів спричиняє збільшення пектину в екстракті, що робить його більш густим і надає специфічний присмак. Отже, при постановці завдання екстрагування важливо враховувати цей факт.

Установлене, що половинки й четвертинки плодів практично однаково впливають на процес масопереносу (рис.3.10). Тому, наступні експериментальні дослідження проводилися, як правило, на половинках плодів.

3.6. Вплив тривалості попередньої обробки плодів у МХ полі на кінетику процесів екстрагування

Метою цієї серії досвідів було моделювання режимів попередньої обробки плодів у МВ поле перед екстрагуванням. Слід було встановити, як впливають тривалість процесу обробки, кількість підведеної до плодів енергії, кількість циклів зміни екстрагенту на інтенсивність масопереносу.

Досліди проводилися на стенді №2, у якому реакційний обсяг (рис.3.2) мав вихід за межі МХ камери, і гнучкою трубкою повідомлявся з ємністю. При підйомі цієї ємності екстрагент заповнював реакційний обсяг, при опусканні – екстракт із реакційного обсягу зливався (рис.3.11).

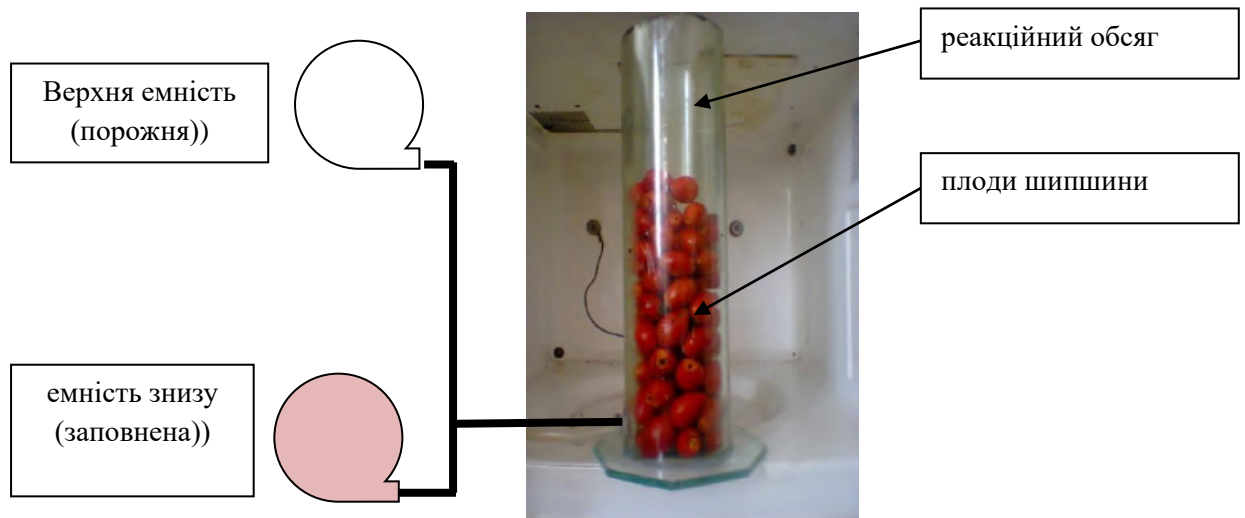


Рис.3.11. Стенд №2 із зовнішньою ємністю.

Порядок проведення дослідів був наступний. Половинки плодів шипшини зважувалися й містилися в реакційний обсяг. Дистильовану воду заливали в зовнішню ємність. Гідромодуль витримувався 1:3. Піднімалася зовнішня ємність і вода змочувала плоди. Далі ємність опускалася й змочені плоди оброблялися МХ полем. Змінювався час обробки. Після МХ обробки зовнішня ємність піднімалася, вода заповнювала реакційний обсяг. Періодично вимірялися температури й відбиралися проби, концентрація яких визначалася за допомогою фотометра «Spesol».

Результати досліджень наведені на рис. 3.12 – 3.14.

На першому етапі проведено 3 досвіду, які відрізнялися часом (τ) обробки плодів МХ полем, а, отже, величиною підведеної до плодів енергії (E) і значенням питомих витрат енергії (j), які нормуються масою плодів. Відповідно, представлені на мал.3.12 залежності характеризуються наступними параметрами: 1 - $\tau = 90$ з, $E=93$ кДж, $j = 1,86$ Мдж/кг плодів; 2 - $\tau = 60$ с, $E=62$ кДж, $j = 1,24$ Мдж/кг плодів; 3 - $\tau = 15$ з, $E=15$ кДж, $j = 0,31$ Мдж/кг плодів (рис.3.12).

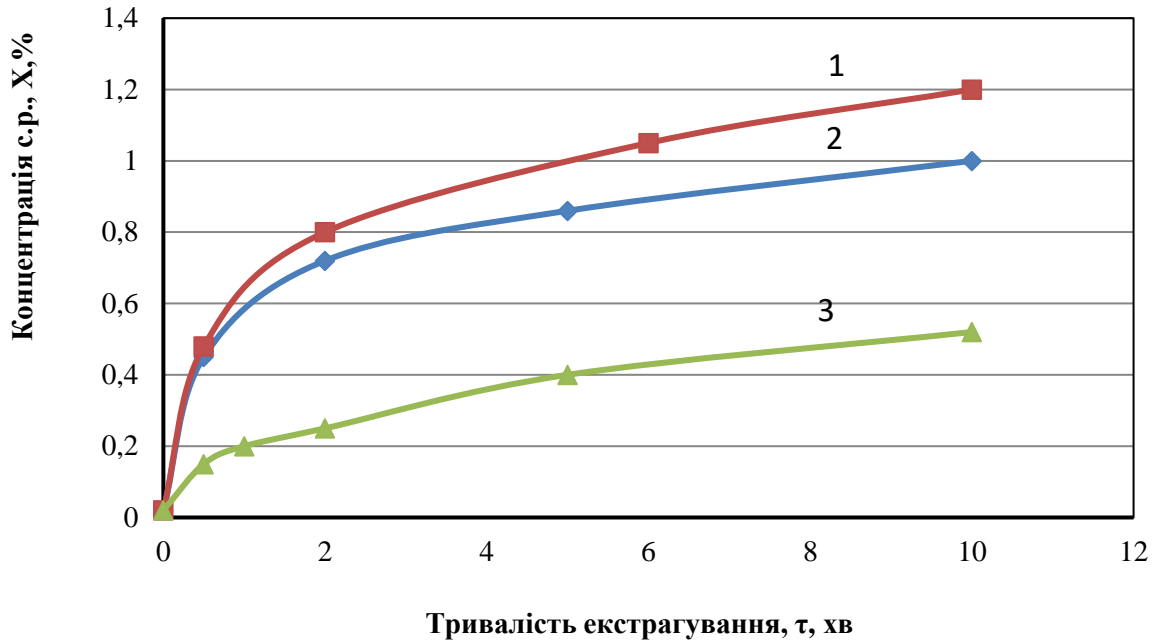


Рис. 3.12. Кінетика екстрагування плодів при попередній обробці їх у МХ полі.

Температура в досліді 1 досягала 80 °С, у досліді 2-70 °С, а в досліді 3 залишалася в межах 30 °С. За отриманим даними (рис. 3.12) розрахований ступінь підвищення концентрації екстракту (рис. 3.13).

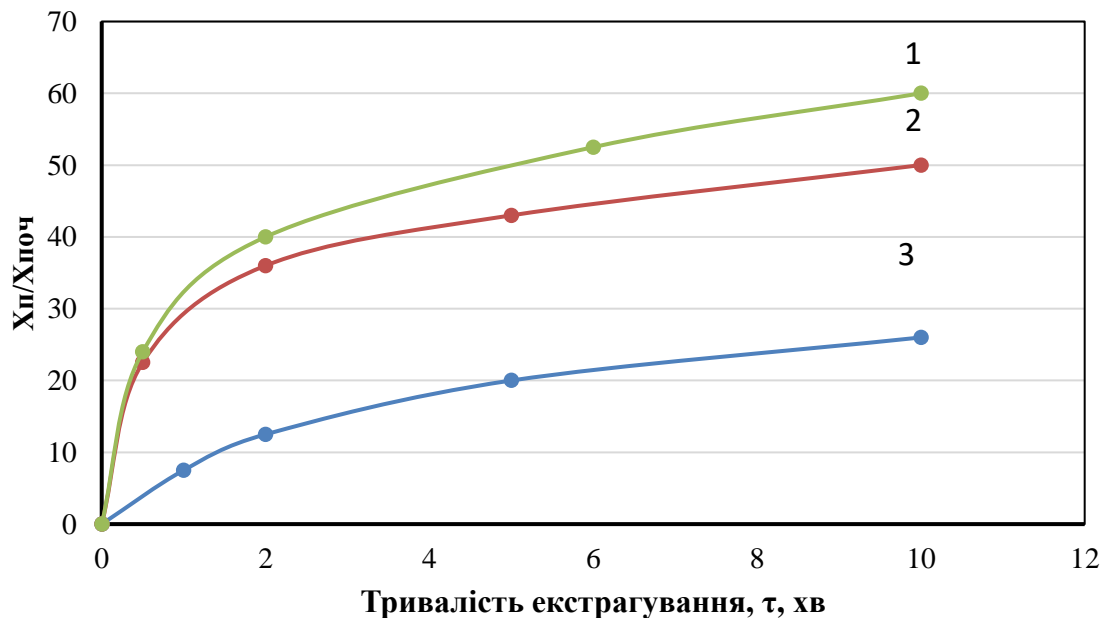


Рис. 3.13. Ступінь підвищення концентрації сухих речовин в екстракті.

У наступній серії дослідів збільшений час обробки плодів у МХ полі й час процесу екстрагування (3.14).

На рис.3.14 експериментальні лінії відповідають таким режимам обробки: 1 – $\tau=30$ с; 2 – $\tau=120$ с; 3 – $\tau=300$ с; 4 – $\tau=600$ с. Можна зробити вивід, що з підвищенням часу обробки плодів у МХ полі росте й вихід екстрактивних речовин.

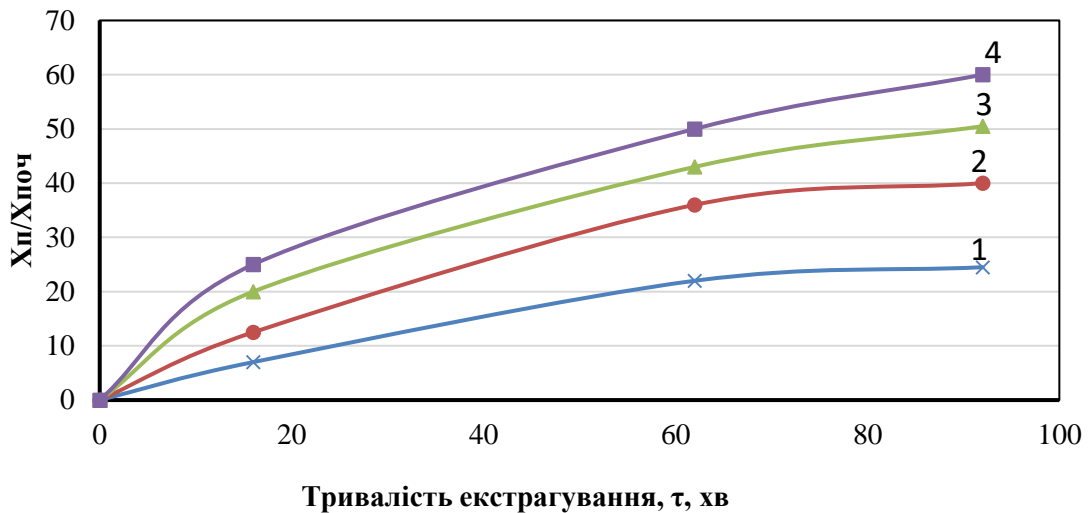


Рис.3.14. Ступінь підвищення концентрації екстракту при тривалому впливі МХ полі.

На рис.3.14 експериментальні лінії відповідають таким режимам обробки: 1 – $\tau=30$ с; 2 – $\tau=120$ с; 3 – $\tau=300$ с; 4 – $\tau=600$ с. Можна зробити вивід, що з підвищенням часу обробки плодів у МХ полі росте й вихід екстрактивних речовин. Однак залежність має експонентний характер, при цьому, очевидно лінійно ростуть енергетичні витрати. Тому, експериментальні дані оцінювалися по параметру j (рис. 3.15).

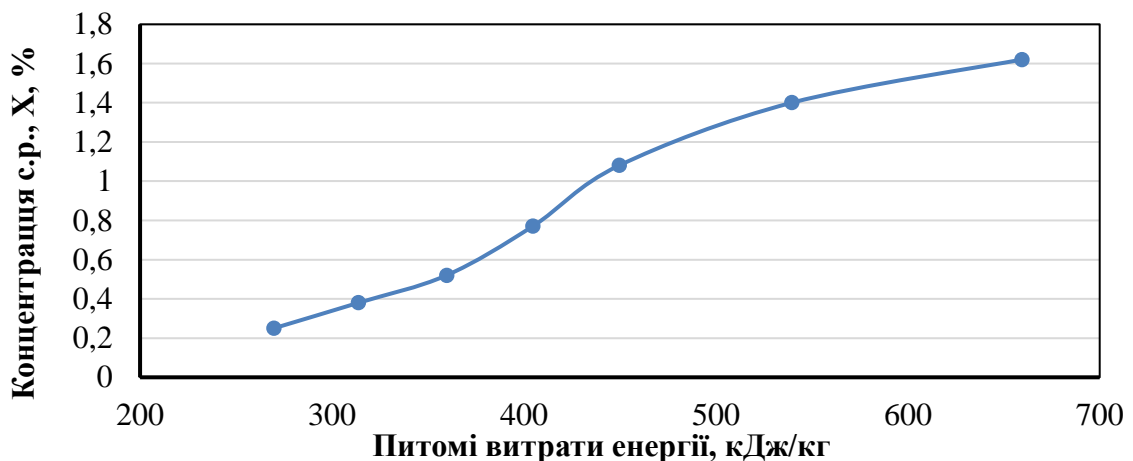


Рис. 3.15. Залежність росту концентрації екстракту від питомих витрат МХ енергії (тривалість екстрагування $\tau = 30$ с).

Проведена оцінка й ступеня підвищення концентрації екстракту залежно від питомих витрат енергії (рис. 3.16).

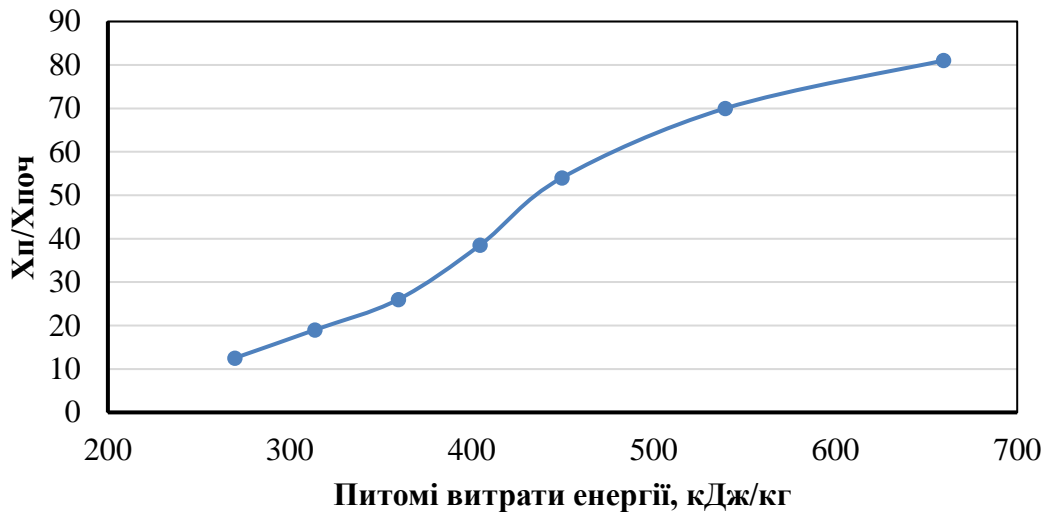


Рис. 3.16. Залежність росту ступеню концентрування екстракту від питомих витрат МХ енергії (тривалість екстрагування $\tau = 30$ с).

Аналіз результатів дослідів, представлених на рис. 3.14 – 3.16 дозволяє зробити висновок, що концентрація екстракту (рис.3.12), ступінь підвищення концентрації екстракту (рис.3.13, 3.14) підвищуються в часі, однак швидкість росту цих параметрів знижується. Аналогічний вплив мають і питомі витрати енергії (рис.3.15, 3.16).

Оскільки ріст параметра j пропорційний часу дії МХ поля (або споживаної магнетроном потужності), те однозначний вивід про економічну доцільність рівня енергетичного впливу зробити неможливо. У кожному конкретному режимі роботи необхідно проводити окремі оцінки. Ясно одне, що параметр j відбиває науково-технічне протиріччя МХ технологій екстрагування і є чинником оптимізаційних процедур.

Разом з тим, технології спрямованого дії, МХ технології при екстрагуванні із плодів шипшини є ефективним засобом інтенсифікації процесу. Ілюструється це порівнянням запропонованих технологій із традиційними (рис.3.17).

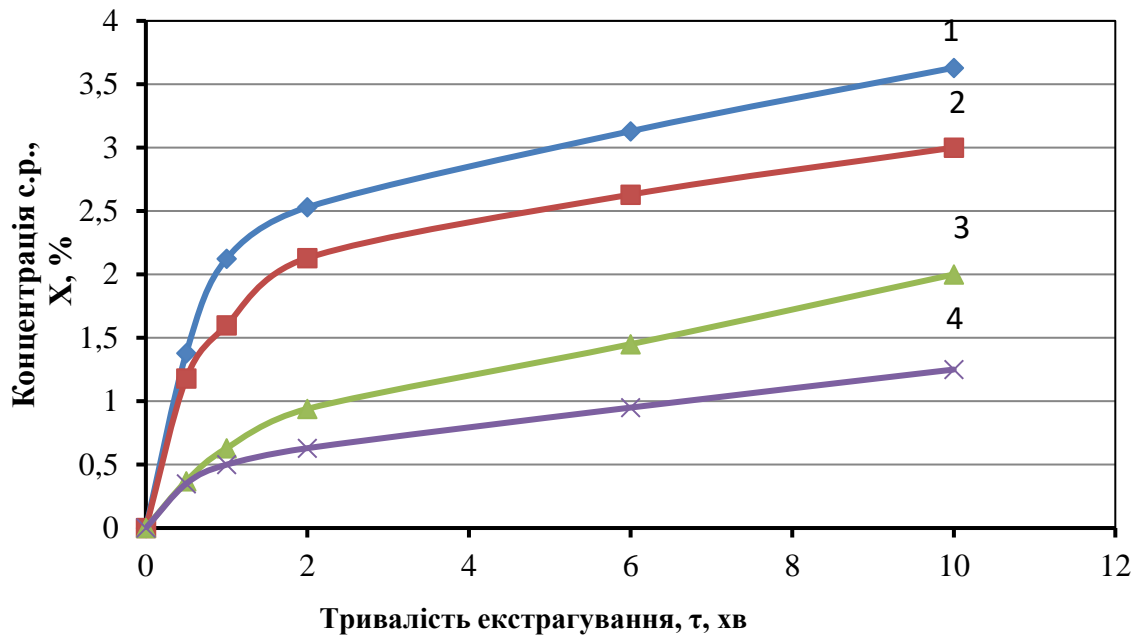


Рис. 3.17. Порівняння традиційних і МХ технологій екстрагування.

Для порівняння проведені досвіди з половинками плодів шипшини в нерухливому полі.

Досліджувалася традиційна технологія теплового екстрагування (стенд №1) і технологія МХ-екстрагування (стенд №2, рис. 3.11). Час попередньої обробки МХ-полем було різним, відповідно різними були й температури екстрагування.

Так, лінія 1 (рис.3.17) відповідала часу обробки $\tau = 1,5$ хв і температурі $t = 70-60^\circ\text{C}$. Лінія 2, відповідно, $\tau=1$ хв, $t = 60-30^\circ\text{C}$. Лінія 4, відповідно, $\tau=15$ з, а $t=20-17^\circ\text{C}$. Лінія 3 – це результати екстрагування на стенді №1, що відповідає режимам традиційних технологій.

Видно (рис. 3.17), що протягом усього експерименту використання МХ-поля інтенсифікує процес масопереносу в рази. Виключення становить режим (лінія 4), при якому секундна обробка не конкурувала із традиційною.

Видно, що можливо п'ятикратне підвищення виходу цільових компонентів у МХ-полі, у порівнянні з термічним способом при одному рівні температур.

3.7. Вплив циклів «залив - обробка» на кінетику процесів екстрагування

Окремий інтерес представляє питання визначення доцільних послідовних циклів «залив – обробка». Це теж може стати фактором оптимізації, який обґрунтовує припустиму частку втрат цільових компонентів зі шротом.

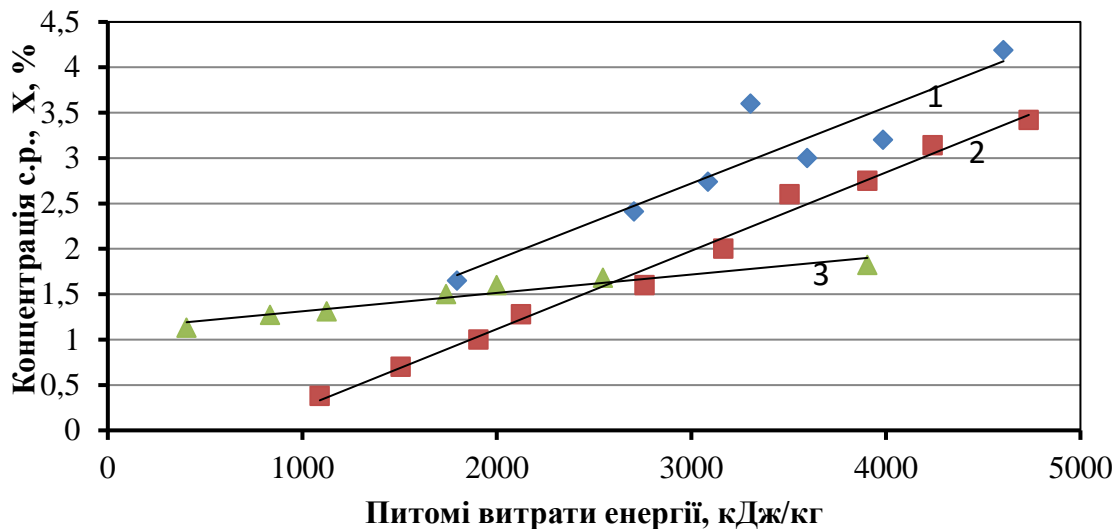


Рис. 3.18. Кінетика екстрагування з плодів шипшини в нерухомому шарі.

Тривалість екстрагування у всіх дослідах становила 20 хвилин, змінювався час роботи магнетрона. Лінії 1 і 2 відповідають першій затоці, а лінія 2 – другому. На основі результатів дослідів розраховані значення ступеня підвищення концентрації екстракту (рис. 3.19).

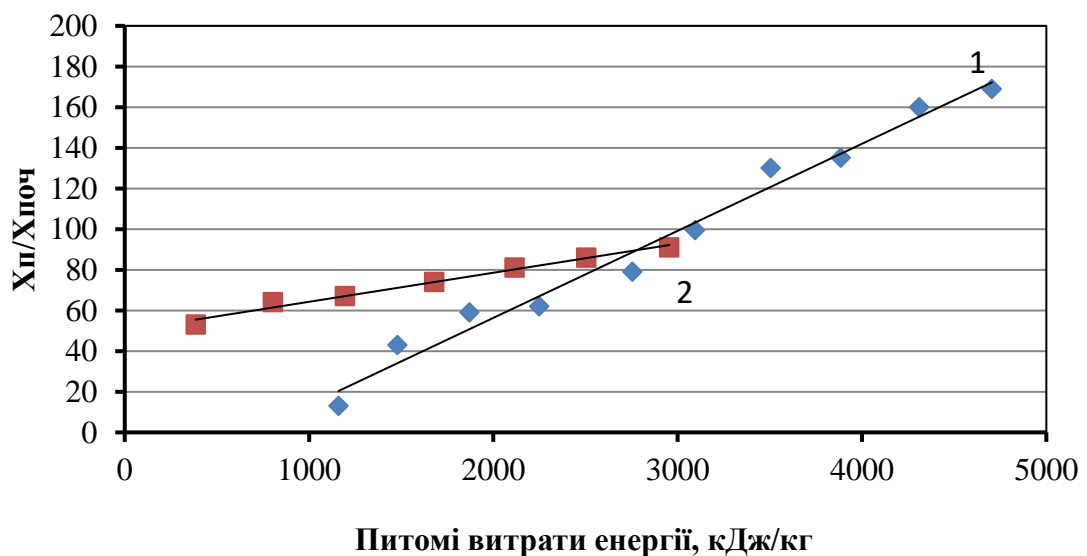


Рис. 3.19. Ступінь підвищення концентрації екстракту з половинок плодів шипшини при часі обробки 20 хвилин. 1– перший залив; 2 – другий залив.

Визначено інтенсивність масопереносу й при третьому заливі проекстрагованих плодів свіжим екстрагентом (рис. 3.20).

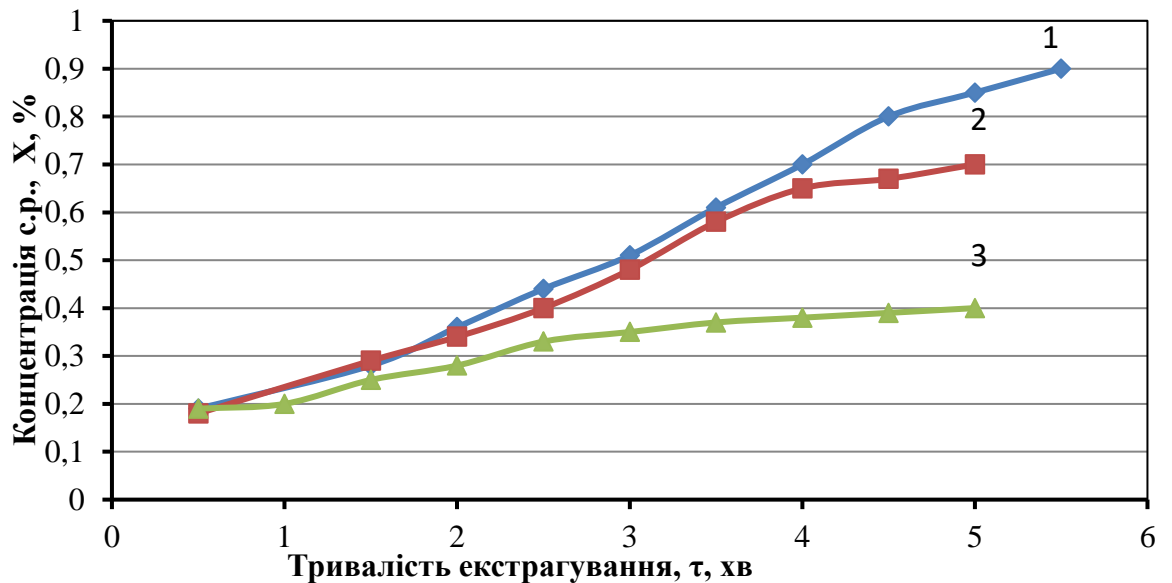


Рис. 3.20. Вплив числа заливів на кінетику екстрагування. 1- 1-й залив; 2 – 2-й залив; 3 – 3-й залив.

У дослідях (рис. 3.20) обробка велася половинок плодів шипшини в нерухомому шарі. Аналіз (рис. 3.18 - 3.20) свідчить, що, кожен наступний залив дає менший вихід екстрактивних компонентів. Так, інтенсивність масопереносу в другому заливі значно менше, концентрація знижується на 0,2 %, а при третьому – на 0,5 % (рис. 3.20).

Разом з тим результати (рис. 3.18-3.20) дозволяють вирішувати питання про економічну доцільність застосування наступних заливів збіднених плодів свіжим екстрагентом, тобто використання батарейних екстракторів. Факторами для оцінки є вартість сировини, тривалість процесу, енергетичні витрати.

3.8. Вплив швидкості потоку на кінетику процесів екстрагування

Досліди проводилися на стенді №3, витрата екстракту визначалася ваговим методом. У серії проведених дослідів концентрації екстракту визначалася по оптичній щільності за допомогою фотометра Spacol. Проведене порівняння результатів, отриманих у термостаті (стенд №1), і на стенді №3 (рис.3.21).

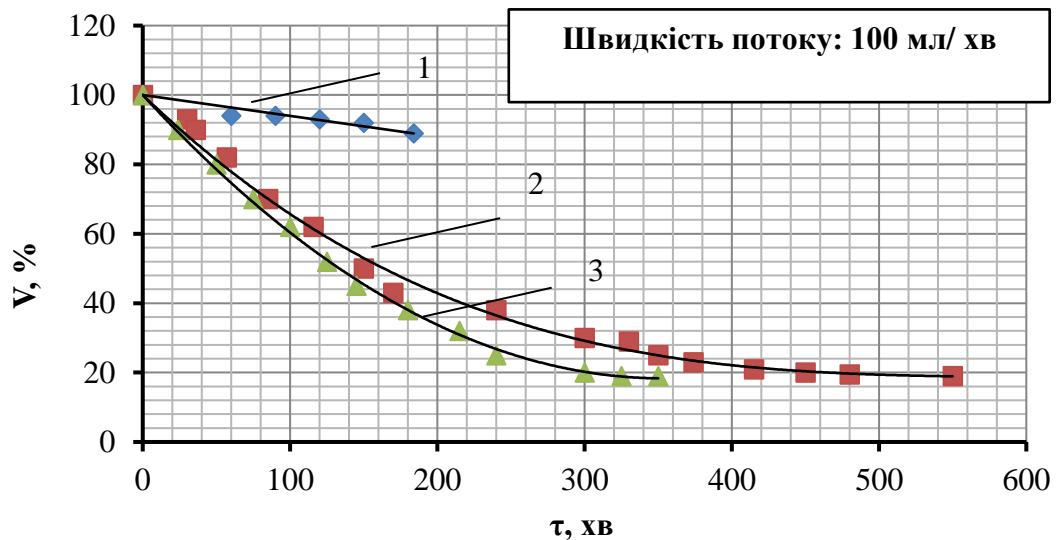


Рис. 3.21. Зміна оптичної густини екстрактів залежно від часу обробки: 1 – термостат цілі плоди; 2 – МХ-екстрактор цілі плоди; 3 – МХ-екстрактор половинки плодів.

У досліджах швидкість потоку не змінювалася, досліджувався вплив також і характеристик самого плода (цілі плоди і їх половинки). За значеннями оптичної щільності визначені відповідні концентрації сухих водорозчинних речовин в екстракті (рис.3.22).

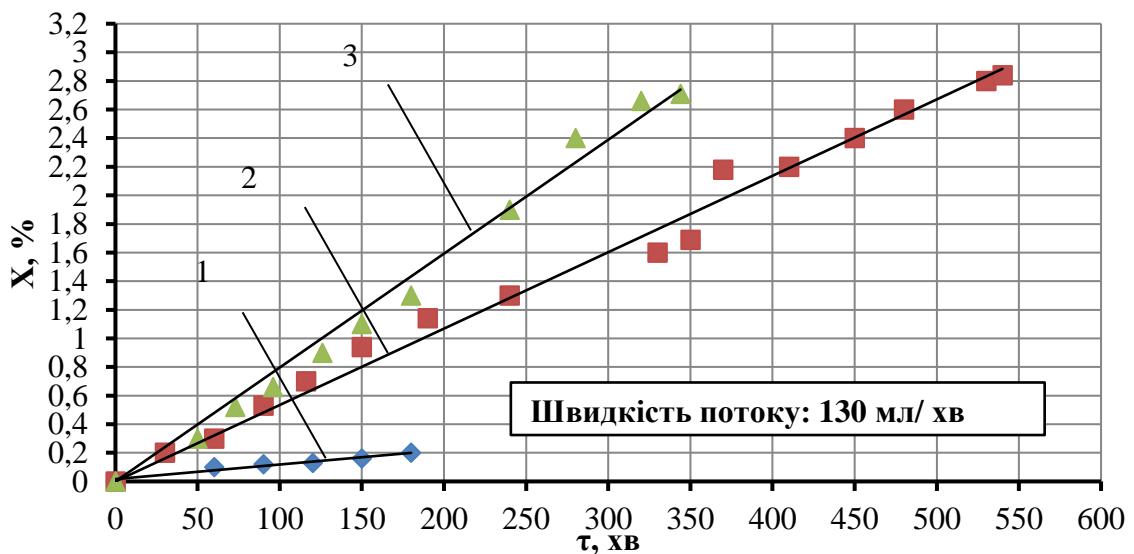


Рис. 3.22. Зміна концентрації від часу обробки й від розміру плодів: 1 – термостат цілі плоди; 2 – МХ-екстрактор цілі плоди; 3 – МХ-екстрактор половинки плодів

Видно (рис.3.22), що МХ екстрактор підвищує вихід екстрактивних речовин у порівнянні зі звичайним термостатуванням у декілька разів, при однакових значеннях температури.

Інтенсивність масовіддачі від половинок плодів помітно вище. Це можна пояснити наявністю щільної оболонки плодів шипшини, яка перешкоджає проникненню екстрагента усередину.

Тому, наступні експерименти проводилися тільки на половинках плодів. Дроблення плодів не проводилося, тому що в плодах шипшини втримується багато волокон.

При дрібному дробленні виникає проблема фільтрування екстракту, складніше визначати його щільність за допомогою оптичних приладів. Наступним питанням було встановити вплив витрати й швидкості потоку (рис.3.23).

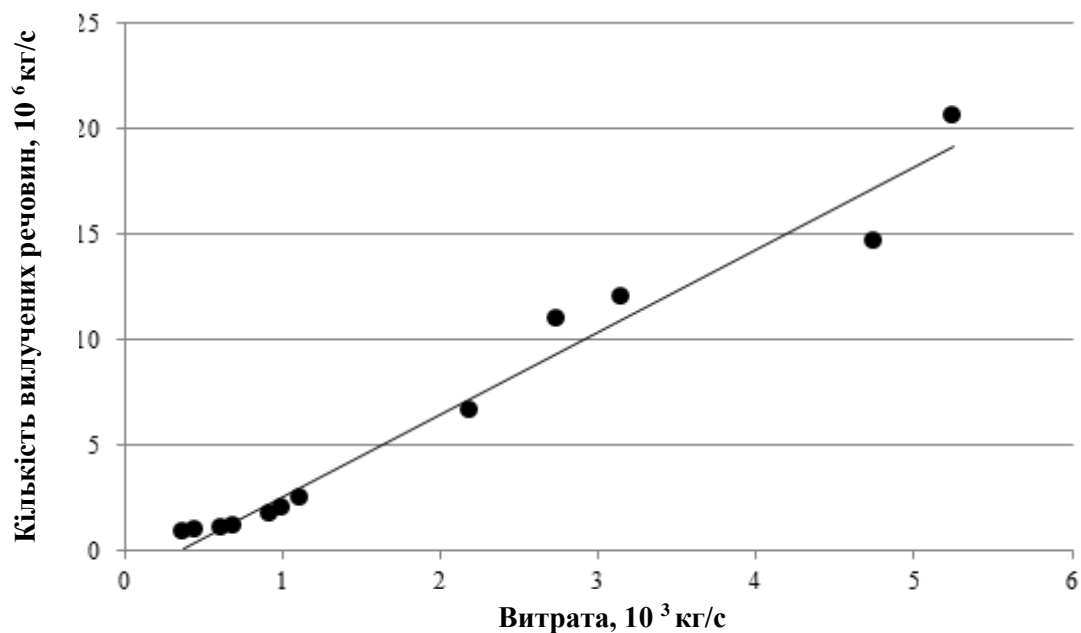


Рис. 3.23. Вплив витрати екстрагента на кінетику екстрагування.

Видно (рис.3.23), що інтенсивність екстрагування при збільшенні витрати в 5 разів росте в 10 разів. Обробка результатів дослідів установила залежність коефіцієнта масовіддачі від числа подоби Рейнольдса (рис.3.24).

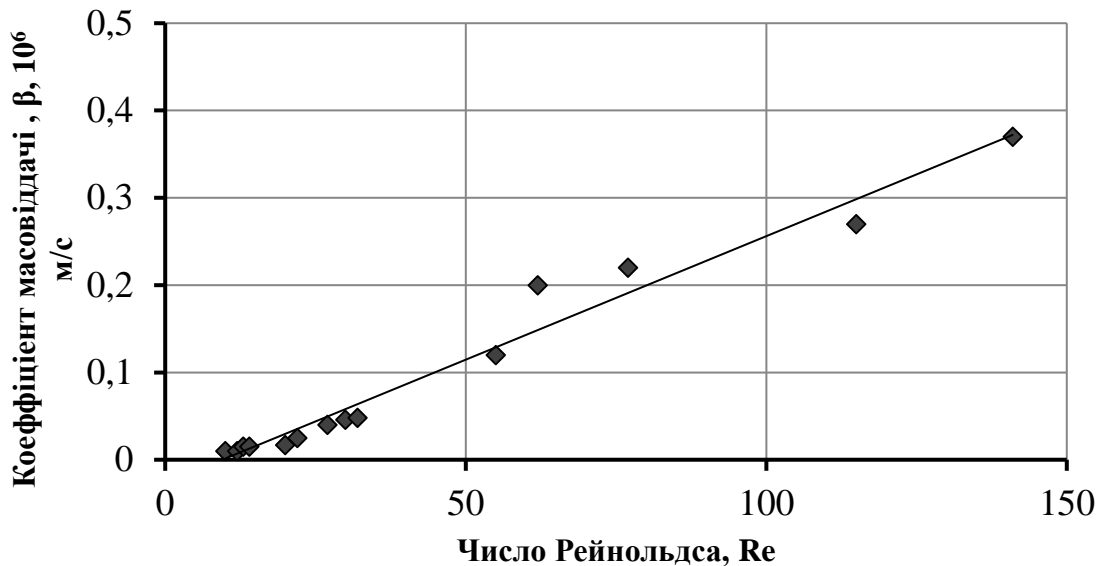


Рис.3.24. Залежність коефіцієнта масовіддачі від числа Re.

Встановлено (рис.3.23), що зі збільшенням витрати в 5 разів, вихід екстрактивних речовин росте практично на порядок. Режимми плин у шарі плодів були ламінарні.

Наступна серія експериментів проводилася в умовах вакууму.

3.9. Кінетика екстрагування із плодів шипшини в умовах вакууму й мікрохвильового поля

Проведення цієї серії дослідів пояснюється наступними положеннями:

По-перше, обробка плодів в умовах вакууму дозволить знизити температурні режими, що позитивно вплине на схоронність функціональних компонентів в екстракті.

По-друге, організація процесу масопереносу при низьких температурах дозволить підтримувати режим кипіння екстрагента в реакторі, що буде сприяти турбулізації шару, ефективному відновленню поверхні фазового контакту, а, отже, істотному підвищенню коефіцієнта масовіддачі.

Досліди проводилися на стенді (рис.3.25), основними елементами якого були мікрохвильова камера 1 з реакційним обсягом 2, який виконаний з радіопрозорого матеріалу.

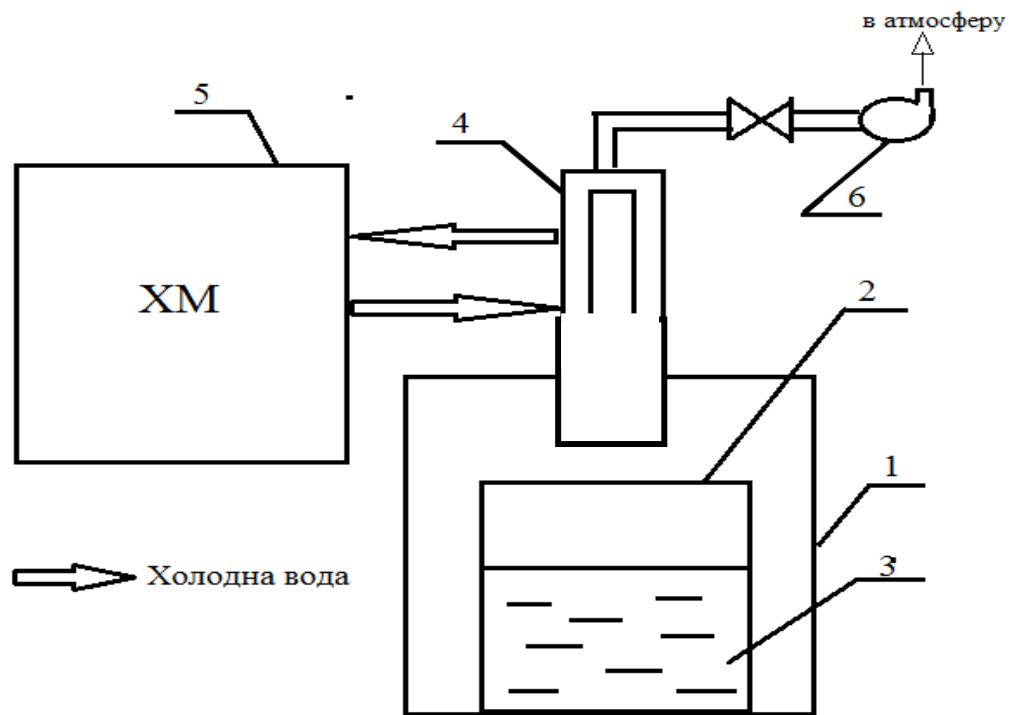


Рис. 3.25. Стенд із мікрохвильовим екстрактором.

Плоди й екстрагент 3 розташовано в обсязі 2, який паром повідомлений зі зворотним холодильником 4.

Після завантаження обсягу 2 система вакуумується і встановлюється режим роботи магнетрона.

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 відкачки системи, без включень вакуум-насоса.

На першому етапі проведено порівняння ефективності екстрагування в потоці без ЕМ поля й з ЕМ полем і з вакуумним мікрохвильовим екстрактором (рис. 3.26).

Досліди проводилися з половинками плодів шипшини при однакових температурних умовах.

Результати дослідів показані на рис.3.26 свідчать про те, що інтенсивність екстрагування у вакуумі підвищується в 5,5 разів.

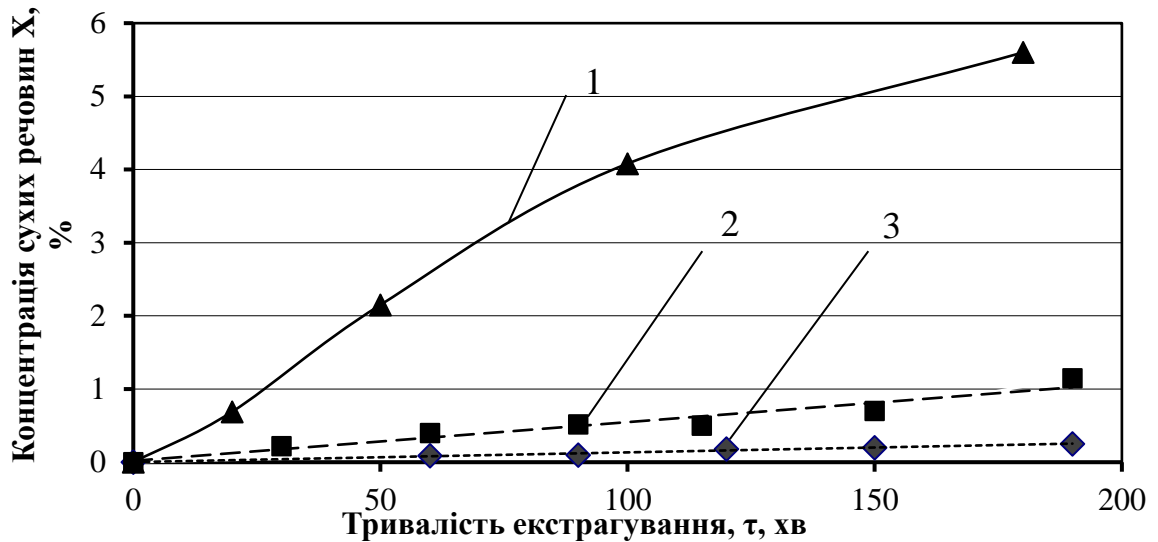


Рис. 3.26. Залежність зміни концентрацій сухих речовин від тривалості екстрагування для різних установок: 1 – МХ-екстрактор вакуум; 2 – МХ-екстрактор потік; 3 – без поля в потоці

Проведені експерименти з дослідження впливу режимних факторів на масоперенесення в умовах вакууму (рис.3.27) – (рис.3.29). Перший дослід показав вплив тиску на інтенсивність масовіддачі (рис.3.27).

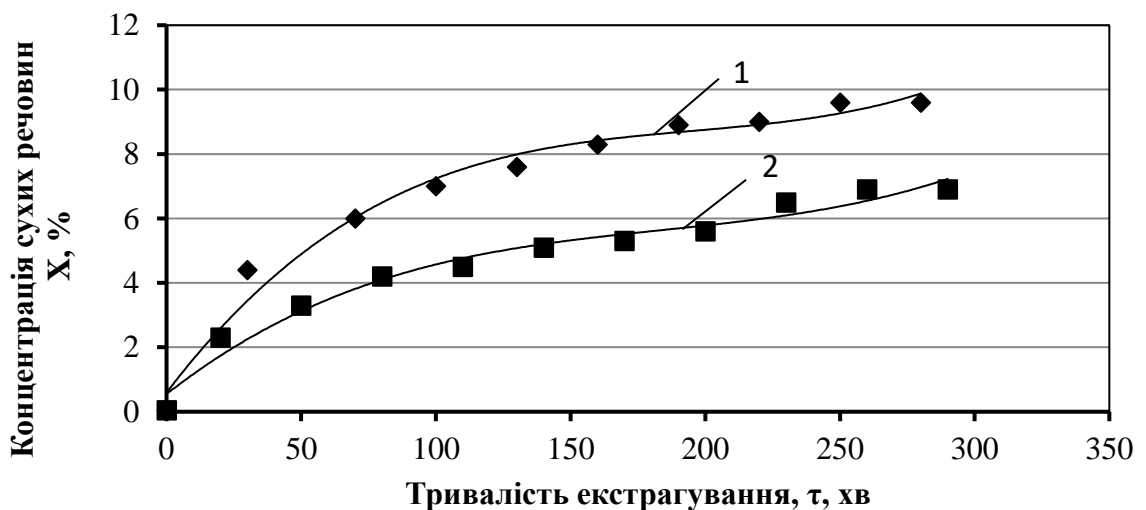


Рис. 3.27. Кінетика екстрагування у вакуумі. 1 – 15 кПа; 2 – 10 кПа

Видно, що з підвищенням тиску (тобто температури процесу) інтенсивність екстрагування росте. Наступний дослід проведений у більш широкому діапазоні тисків (рис.3.28, 3.29).

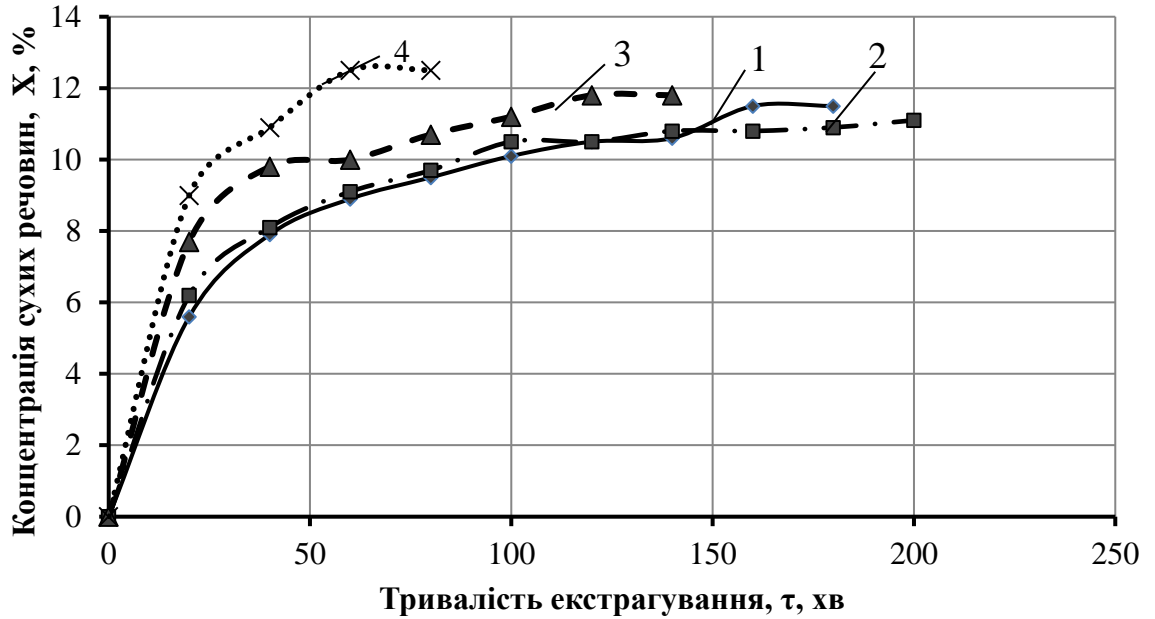


Рис. 3.28 Вплив тиску на кінетику екстрагування у вакуумному мікрохвильовому апараті. 1 – 15 кПа; 2 – 25 кПа; 3 – 30 кПа; 4 – 45 кПа

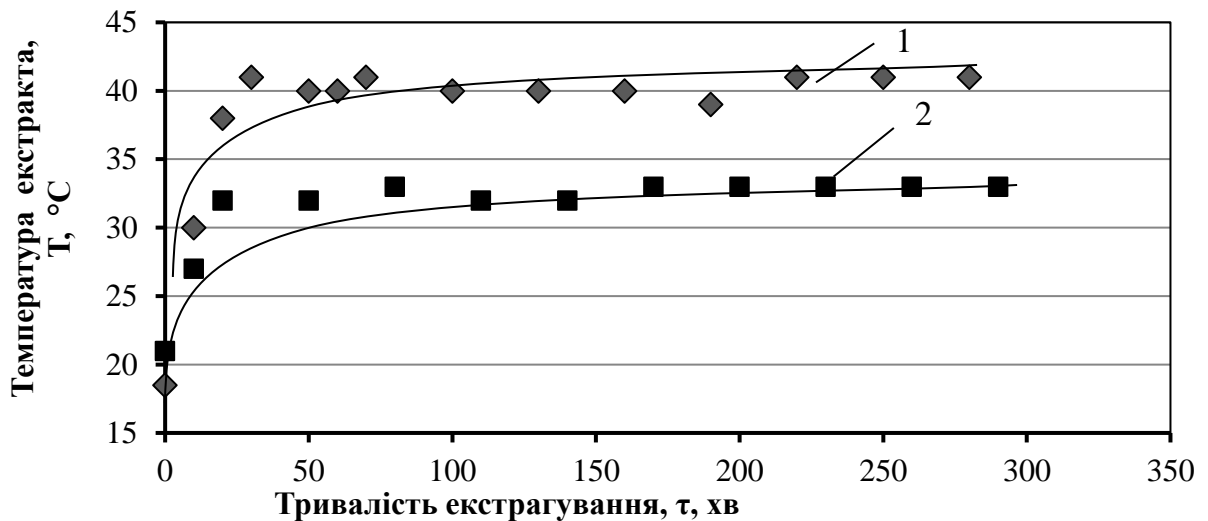


Рис. 3.29. Термограми при екстрагуванні у вакуумі. 1 – 15 кПа; 2 – 10 кПа

Аналіз (рис.3.27-3.28) показує вплив тиску в реакційному об'ємі, як на інтенсивність масопереносу при екстрагуванні, так і на температурні режими процесу, що визначає схоронність вітаміну С у екстракті. Результати відповідають на запитання, які критичні тиски в апарату припустимі.

Встановлено, що абсолютний тиск в апараті не рекомендується підвищувати вище, чим 15 кПа (рис. 3.28).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.

1. На кафедрі процесів, устаткування й енергетичного менеджменту була розроблена експериментальна установка – екстрактор, яка використовує енергію надвисокої частоти. У розділі показано, що мікрохвильові технології перспективні для переробки лікувальної рослинної сировини в процесах екстрагування. Безградієнтне підведення енергії до всього об'єму плодів дозволяє організувати м'які режими екстрагування, одержати якісний продукт при зниженні енергетичних витрат. Мікрохвильова технологія екстрагування гарантує продукт із більшим змістом функціональних компонентів, чому традиційні технології. Вона відповідає сучасним вимогам, пропонованим до фітопрепаратів.

2. Установлено, що дія мікрохвильового поля впливає на інтенсивність екстрагування більшою мірою, ніж температура. Використання мікрохвильового поля дозволяє в 5-10 разів підвищити інтенсивність масопереносу.

3. Досліджений вплив швидкості руху екстрагенту в циркуляційних схемах. Зі збільшенням витрати на $1 \cdot 10^{-3}$ кг/з, відповідно, росте й кількість компонентів, видобутих в екстракт, на $4,5 \cdot 10^{-6}$ кг/с.

3. Вихід цільових компонентів у вакуумному мікрохвильовому екстракторі проводиться при температурах 25-50 °С, тривалість процесу знижується в рази, а, іноді, і на порядок.

4. Процес екстрагування в мікрохвильовому полі ефективний і проходить при менших питомих витратах енергії, чому при конвекційному енергопідводі.

5. Використання мікрохвильових полів в умовах вакууму забезпечує інтенсивний масоперенос цільових компонентів із плодів шипшини при низьких рівнях температур. Ефективний масоперенос досягається завдяки

режимам активного кипіння екстракту у вакуумі при температурах 20-40 °С. Процес протікає при низьких питомих витратах енергії, що економічно вигідно.

6. М'які режими обробки плодів шипшини є передумовою одержання екстрактів високої якості, з високим вмістом вітаміну С.

РОЗДІЛ 4

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ

Встановити ефективність роботи апаратів для екстрагування дозволяє ефективний коефіцієнт масовіддачі, який зазвичай визначається експериментально. На його значення впливають, як конструктивні так і режимні параметри, технологічні умови ведення процесу.

Коефіцієнти масовіддачі можуть також визначатися аналітично, проте на базі математичної моделі для кожного конкретного апарату та продукту. Для мікрохвильового екстрактора при екстрагуванні плодів шипшини така математична модель відсутня.

У цьому розділі визначені значення коефіцієнту масовіддачі, отримана на основі експериментальних розрахунків математична модель. Підібрано методики інженерних розрахунків мікрохвильового вакуумного екстрактора. Запропоновано методи оптимізації процесу масопереносу в умовах мікрохвильового поля із плодів шипшини. Представлено технологічну лінію комплексної переробки плодів шипшини та визначено її економічні переваги.

4.1. Інженерні методики розрахунку та проектування вакуумних мікрохвильових екстракторів

При розробці екстракторів невід'ємними є етапи:

1. Формування вихідних передумов;
2. Побудова первинного алгоритму розрахунків кінетики масопереносу;
3. Оптимізація математичних моделей.

По-перше, необхідно узагальнити експериментальні бази даних, аби на їхній основі створити математичні моделі розрахунку екстрактора. У розділі 3 представлені експерименти із дослідження процесу кінетики масопереносу при екстрагуванні з плодів шипшини.

Проаналізувавши основні параметри, що характеризують екстрагування у вакуумному мікрохвильовому апараті конкретизовано параметричну схему (рис. 4.1).

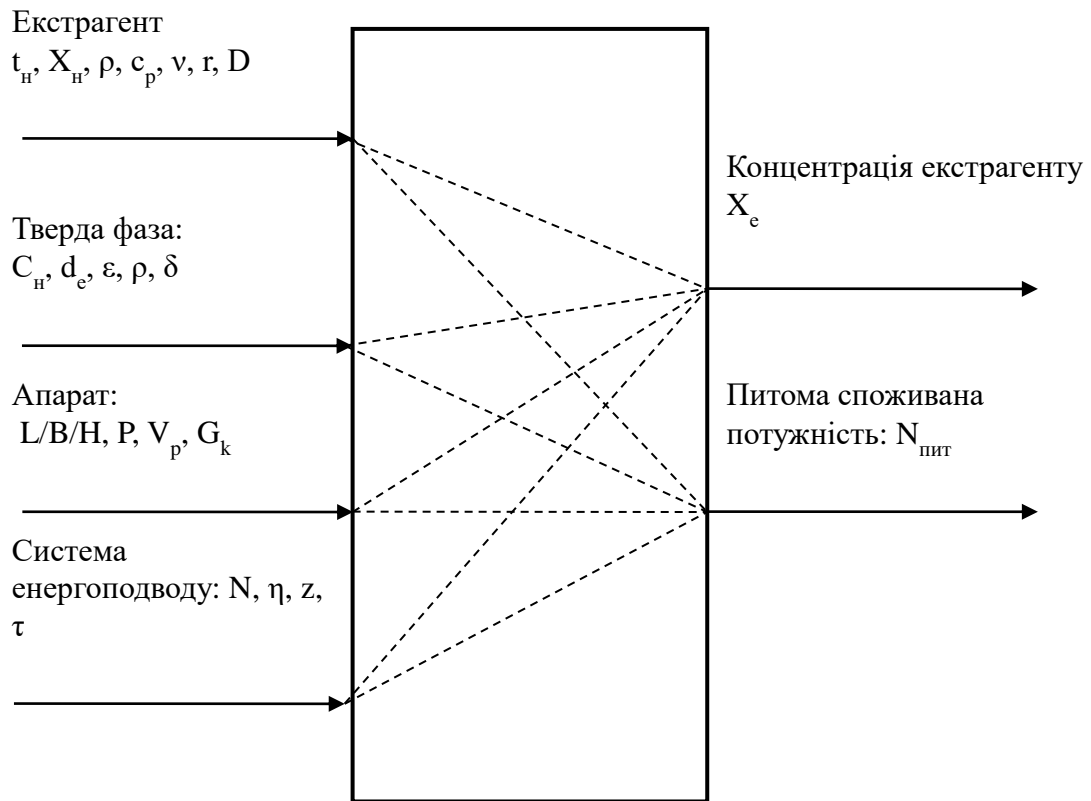


Рис. 4.1. Параметрична схема вакуумного мікрохвильового екстрактора.

При проектуванні важливі основні параметри мікрохвильового екстрактора, такі як концентрації екстрактивних речовин у твердій фазі (плодах шипшини) (C_n) і екстрагенті (X_n), температура екстрагенту (t) і тиск в апараті (P). Мають безпосереднє значення густина екстрагенту (ρ), теплоємність (c_p), в'язкість (ν), питома теплота фазового переходу (r) і коефіцієнт дифузії (D). Важливо враховувати параметри, що характеризують сировину (d_e), порізність шару (ϵ) і його товщину (δ). Важливо співвідношення екстрагенту та сировини – гідромодуль. Конструктивні особливості апарату представлені габаритними розмірами, обсягом реакційної зони (V_p) і масою завантаження твердої фази (G_k).

4.2. Узагальнення бази експериментальних даних

Експериментальні дослідження й узагальнення результатів проводилися за методиками, представленими у розділі 2.

Проведено серію експериментів, під час яких при різній інтенсивності впливу мікрохвильового поля в умовах розрідження ($P=20\dots50$ кПа) досліджена кінетика екстрагування водорозчинних речовин (рис. 4.2).

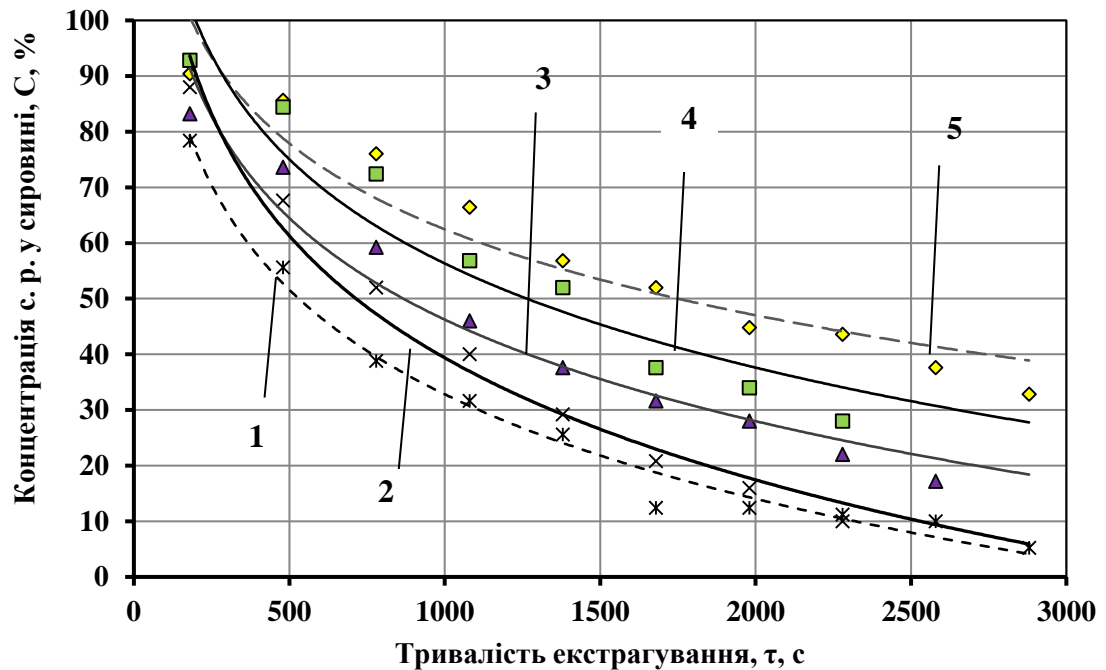


Рис. 4.2. Кінетика екстрагування у ВМХЕ при різній інтенсивності впливу поля: 1 – 1024 Вт; 2 – 682 Вт; 3 – 512 Вт; 4 – 273 Вт; 5 – 136 Вт.

Можна відмітити, що із зростанням інтенсивності впливу підвищується ефективність використання твердої фази. Проте, опиратися лише на ці значення неможна при визначенні ефективності процесу.

Важливо контролювати температуру, оскільки за температур понад $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ руйнується аскорбінова кислота, яка є цільовим компонентом при екстрагуванні з плодів шипшини. За допомогою пірометра випромінювання визначалася температура екстракту в камері екстрактора. За даними експерименту побудовані термограми (рис. 4.3).

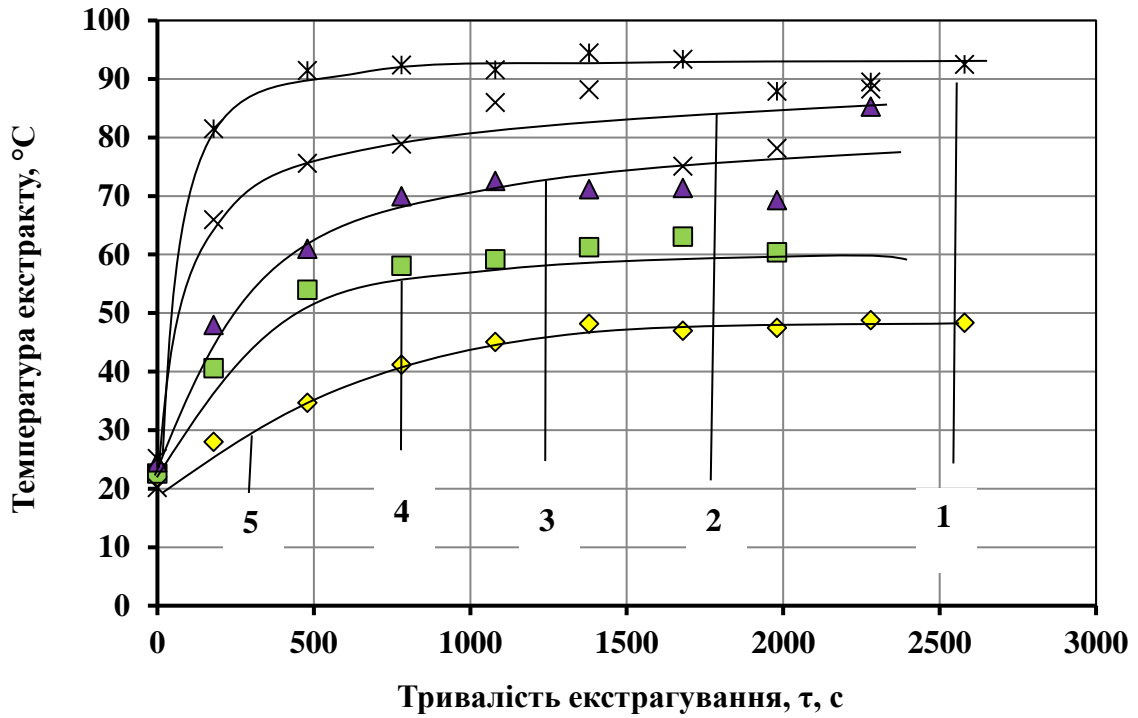


Рис. 4.3. Термограма при екстрагуванні у ВМХЕ при різній інтенсивності впливу поля: 1 – 1024 Вт; 2 – 682 Вт; 3 – 512 Вт; 4 – 273 Вт; 5 – 136 Вт.

За рівнянням матеріального балансу визначена кінетика виснаження твердої фази (рис. 4.4).

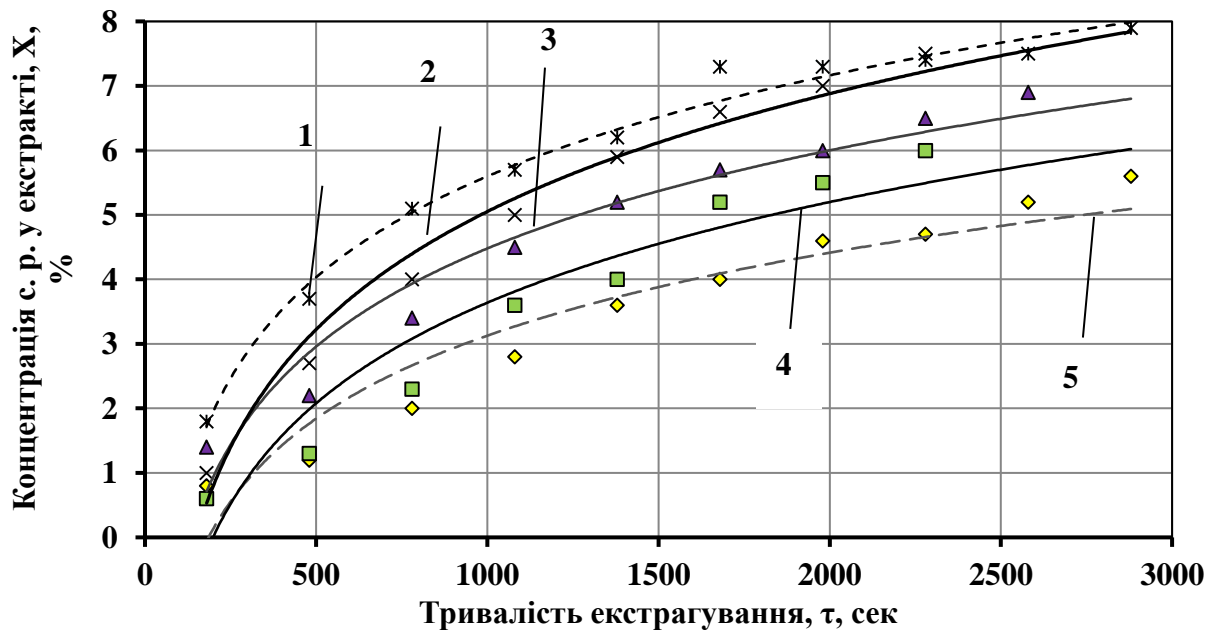


Рис. 4.4. Кінетика виснаження твердої фази при екстрагуванні у ВМХЕ при різній інтенсивності впливу поля: 1 – 1024 Вт; 2 – 682 Вт; 3 – 512 Вт; 4 – 273 Вт; 5 – 136 Вт.

Отримані дані експериментальних залежностей оброблені за допомогою програмного пакету Microsoft Excel для визначення значень відповідних коефіцієнтів масовіддачі. Значення коефіцієнта β для умов проведених дослідів представлений на рис. 4.5.

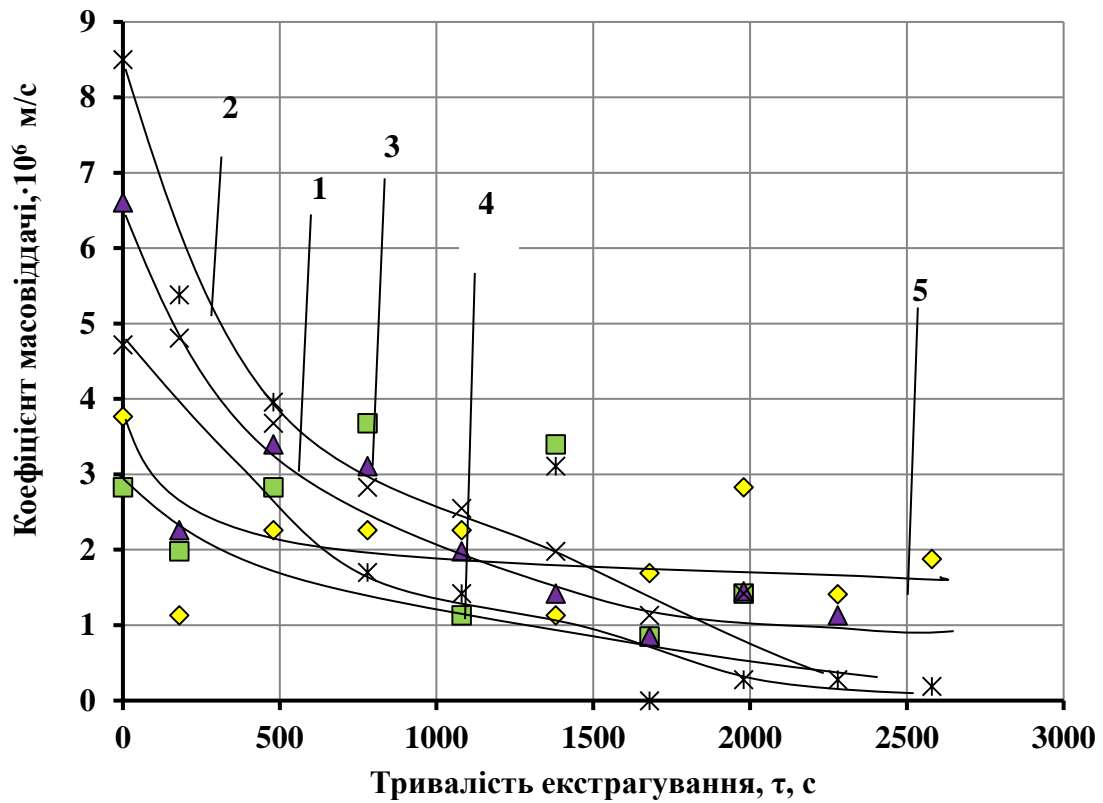


Рис. 4.5. Зміна коефіцієнта масовіддачі при екстрагуванні у ВМХЕ при різній інтенсивності впливу поля. 1 – 1024 Вт; 2 – 682 Вт; 3 – 512 Вт; 4 – 273 Вт; 5 – 136 Вт

Нелінійність отриманої характеристики пояснюється, як незначними помилками при знятті даних, що при розрахунках мають тенденцію до мультиплікування. Тобто, накладаються помилки при визначенні температури, концентрації екстракту, інтервалів часу. По-друге, імовірно мають місце сплески підвищення концентрації екстракту, викликані бародифузійними ефектами. При виході порції екстрагенту з капіляру разом із бульбашкою пари може спостерігатися різке підвищення концентрації. Також, мають місце перепади тиску, через необхідність розгерметизування камери екстрактору для

відбору проби.

При обробці результатів дослідів визначені числа Sc , Bu , Π встановлені для класичних задач масообміну, описані в літературі [1-6]. У такий же спосіб оброблені результати експериментів для визначення впливу потужності мікрохвильового поля (табл. 4.1.).

Таблиця 4.1

Розрахунки значень чисел подоби

$X, \%$	$Sc \cdot 10^{-3}$	$Bu \cdot 10^8$	$\Pi \cdot 10^2$
0,2	4,56	0,98	1,02
0,3	4,69	0,66	1,02
0,28	4,71	0,75	1,02
0,21	4,59	0,73	1,02
0,42	4,84	2,75	3,67
0,43	4,27	2,45	3,67
0,41	4,86	2,82	3,67
0,47	4,87	2,36	3,67
1,5	5,69	1,28	1,87
1,51	5,98	1,27	1,87
0,92	2,58	2,03	1,87
0,73	2,13	2,88	1,87
1,91	1,98	1,24	0,65
1,45	1,65	2,05	0,65
1,72	1,36	1,87	0,65
1,01	1,28	2,99	0,65
2,17	1,12	1,91	0,38
1,74	0,99	2,29	0,38
1,71	1,32	2,13	0,38
1,99	2,01	2,16	0,38

Визначені константи при числах Sc , Bu , Π .

$$P = P/P_0 \qquad Nu = A Bu^n Sc^m \Pi^p \qquad (4.1)$$

$$Nu = 0,035 \cdot Bu^{0,4} \cdot Sc^{0,43} \cdot \Pi^{0,35} \qquad (4.2)$$

Отримане рівняння (4.2) дозволяє сформулювати алгоритм розрахунків мікрохвильових екстракторів.

4.3. Інженерні методики розрахунку мікрохвильових вакуумних апаратів

4.3.1. Порядок складання інженерної методики. Інженерна методика орієнтується на принципи перевірочних розрахунків [7] і може використовуватися, як для оцінки експлуатаційних характеристик конкретної конструкції, так і в розв'язку задач варіантної оптимізації. Метою розрахунків є:

- основні кінетичні залежності зміни концентрації цільового компонента;
- питомі витрати енергії в процесі екстрагування.

Розрахунки проводяться для конкретної комбінації конструктивних і режимних параметрів.

Вихідними даними для розрахунків є:

- тип екстрагента, сировини, технологічні регламентації по їхній обробці (температури, тиску), значення початкової й кінцевої концентрації цільових компонентів в екстракті й у плодах шипшини;
- теплофізичні характеристики екстрагенту: кінематичний коефіцієнт в'язкості (ν), щільність (ρ_e), теплопровідність (λ_e), температуропровідність (a_e), теплоємність (c_p);
- теплофізичні характеристики сировини: щільність (ρ_s), теплопровідність (λ_s), температуропровідність (a_s), теплоємність (c_p);
- об'єм сировини, що переробляється (V_s);
- об'єм реакційної камери (V_k), її діаметр (d_k);
- параметри зворотного холодильника: площа поверхні конденсації пари (F_x); витрата (G_x) і температура охолоджуваної води (t_x);
- коефіцієнт дифузії (D) основного компонента системи «сировина - екстрагент».

Варіюваними параметрами є:

- гідромодуль (V_p / V_s) і розмір сировини (d_s);
- тиск (P_a) і об'єм завантаження реакційного об'єму (V_s);
- потужність (N) і (η) генератора.

Сформульовані положення є основою для побудови алгоритму розрахунків поточних значень: концентрації екстракту й питомих витрат енергії.

4.3.2. Порядок розрахунків мікрохвильового екстрактора. Задля визначення послідовності операцій розрахунків значень концентрації екстракту й питомих витрат енергії за обраної комбінації параметрів необхідно:

- По-перше, за заданим тиском в екстракторі визначати температуру процесу (t), за якою знаходять відповідні до моделей теплофізичні властивості.

- По-друге, розраховуються числа подоби й безрозмірні параметричні комплекси. Ключовим в алгоритмі є критеріальне рівняння (4.1), з якого обчислюється коефіцієнт масовіддачі (β).

- По-третє, на основі матеріальних балансів знаходять концентрації в сировині (C_c). При цьому, слід враховувати всі визначальні фактори, які формують поля концентрацій як у рідкій, так і у твердій фазах (рис. 4.6).

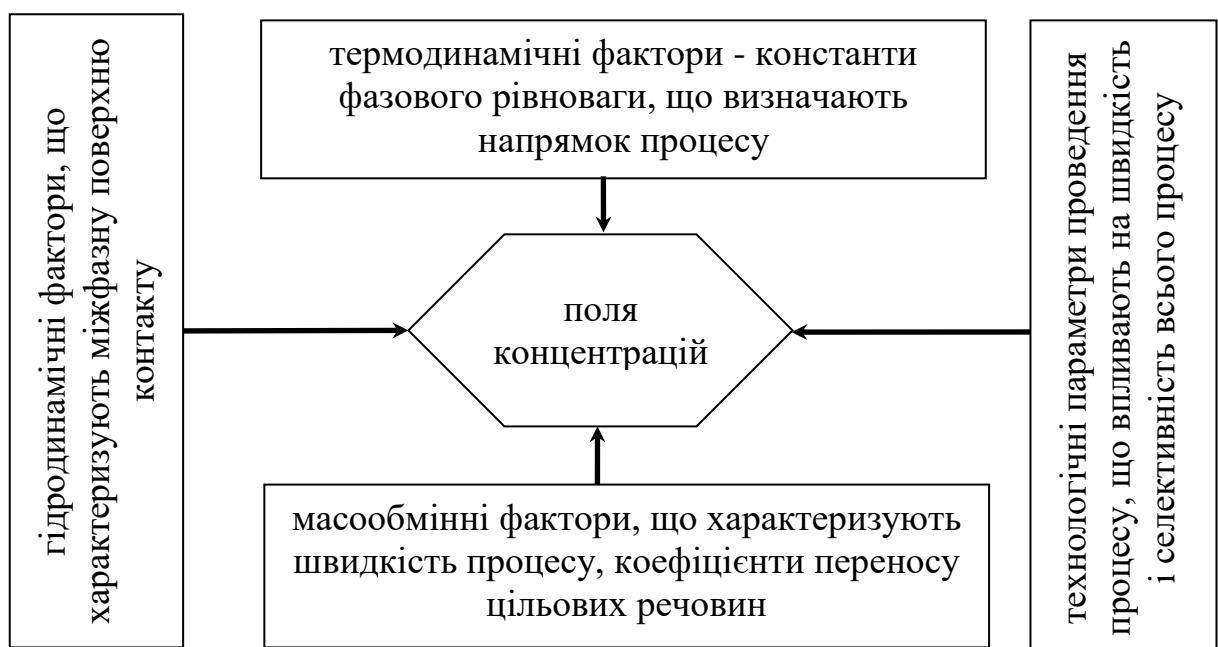


Рис. 4.6. Фактори, що визначають процес масопереносу.

Виходячи з факторів (рис. 4.6) і загальних принципів побудови алгоритмів [2, 7] визначимо порядок розрахунків вакуумних мікрохвильових екстракторів. Послідовно проводяться:

- розрахунки теплофізичних характеристик розчину;
- розрахунки умов фазової рівноваги;
- розрахунки гідродинамічних характеристик апарата;
- розрахунки матеріальних балансів екстрактора;
- розрахунки енергетичних балансів екстрактора;
- розрахунки кінетики масопереносу;
- розрахунки концентрацій екстракту й твердої фази;
- розрахунки економічних параметрів апарата.

На друк виводяться: значення концентрацій екстракту й твердої фази, температур і тисків в апарату; потужність мікрохвильового генератора, час процесу, коефіцієнт масовіддачі, продуктивність, енергетичні й економічні параметри.

4.3.3. Узагальнена структура розрахунків мікрохвильового вакуумного апарату. Відповідно до наведеного порядку складено алгоритм розрахунків вакуумного мікрохвильового екстрактора для обробки плодів шипшини (рис. 4.7).

Розрахунки й аналіз статичних моделей процесу проводяться на першому етапі. Це умови фазових рівноваг для даних температур і тисків, граничні значення концентрацій екстракту. У результаті встановлюється рушійна сила процесу.

Далі базуючись на законах збереження маси й енергії, складаються матеріальні й енергетичні баланси. Наступним етапом є розрахунки кінетичної моделі. У результаті визначається швидкість протікання масопереносу, тобто коефіцієнт масовіддачі.

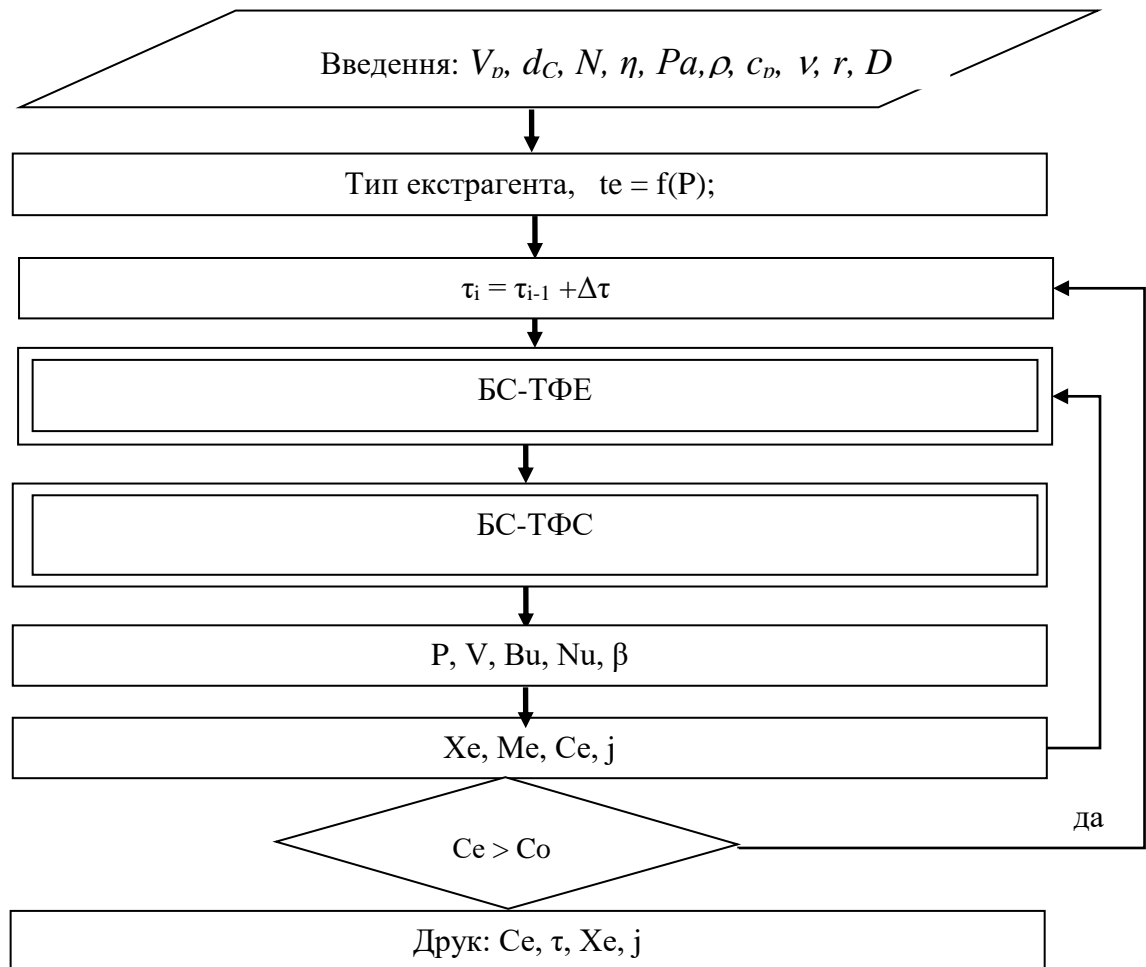


Рис.4.7. Узагальнена структура розрахунків мікрохвильового екстрактора.

За співвідношенням масовіддачі та значеннями коефіцієнта масовіддачі, рушійної сили й площі поверхні фазового контакту визначається потік маси цільового компонента, що дозволяє коректувати концентрації екстракту й плодів.

Алгоритм передбачає внутрішній ітераційний цикл. У блоці порівняння проводиться аналіз поточної концентрації цільових компонентів у плодах. Якщо ця концентрація менше припустимого значення встановлених втрат зі шламом, то розрахунки вважається закінченим. А якщо ні, то проводиться наступний цикл розрахунків. Аналіз процесу за величиною рушійної сили по твердій фазі є практично більш зручним, ніж по екстракту. Для значень об'єму плодів, розмірів реакційного обсягу робочого тиску й потужності системи

енергозабезпечення визначаються: тривалість процесу, концентрації цільового компонента в екстракті й у плодах.

Самостійних обговорень вимагають блок-схеми (ТФС) і (ТФЕ) з розрахунку теплофізичних властивостей (рис. 4.7).

4.3.4. Порядок розрахунків теплофізичних характеристик. Для обробки бази експериментальних даних необхідні значення наступних теплофізичних характеристик: густини ρ , питомої теплоємності c_p , в'язкості ν , питомої теплоти пароутворення r , і коефіцієнта дифузії D для досліджуваної системи. Усі ці параметри в загальному випадку залежать від температури, тиску P і вмісту сухих речовин X у екстракті.

Порядок розрахунків параметрів екстракту шипшини наступний. За поточними значенням температури (t_n) і концентрації (X_n) екстракту (екстрагента) розраховуються теплофізичні константи. Оскільки екстрагент і екстракт є слабо концентрованими розчинами те рекомендуються наступні співвідношення [3].

Густина екстракту

$$\rho = 1000 + 490,4 \cdot \frac{X}{100} - \left(0,646 + 0,354 \cdot \frac{X}{100} \right) \cdot t \quad (4.6)$$

Питома теплоємність екстракту

$$c_p = 4,187 - (27,29 - 9,37 \cdot t) \cdot X \cdot 10^{-3} \quad (4.7)$$

Питома теплота фазового переходу

$$r = 2470,7 - 1,66 \cdot t - 0,48 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 \quad (4.8)$$

Коефіцієнт дифузії

$$D(t) = (1,968 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3,702 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 3,759 \cdot 10^{-3} \cdot t + 0,099) \cdot 10^{-9} \quad (4.9)$$

$$C = C_{max} - \frac{V_P \cdot \rho \cdot X}{G} \quad (4.10)$$

У (4.10) від початкової (максимальної) концентрації цільових компонентів (C_{max}) віднімається кількість перенесених до екстракту речовин. При цьому реакційний об'єм екстракту V_P , його концентрація X , щільність ρ , а маса плодів G . За знайденим значенням C й поточній температурі t можна знайти значення рівноважної концентрації в розчині [6]

$$X_P = 100 \cdot 10^{0,8 \frac{C}{100} - (31,023 (\frac{293-T}{293})^3 - 13,95 (\frac{293-T}{293})^2 + 0,74 (\frac{293-T}{293}) + 1,17)} \quad (4.11)$$

Алгоритм розрахунків теплофізичних параметрів екстракту представлений на рис. 4.8.

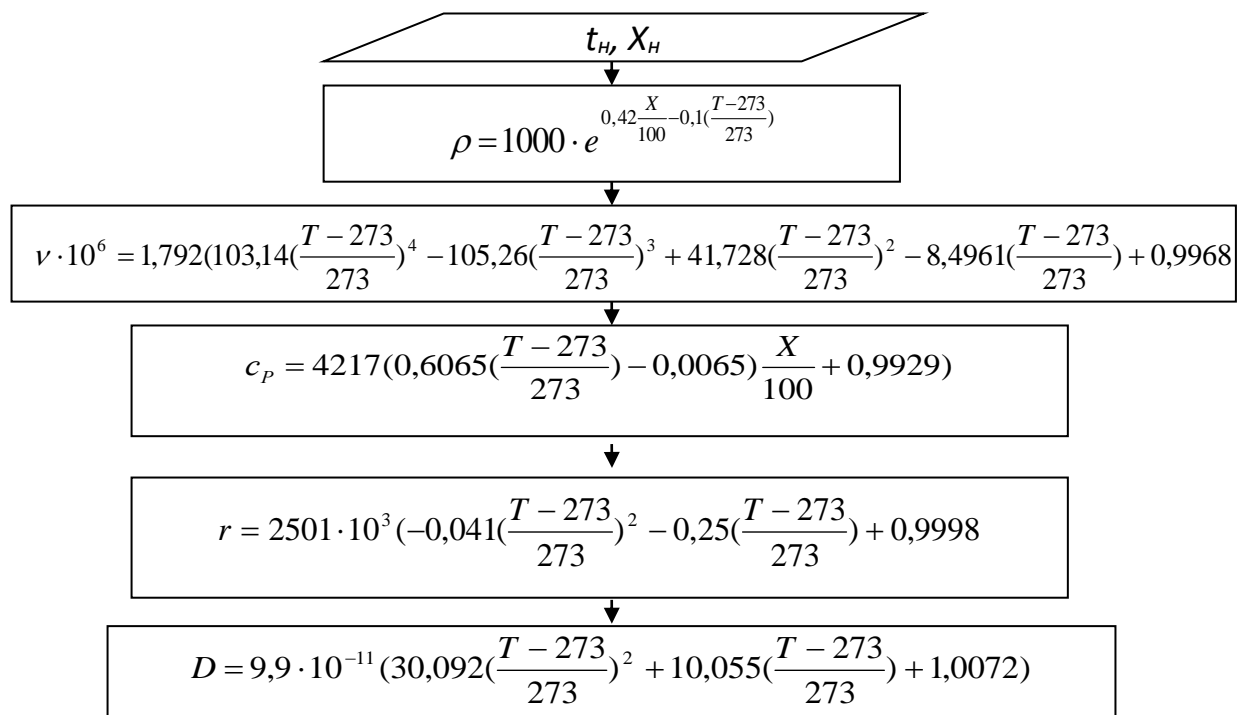


Рис. 4.8. Блок-схема розрахунків теплофізичних характеристик екстракту.

У блок-схемі (рис.4.8) співвідношення використані по рекомендаціях [3, 6].

4.3.5. Порядок розрахунків матеріальних і енергетичних балансів екстрактора. Розрахунки концентрацій не витягнутих із плодів цільових компонентів виконуються на основі матеріальних балансів з урахуванням гідромодуля. Вплив електромагнітного поля враховується числом енергетичної дії, числом V_e , яке встановлює співвідношення величини витраченої електромагнітної енергії, і енергії базового процесу. Такою базовою енергією в процесі екстрагування для вакуумного екстрактора зручно вважати ту енергію, яка необхідна для переходу в парову фазу всієї вологи, яка втримується в екстрагенті [2]. Для циркуляційних схем енергією базового процесу рекомендується вважати [3] ту енергію, яка потрібно для перетворення в пару всього розчину, який проходить через екстрактор. У дослідженнях [2-7] показано, що число V_e може характеризувати не тільки рівень енергетичного впливу, але й чітко відбиває відповідну гідродинамічну ситуацію в екстракторі. По числу V_e можна судити їсти чи в обсязі плодів турбулізація потоку, викликана переходом у режим кипіння, тобто зростання коефіцієнта β_e . Результати енергетичного балансу використовуються для оцінки важливого показника процесу – питомих витрат енергії на екстрагування.

4.3.7. Порядок розрахунків інтенсивності масопереносу при екстрагуванні з плодів шишини. Інтенсивність масопереносу при екстрагуванні в мікрохвильовому полі визначається ефективним коефіцієнтом масовіддачі β_{ef} . Загальний алгоритм розрахунків інтенсивності масопереносу при екстрагуванні наведений на рис. 4.9.

Цей коефіцієнт враховує сумарний ефект масопереносу за рахунок внеску різних рушійних сил, що виникають у системі «плоди – екстрагент – мікрохвильове поле». При розрахунках β_{ef} враховується безрозмірна проникність шару плодів (параметричний комплекс Π), рівень мікрохвильового

впливу (число Bu) і безрозмірний тиск в апарату (параметричний комплекс P). Коефіцієнт $\beta_{эф}$ знаходиться з числа Нуссельта (4.5).

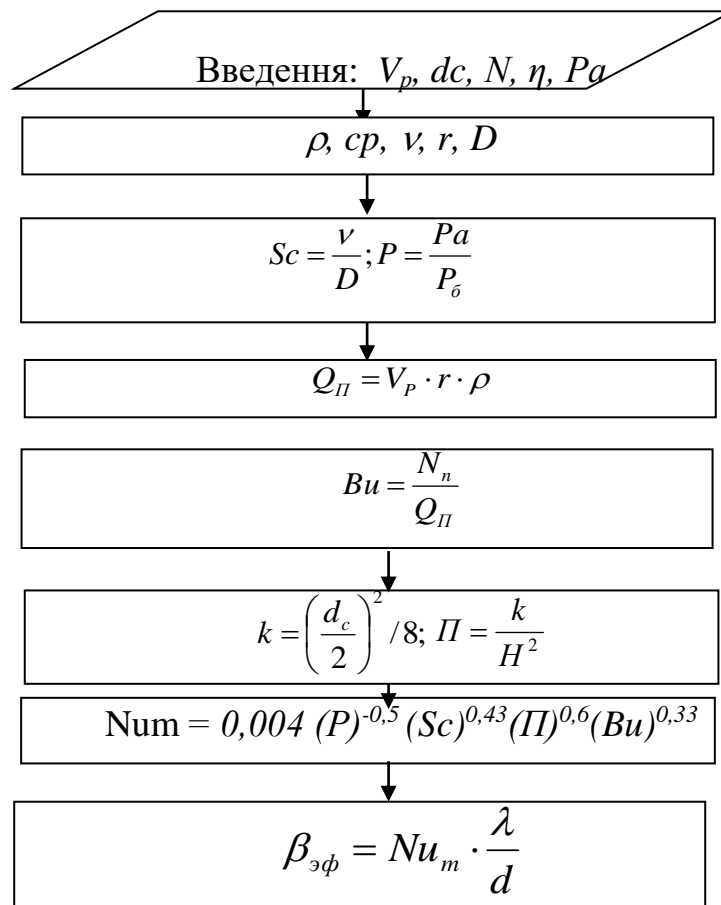


Рис. 4.9. Блок-схема розрахунків інтенсивності масопереносу.

Вихідними даними для розрахунків $\beta_{эф}$ є: еквівалентний діаметр каналу (d_c , м) у шарі плодів шипшини, потужність мікрохвильового поля та компресора (N , Вт), коефіцієнт корисної дії магнетрона (η), тиск в апарату (Pa , кПа), об'ємна витрата екстрагенту (V_p , м³/с).

Наведений порядок розрахунків (4.6) – (4.11), а, також, рис. 4.7 - 4.9 є інженерною методикою проектування мікрохвильових екстракторів для переробки плодів шипшини.

4.3.8. Процедура оптимізації мікрохвильових екстракторів. Представлені вище моделі й алгоритми розрахунків універсальні й можуть використовуватися в різних завданнях конструкторських

і перевірочних розрахунків екстракторів при мікрохвильовому підведенні енергії.

Застосування запропонованих методик для інших об'єктів екстрагування пов'язане з необхідністю одержати теплофізичні моделі об'єкта й скорегувати константи в критеріальному рівнянні для розрахунків числа Нусельта.

Запропонована методика оптимізації базується на дослідженні варіантів різних комбінацій конструктивних і режимних параметрів апарата. Доцільно при обраному значенні геометричних розмірів, які відповідають продуктивності екстрактора, виконати розрахунки при різних тисках, ступені здрібнювання плодів, рівня енергетичного впливу.

У кожному випадку за значеннями поточних температур обчислюються фізико-хімічні, кінетичні й рівноважні характеристики, що визначають протікання дифузійних і теплових процесів. Розрахунки регламентуються верхнім припустимим рівнем температур, що гарантують збереження харчової цінності екстракту. Результати розрахунків варіантів рівняються по тривалості процесів, втратам цільових компонентів зі шламом і по питомих витратах енергії.

По такій саме схемі можливо обґрунтувати й типорозмірний ряд мікрохвильових вакуумних екстракторів для різних діапазонів продуктивностей. Це можна реалізувати на основі комп'ютерного експерименту. Мета експерименту — аналіз впливу технологічних і режимних параметрів на процес екстрагування для розробки рекомендацій з режимів проведення процесу.

Комп'ютерний експеримент проводився з використанням комп'ютерної техніки й прикладних програмних пакетів Microsoft Excel, Delphi (об'єктно-орієнтована мова програмування). Програма «EXTRACTOR.1» розроблена на кафедрі процесів, устаткування й енергетичного менеджменту ОНАХТ. Програма написана мовою програмування Pascal, у середовищі Borland Delphi 7.0. Програма має зрозумілий інтуїтивний графічний інтерфейс. Лістинг програми й скріншот головного вікна наведений у додатку А і Б.

Розрахунки проводився при наступних вихідних даних:

- продуктивність по плодах шипшини $G_c = 3 \dots 10$ кг/год (або $8,3 \cdot 10^{-4} \dots 27,8 \cdot 10^{-4}$ кг/с);
- початкова концентрація сухих речовин у плодах $C_c = 22,33$ %;
- товщина шару сировини в касеті $\delta = 8 \dots 30$ мм;
- еквівалентний діаметр $d_e = 0,6$ мм;
- щільність часток плодів $\rho = 810$ кг/м³;
- пористість шару $\varepsilon = 0,4$;
- початкова концентрація екстрагенту $X_e = 0$ %;
- початкова температура екстрагенту $t_n = 10 \dots 15$ °С;
- кінцева температура екстрагенту $t_k = 40 \dots 45$ °С;

Зовнішні розміри екстрактивної камери n , мм (L/D): 220/85. Циркуляція екстрагенту проходить у режимі низькотемпературного кипіння через нерухомий шар плодів.

Результати експерименту представлені в додатку Д.

4.4. Розробка технологічної схеми виробництва висококонцентрованих екстрактів із плодів шипшини

Сучасні технології фітопрепаратів передбачають процес концентрування отриманих екстрактів. Цей процес повинен проходити при помірних температурах.

Сучасні технології фітопрепаратів передбачають процес концентрування отриманих екстрактів. Цей процес повинен проходити при помірних температурах.

На першому етапі проводяться технологічні операції попередньої обробки сировини (мийки, дроблення або плющення). Після цього плоди подаються (рис. 4.10) в екстрактор. Конструктивно це може бути мікрохвильовий вакуумний екстрактор, або апарат циркуляційного типу із гравітаційним стіканням екстрагенту через нерухомий шар плодів у касетах. Отриманий екстракт подається на концентрування.

Пропонується використовувати режими концентрування екстрактів із плодів шипшини в умовах вакууму й мікрохвильового поля, або в розробленому в ОНАХТ кріоконцентраторі блокового типу [8]. Обидві технології мають свої переваги. Кріоконцентрування проводиться при мінусових температурах, що гарантує схоронність харчового потенціалу сировини, однак значення кінцевих концентрацій продукту обмежено 35 – 50 % с.р.

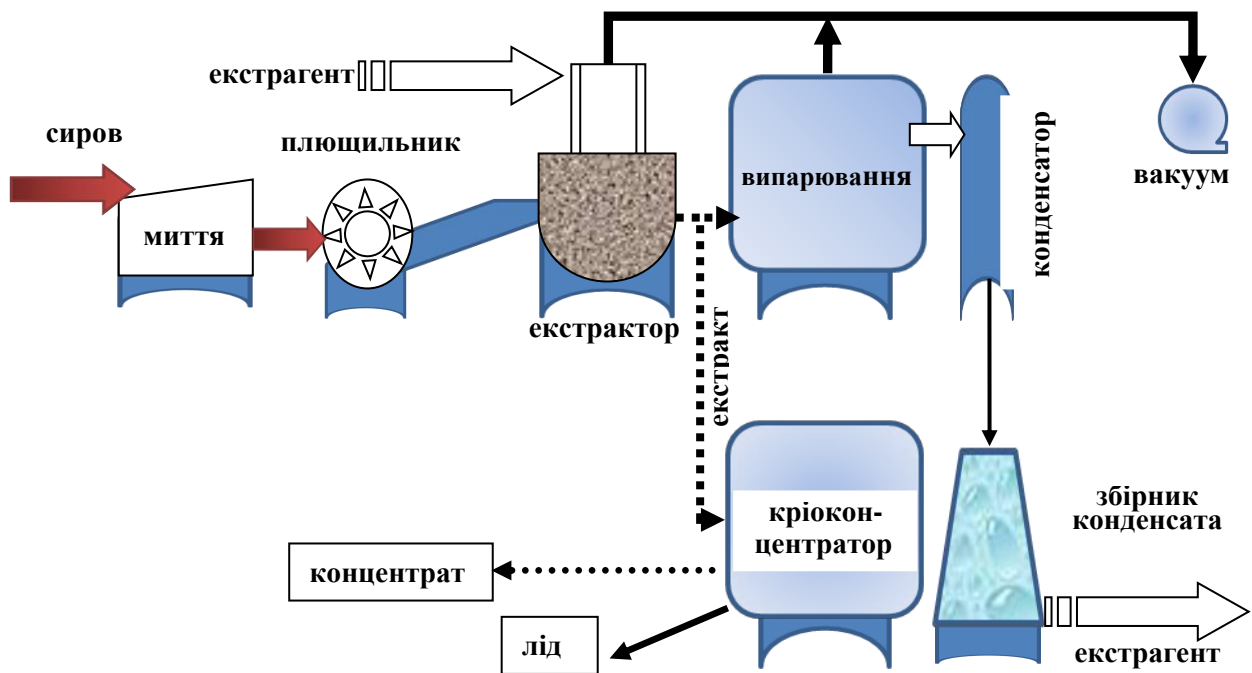


Рис. 4.10. Принципова схема виробництва концентрованих екстрактів шипшини.

Ця концентрація залежить від теплофізичних властивостей екстракту, і для екстракту шипшини не відома. Апарат з мікрохвильовим підведенням енергії в умовах вакууму дозволяє при низьких параметрах термічного впливу на продукт досягти кінцевих концентрацій продукту 90 % с.р.

Розроблений в ОНАХТ вакуумний мікрохвильовий випарний апарат надійно концентрує розчин при температурах до 40 °С [9]. Імовірно, обидва режими концентрування цікаві для певних технологічних завдань, і їх доцільність визначається експериментально.

4.5. Випробування вакуумного випарного апарата при концентруванні екстракту шипшини

Випробування проводилися на експериментальній установці, у якій забезпечувався вакуум і ефективно електромагнітне підведення енергії (мал.4.11). Основними елементами установки є: випарна камера 1, встановлена резонаторної камері 2 і заповнена екстрактом 3. Вакуум у системі забезпечувався вакуум-насосом 4. Паровий об'єм випарної камери 1 повідомлений паропроводом з конденсатором-охолоджувачем 5, у якому циркулює холодна вода. конденсат, що утворювався, збирається в ємності 6, встановленої на прецизійних вагах 7. Температура охолодної води стабілізується автономною холодильною машиною 8. Стенд комп'ютеризований, поточна інформація від електронних ваг, вимірника температури вихідного пари й продукту у випарній камері через інтерфейс 9 надходить, реєструється й обробляється процесором 10. У стенді використовувалися електронні ваги типу ТВЕ-0,21-0,01 і датчики температур (Д1, Д2, Д3) типу Dallas DS 18b20. Інформація збиралася на ноутбук або планшет CHUWI CW1506.

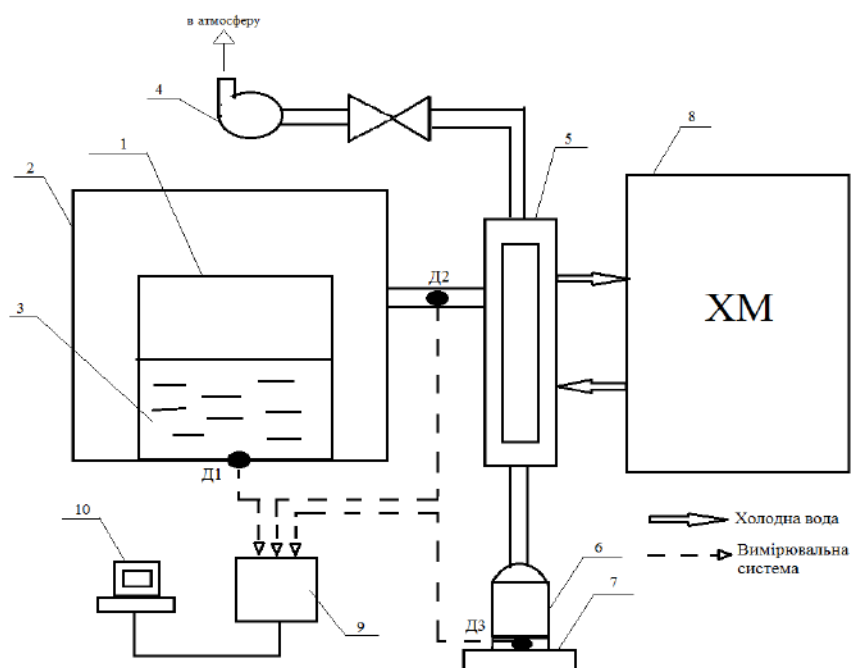


Рис.4.11. Схема експериментальної установки для дослідження випарювання в умовах вакууму й мікрохвильового поля.

Розроблена програма передбачала відображення на екрані дисплея термограм, зниження вологості з камери й миттєві значення швидкості видалення вологості (% на хвилину). Первинною інформацією були дані від вагів, що реєстрували масу конденсату (рис.4.12).

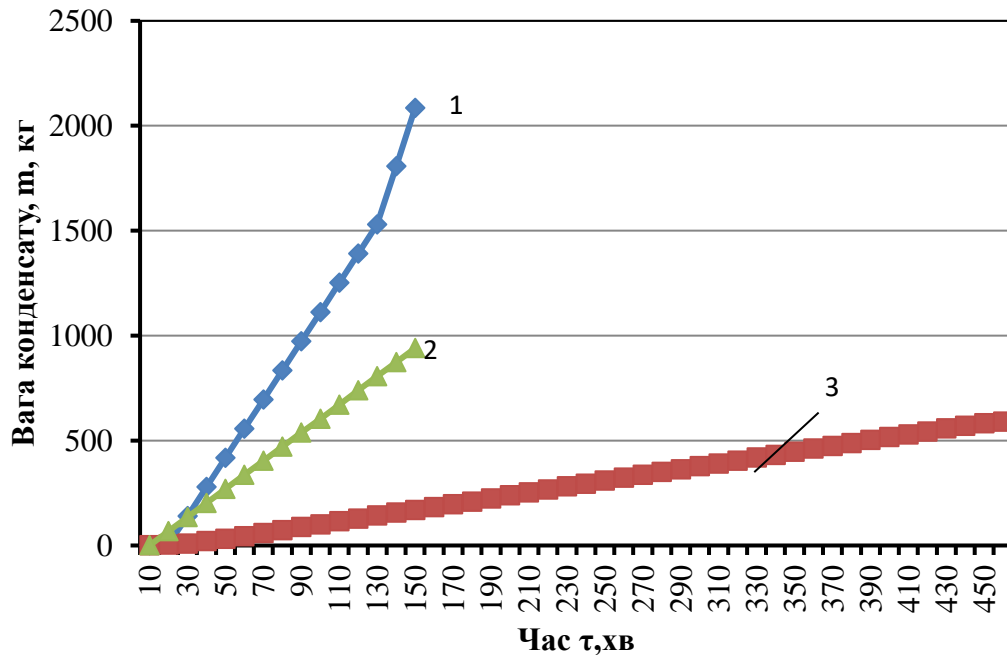


Рис. 4.12. Кінетика виходу вторинної пари: 1 – екстракт шипшини; 2 – екстракт виноградних кісточок; 3 – пектиновий розчин.

Оскільки, маса конденсату дорівнює масі вилученої з екстракту пари, те, по суті, визначається паропродуктивність апарата (рис.4.12). Результати по виходу вторинної пари (виходу вологості з екстракту) оброблялися й будувалися залежності швидкості вологовидалення (рис.4.13).

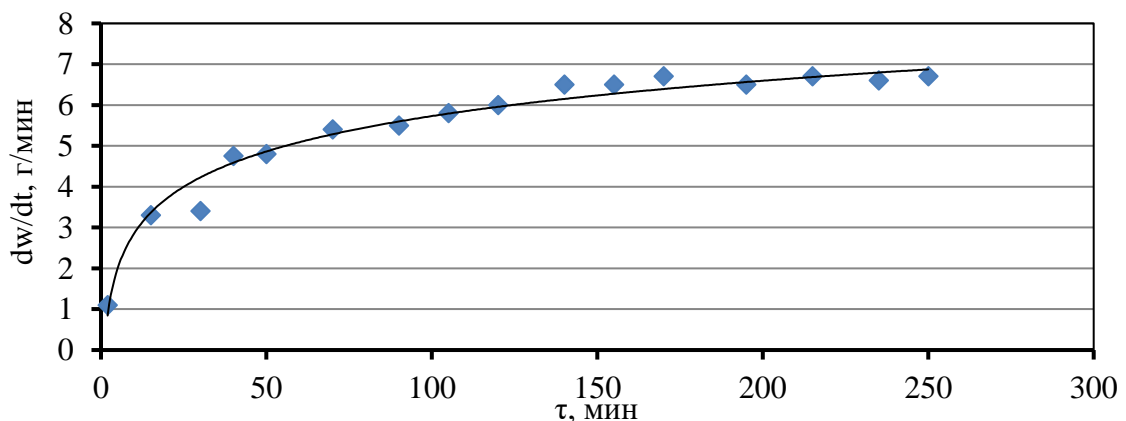


Рис. 4.13. Лінії швидкості вологовидалення.

Інформація (рис.4.13) оброблялася у вигляді залежності швидкості вологовидалення від поточної концентрації екстракту (рис.4.14).

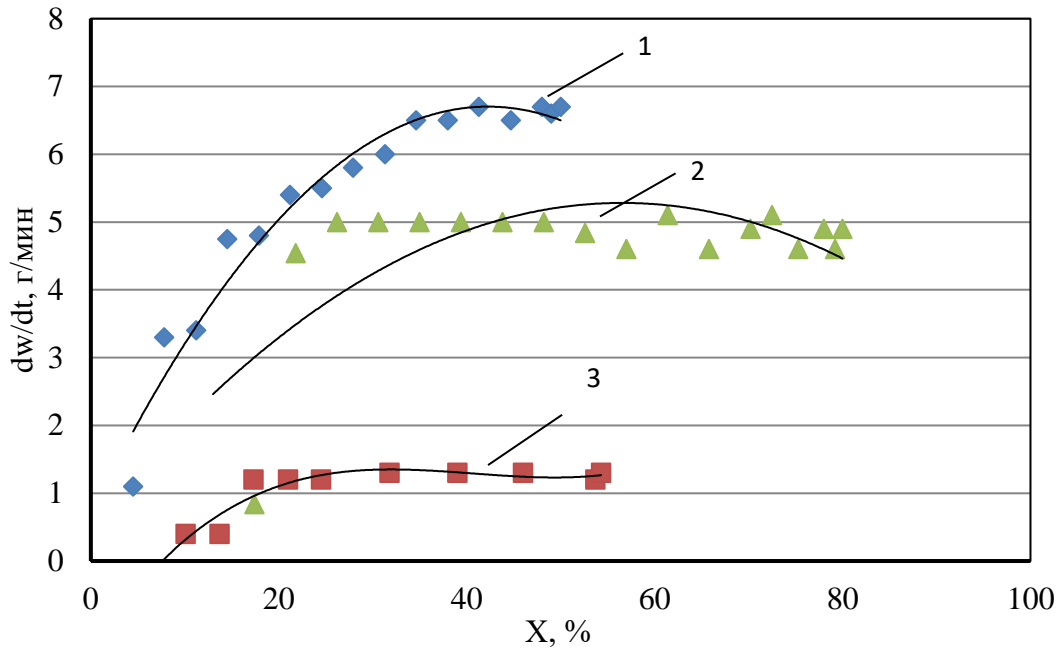


Рис. 4.14. Залежність швидкості вологовидалення від поточної концентрації екстракту: 1 – екстракт шипшини; 2 – екстракт виноградних кісточок; 3 – пектиновий розчин

Важливим технологічним фактором є температурний режим випарювання. Відповідні термограми процесу наведені на рис.4.15.

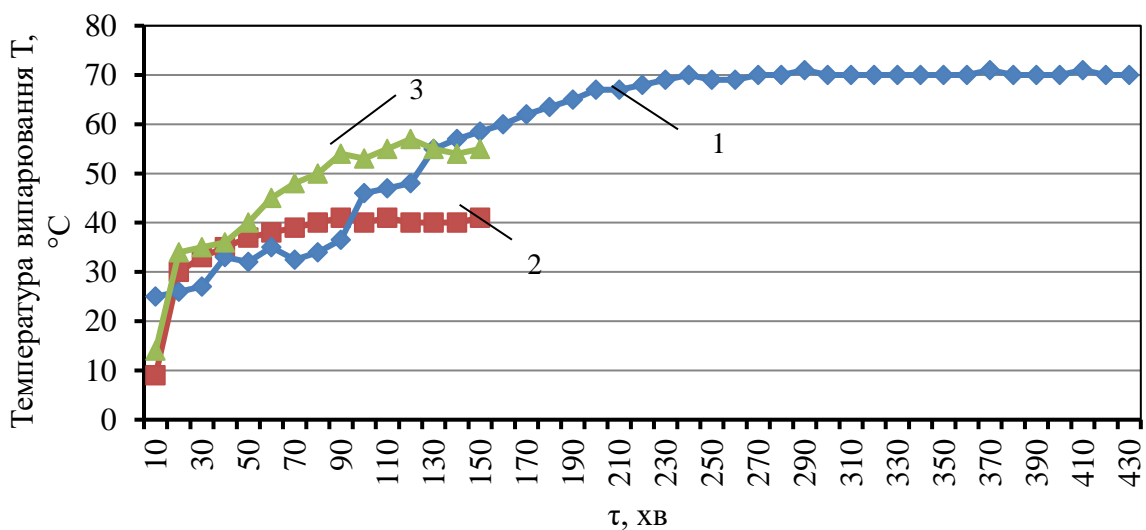


Рис. 4.15. Термограми при випарюванні екстрактів: 1 – екстракт шипшини; 2 – екстракт виноградних кісточок; 3 – пектиновий розчин.

Видно, що процес випарювання у всьому діапазоні концентрацій протікає практично при постійній швидкості вологовидалення й режимі «м'якого» термічного впливу.

4.6. Оцінка якісних показників екстрактів і їхніх концентратів

Важливим показником якості екстрактів із плодів шипшини є вміст вітаміну С. Тому проведені дослідження (табл.4.2) впливу температури й концентрації на величину аскорбінової кислоти (АК). Методика й порядок проведення дослідів наведені в додатку Д.

Таблиця 4.2

Вміст аскорбінової кислоти в екстрактах шипшини

№ досвіду	Температура, °С	Концентрація, %	АК, мг/100 см ³
1	50	11	163,5
2	60	11,5	103,5
3	70	11,8	98,5
4	76	12,5	88,5
5	50 - 57	58-60	199,7

Аналіз результатів (табл.4.2) показує, що температура вище 50 °С не сприяє збереженню аскорбінової кислоти.

Отримані за запропонованою технологією зразки екстрактів і їх концентратів пройшли органолептичні й хімічні дослідження. Концентрати виходили й мікрохвильовому вакуум-випарному апарату, і в кріоконцентраторі блокового типу, розробленому в ОНАХТ. Результати хімічного аналізу наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3

Характеристика екстрактів і концентратів

зразок	Концентрація с.р., %	Вміст вітаміну С, мг/100 см ³	Відносний 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 %). Плоди

дикої шипшини або троянди собачої (*Rosa canina*) містять близько 500 мг вітаміну С; троянда зморшкувата, кликана ще шипшиною звичайною (*Rosa rugosa*), – від 800 до 900 мг. У шипшині гірляндовій або троянді коричній (*Rosa cinnamomea*) вітаміну С більше, ніж у будь-якому іншому виді, – до 2400 мг на 100 г. Визначено, що 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 см³. При концентруванні в МХВУ робочі температури коливались у діапазоні 30...40 °С. За 10 хвилин з екстракту виділено 412 см³ вологи, вміст сухих речовин в екстракті склав 24 %. При кріоконцентруванні 500 см³ екстракту, година виморожування блоку склала 13 хвилин.

При сепаруванні блоку льоду та концентрату отримано 160 см³ екстракту концентрацією 12 %. Сепарування тривало 1 час 18 хвилин за температури близької до 0 °С – температури фазового переходу для води.

Отримані зразки пройшли органолептичні дослідження (рис.4.16).

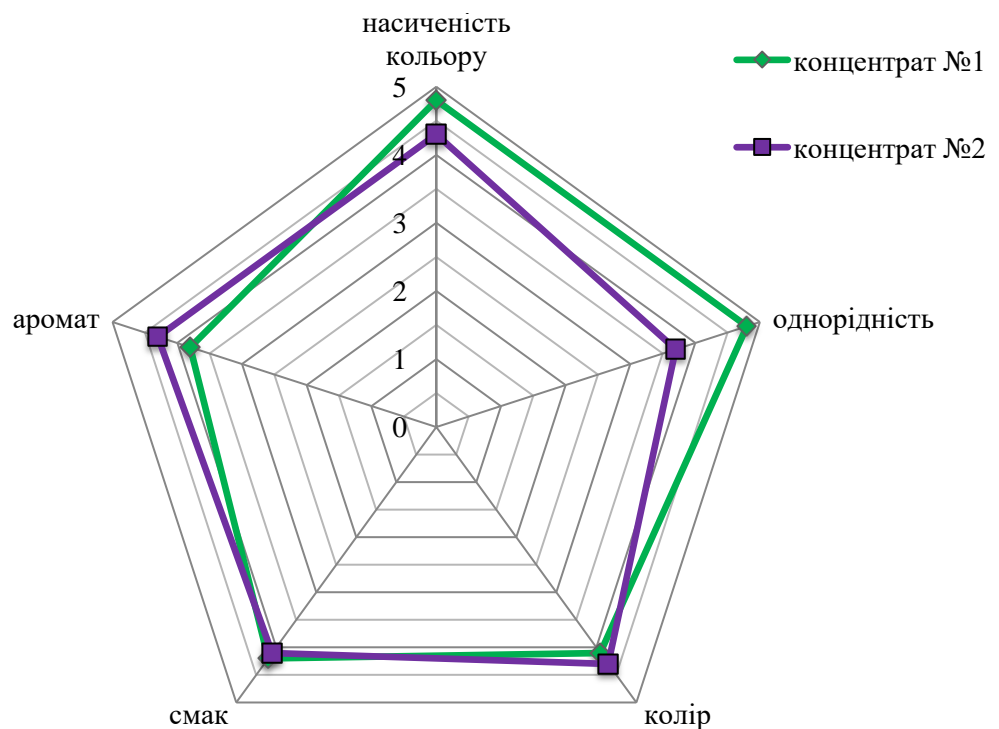


Рис. 4.16. Профілограма оцінки якості концентратів.

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

Кріоконцентрат (№2) краще за ароматом, кольором й смаком приблизно на 0,5...1 бал.

4.7. Рекомендації до впровадження в промисловість

Результати роботи впроваджені на підприємстві ТОВ «Одеська паляниця». На підприємстві проведені виробничі випробування по випіканню пшеничного хліба вищого сорту з використанням екстракту шипшини. Новий вид хліба одержав назву «Особливий новий».

Рецептура й режим готування тесту наведені в додатку... випічка проводилася тунельної хлібопекарської печі TUIG – 26. Тривалість випікання становила 34...36 хвилин.

Після 4 годин охолодження проводилася органолептична й фізико-хімічна оцінка якості продукції.

У результаті аналізу, дегустатори відзначили, що виготовлена партія хліба відповідає вимогам нормативної документації. Партія хліба була реалізована через торговельну мережу. Випробування показали можливість використання запропонованої технології в умовах виробництва.

Розроблені технічні умови на виробництво хліба «особливий новий». ТУ на досвідчену партію включали розділи: сфера використання, нормативні посилання, технічні вимоги, вимоги безпеки й охорони навколишнього середовища, правила приймання, методи контролю, правила зберігання й транспортування, гарантії виробника й додатка.

У додатку А приводилася харчова й енергетична цінність і перелік видів хлібобулочних виробів, які можуть випускатися по розробленим ТУ.

Розроблена й Технологічна інструкція на виробництво хліба «Особливий новий» (додаток А).

4.8. Аналіз бізнес-перспектив розробок лінії переробки плодів

шипшини

Економічна доцільність пропонованої схеми отримання поліекстрактів з плодів шипшини визначається наступними факторами.

1. На відміну від традиційних технологій використовується не кілька видів екстрагентів, а один. При цьому, найдешевший – вода.
2. Процес екстрагування триває не цілодобово, а упродовж кількох годин.
3. Процес екстрагування характеризується мінімальними енергетичними витратами, екологічною безпекою виробництва.
4. Обладнання (мікрохвильової екстрактор і випарний апарат) не вимагає серйозних технічних рішень, щодо забезпечення пожежо-вибухо безпеки.

Таким чином пропонована схема виробництва поліекстрактів з плодів шипшини простіша і безпечніша в експлуатації, вимагає менших витрат енергії й екстрагентів, істотно скорочує час технологічного процесу. При цьому гарантується високий ступінь збереження всіх функціональних компонентів сировини.

В таких умовах комерційно-привабливим стає бізнес-проект виробництва поліекстрактів шипшини, отримання з них концентратів і подальший експорт на світовий ринок. Потенційними ринками збуту можуть стати країни, де шипшина не культивується.

Розглянемо економіку реалізації поліекстрактів шипшини у Сирійській Арабській Республіці (САР). Проведемо аналіз бізнес-перспектив постачання концентратів в залежності від способу транспортування і від концентрації продукту. Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Вартість перевалки вантажів за маршрутом «Україна - САР»

№	Спосіб перевезення	Мінімальна вага	Вартість, \$/кг
1	Авіаперевезення	1 кг	5,00
2	Автоперевезення	10 т	0,16
3	Морські перевезення	20 т	0,06

Очевидні переваги, з точки зору вартості перевезення, морського транспорту. Однак, розрахунок вартості перевезення базується на вартості відправлення контейнера, стандарт для яких 20 т та 40 т. Тобто, необхідно одразу переправляти вантаж у контейнері на 20 т, вартість відправлення вже 1200 \$. Немає значення, перевозиться 2 т чи 20 т – найменший контейнер все одно на 20 т і сплачується повна вартість перевезення.

Далі проведемо порівняння вартості перевезення концентрованих екстрактів. Дослідження показали, що оптимальні значення концентрацій екстракту становлять 12%.

Мікрохвильової вакуум-випарний апарат забезпечує підвищення концентрації до 90 % с.р., а кріоконцентратор – до 50 % с.р.. Виконаємо розрахунки економії витрат на перевезення екстракту і його концентрату. Порівняння проводиться щодо продуктивності 20 т/рік висококонцентрованого поліекстракту, тобто контейнера на 20 т і концентрату 90 % с.р. (табл.4.5., 4.6).

Таблиця 4.5

Вартість перевезення продукту

№	Спосіб перевезення	Витрати на перевезення, (\$), при				
		12 % с.р.	24 % с.р.	48 % с.р.	65 % с.р.	90 % с.р.
1	Авіаперевезення	750000	375000	187500	138460	100000
2	Автоперевезення	24000	12000	6000	4430	3200
3	Морські перевезення	9000	4500	2250	1662	1200

Таблиця 4.6

Економія при перевезенні концентрованого продукту

№	Спосіб перевезення	Економія при перевезенні, (\$), при				
		12 % с.р.	24 % с.р.	48 % с.р.	65 % с.р.	90 % с.р.
1	Авіаперевезення	0	375000	562500	611540	650000
2	Автоперевезення	0	12000	18000	19570	20800
3	Морські перевезення	0	4500	6750	7338	7800

Проект передбачає послідовне встановлення групи апаратів: вакуумного мікрохвильового екстрактора та мікрохвильового вакуум-випарного концентратора. Завданням другого є підвищення концентрації продукту від 12

до 90 % с.р.. Мікрохвильовий вакуумний концентратор може бути замінено на кріоконцентратор, завданням якого є концентрування продукту від 12 до 48 % с.р.. При використанні мікрохвильового екстрактора зростуть капітальні та енергетичні витрати, проте скоротяться транспортні витрати, що істотно при експортних операціях.

Додаткові капітальні витрати складаються з вартості виготовлення і установки додаткового концентрування з електромагнітними джерелами енергії (або кріоконцентратора). Тоді розрахунковий прибуток від експлуатації установки визначиться зі співвідношення

$$P = \Delta U_T - \Delta U_E - a \Delta K, \quad (4.12)$$

де ΔU_T – зниження витрат на транспортування концентрованого соку; ΔU_E – вартість додаткових витрат електроенергії; a – нормативний коефіцієнт ефективності використання обладнання (для харчової промисловості: $a = 0,15$); ΔK – збільшення вартості установки через додаткової щаблі випарювання.

Аналогічна методика може бути застосована і до визначення прибутку від використання кріоконцентратора.

Розрахунки (табл. 4.5) показують, що збереження коштів, а відповідно й економічна ефективність, від впровадження інноваційних проектів перевищить вартість витрат на виготовлення концентраторів. Відповідно, термін їхньої окупності не буде перевищувати декількох місяців при авіап перевезеннях, й одного року – при морських перевезеннях.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Проведене узагальнення бази експериментальних даних і методами теорії подоби отримана критеріальне рівняння для розрахунків інтенсивності масопереносу при екстрагуванні з плодів шипшини в умовах дії мікрохвильового поля (4.5).

2. Розроблена інженерна методика розрахунків мікрохвильового екстрактора, яка представлена у вигляді узагальненої структури (рис. 4.7) і

набором блок-схем для розрахунків самостійних етапів – теплофізичних властивостей, фазових рівноваг, гідродинамічних характеристик і кінетики масопереносу.

3. На основі запропонованих модулів складений алгоритм перевірного розрахунків режимів масопереносу при комбінованому мікрохвильовому впливі. Ключовим моментом у методиці розрахунків є основний результат експериментального моделювання – рівняння в узагальнених змінні (4.5). Запропонована інженерна методика розрахунків МХ екстракторів використовувалася для проведення комп'ютерного моделювання.

4. Створений експериментально-промисловий зразок вакуумного МХ екстрактора періодичної дії для системи «тверде тіло - рідина» (рис. 4.17). Екстрактор відрізняється можливістю високоінтенсивного переносу цільових компонентів з плодів шипшини при температурах до 40 оС. Час роботи апарата в 5 – 8 раз менше традиційних, а значення кінцевих концентрацій продукту в стільки ж раз вище.

5. Запропонована схема переробки плодів шипшини і їх екстрактів. Схема включає інноваційні апарати: мікрохвильовий екстрактор, мікрохвильовий випарний апарат і криоконцентратор. Проведені стендові випробування основних елементів схеми: мікрохвильового екстрактора, мікрохвильового вакуум-випарного апарата й криоконцентратора блокового типу розробки ОНАХТ.

6. Проведені дослідження впливу температури й концентрації на величину аскорбінової кислоти. Рівнялися зразки в діапазоні концентрацій від 11 до 60 % с.р. і температур 50 – 70°С. Установлене, що з підвищенням температури вище 50 С зміст аскорбінової кислоти знижується.

7. Проведені дослідження вакуумного мікрохвильового екстрактора. Установлений вплив потужності й концентрації на кінетику екстрагування в діапазоні тисків 15 – 45 кПа. Досягнуті концентрації 13 % с.р. Установлене, що температури в 30...40 °С підтримуються при потужності мікрохвильового випромінювача до 130 Вт.

8. Результати стендових випробувань випарного апарата показали, що його паропродуктивність залишається практично незмінною у всьому діапазоні робочих концентрацій (від 12 до 85 % с.р). Значення паропродуктивності чітко корелюється з величиною підведеної мікрохвильової енергії. Температури процесу випарювання не перевищували 40 °С.

9. Кріоконцентрування проводилося на лабораторній установці невеликої продуктивності. На установці реалізований принцип спрямованої кристалізації на поверхні випарника холодильної машини. Температура кристалізації становила -1 ... 0 °С. Виморожування тривало 13 хв.

10. Проведені хімічні дослідження зразків: екстракту (4,2 % с.р), концентрату отриманого у МХ вакуумному апараті (24 % с.р.) і кріоконцентрату (14 % с.р). Вміст вітаміну С у цих зразках визначено, відповідно, 500; 4000 і 2200 мг/100 см³. Установлене, що щодо загального вмісту сухих речовин вміст вітаміну С, у всіх зразках коливався в діапазоні 10,2...13 %.

11. У результаті органолептичних досліджень побудована профілограма якісних показників зразків: концентрату й кріоконцентрату. По характерному для шипшини ароматі, яскравому червонясто-жовтогарячому кольорі, смаку без відтінків варіння, з вираженим кислуватим присмаком кріоконцентрат виявився краще. Концентрат виграв по насиченості й однорідності консистенції.

12. Результати роботи впроваджені на підприємстві ТОВ «Одеська паляниця». На підприємстві проведені виробничі випробування по випіканню пшеничного хліба вищого сорту з використанням екстракту шипшини. Новий вид хліба одержав назву «Особливий новий». Розроблені ТУ й ТИ на виробництво такого хліба.

13. Високий економічний ефекти при експортуванні концентратів за кордон дадуть методи мікрохвильового вакуумного випарювання та кріоконцентрування. Відповідно, чим вище концентрація екстракту – тим більший економічний ефект.

Список використаних джерел до розділу 4.

1. Бурдо О.Г. Харчові наноенерготехнології. Херсон, 2013. 294 с.
2. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Екстрагування в системі «кава-вода»: монографія. О.: ТЕС, 2007. 176 с.
3. Процеси переробки кавового шламу / О.Г. Бурдо та ін. // Київ: «ЕнтерПринт», 2014. 228 с.
4. Ряшко Г.М. Інтенсифікація процесу екстрагування при виробництві розчинної кави: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв: захист -17.10.2006/науч. кер. О.Г.Бурдо; ОНАХТ. О.:ОНАХТ, 2006. 192 с.
5. Макиевская Т.Л. Кінетика комбінованих процесів виробництва екстрактів кава в мікрохвильовому полі: дис...канд. тех. наук: 05.18.12- процеси й устаткування харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв: захист 26.12.2013 / науч. рук. О.Г. Бурдо; Одес. нац. акад. харчових технологій. О. : ОНАХТ, 2013. 182 с.
6. Левтринська Ю.О. Екстрагування з зерен кави в мікрохвильовому апараті безперервної дії: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв: захист -19.12.2017 / наук. кер. С.Г. Терзієв; ОНАХТ. О.:ОНАХТ, 2017. 205 с.
7. Левтринська Ю.О., Зиков О.В., Терзієв С.Г. Математичне моделювання та оптимізація мікрохвильового протитечійного екстрактора // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2017. Т.81, вип. 1. С. 157-163.
8. Левтринська Ю.О., Терзієв С.Г. Випробування мікрохвильового екстрактора в умовах виробництва / Ю.О. Левтринська, С.Г. Терзієв // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2017. Т.81, вип. 1. С. 120–124.

ВИСНОВКИ

1. В роботі сформульовано і доведено гіпотезу, що використання у якості екстрагента 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 дифузний.

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 пропонованих принципів екстрагування в електромагнітному полі. Традиційні режими імітувалися в термостаті. Екстрагування в МХ полі проводилося на стендах з нерухомим шаром, в режимі циркуляції екстрагента 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 см³. 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.

КОПІЯ ВІРНА

ДОДАТКИ
ДОДАТОК А
ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Проректор ОНАХТ з наукової роботи,
 к.т.б., доцент

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ТОВ «Одеська паляниця»



Поварова Н.М.

2017р.



Поладов Р.Н.

2017р.

ТЕХНІЧНІ УМОВИ

по виробництву хліба «Особливий новий»
 ТУ на дослідну партію

РОЗРОБЛЕНО:

Професор кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів, д.т.н., професор:

К.Г. Іорґачова
 «Н» *Квітень* 2017р.

Зав. кафедрою процесів, обладнання та енергетичного менеджменту, д.т.н., професор

О.Г. Бурло
 «Н» *Квітень* 2017р.

Доцент кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів, д.т.н.

Т.С. Лебеденко
 «Н» *Квітень* 2017р.

Доцент кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів, к.т.н.

С.М. Павловський
 «Н» *Квітень* 2017р.

Старший викладач кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів, к.т.н.

Н.Ю. Соколова
 «Н» *Квітень* 2017р.

Аспірант кафедри процесів, обладнання та енергетичного менеджменту

Альхурі Юсеф
 «Н» *Квітень* 2017р.

Інженер кафедри процесів, обладнання та енергетичного менеджменту

О.Ф. Терзєман
 «Н» *Квітень* 2017р.

Магістр кафедри процесів, обладнання та енергетичного менеджменту

В.П. Величко
 «Н» *Квітень* 2017р.

Директор ТОВ «Одеська паляниця»

Поладов Р.Н.
 «Н» *Квітень* 2017р.

Зав. виробництвом ТОВ «Одеська паляниця»

Гілка С.П.
 «Н» *Квітень* 2017р.



2
ЗМІСТ

	Стор.
1. Сфера застосування	3
2. Нормативні посилання	3
3. Технічні вимоги	10
4. Вимоги безпеки і охорони навколишнього середовища.....	16
5. Правила приймання	17
6. Методи контролю	18
7. Правила зберігання та транспортування.....	19
8. Гарантії виробника	19
Додаток А. Харчова та енергетична цінність	
Додаток Б. Перелік видів хлібобулочних виробів, які можуть випускатись за даними технічними умовами	

Закон України № 1393- XIV від 14.01.2000р.	Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції
ДСТУ 2120-93	Хлібопекарське виробництво. Терміни та визначення
ДСТУ 2296-93	Система сертифікації УкрСЕПРО. Національний знак відповідності. Форми, розміри, технічні вимоги та правила застосування
ДСТУ 3413-96	Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції
ДК 016-2010 ДСТУ 4582:2006	Державний класифікатор продукції та послуг Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Хліб та хлібобулочні вироби. Основні положення
ГСТУ 158.00389676.009- 2000	Хліб із пшеничного борошна. Технічні умови
ГСТУ 46.004-99	Борошно пшеничне. Технічні умови
ДСТУ 4812:2007	Дріжджі хлібопекарські пресовані. Технічні умови
ДСТУ 3583-97	Сіль кухонна. Загальні технічні умови
ГОСТ 1994-93	Плоды шиповника. Технические условия (Плоды шипшини. Технічні умови)
ГОСТ 2874-82	Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством (Вода питна. Гігієнічні вимоги та контроль за якістю)
В-158.00389676.007:2007	Вказівки до рецептур на хлібобулочні вироби щодо взаємозамінності сировини
ДСТУ 2925-94	Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення
ДСТУ 7044:2009	Вироби хлібобулочні. Правила приймання, методи відбирання проб, методи визначання органолептичних показників і маси виробів
ДСТУ 7045:2009	Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників
ГОСТ 24297-87	Входной контроль продукции. Основные положения. (Вхідний контроль продукції. Основні положення)
Р-158.00389676.005:2007	Рекомендації щодо метрологічного забезпечення виробництва хліба і хлібобулочних виробів
ДСТУ 4161-2003	Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги
СанПиН 42-123-4089-86	Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах (Гранично допустимі концентрації важких металів і миш'яку в продовольчій сировині та харчових продуктах)
МР 4.4.4-108-2004	Методичні рекомендації. Періодичність контролю

	продовольчої сировини та харчових продуктів за показниками безпеки
ГОСТ 26929-94	Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов (Сировина і продукти харчові. Підготовка проб. Мінералізація для визначення токсичних елементів)
ГОСТ 26927-86	Сырье и продукты пищевые. Метод определения ртути (Сировина і продукти харчові. Метод визначення ртуті)
ГОСТ 26930-86	Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка (Сировина і продукти харчові. Метод визначення миш'яку)
ГОСТ 26931-86	Сырье и продукты пищевые. Методы определения меди (Сировина і продукти харчові. Метод визначення міді)
ГОСТ 26932-86	Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца (Сировина і продукти харчові. Метод визначення свинцю)
ГОСТ 26933-86	Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия (Сировина і продукти харчові. Метод визначення кадмію)
ГОСТ 26934-86	Сырье и продукты пищевые. Метод определения цинка (Сировина і продукти харчові. Метод визначення цинку)
МБТ № 5061-89	Медиико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов (Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і харчових продуктів)
МР № 2273-80	Методические рекомендации по выявлению, идентификации и определению содержания афлатоксинов в пищевых продуктах (Методичні рекомендації по виявленню, ідентифікації і визначенню вмісту афлотоксинів в харчових продуктах)
МУ №2964-84	Методические указания по обнаружению, идентификации и определению зеараленона в пищевых продуктах (Методичні вказівки по виявленню, ідентифікації і визначенню зеараленону в харчових продуктах)
МР № 3184-84	Методические рекомендации по обнаружению, идентификации и определению Т-2 токсина в пищевых продуктах и продовольственном сырье (Методичні рекомендації по виявленню, ідентифікації і визначенню Т-2 токсину в харчових продуктах)
МУ №3940-84	Методические указания по обнаружению, идентификации и определению содержания дезоксинива-

	ленона (вомитоксина) в зерне и зернопродуктах (Методичні вказівки по виявленню, ідентифікації і визначенню вмісту дезоксиніваленону (вомітоксину) в зерні і зернопродуктах)
ГН 4.4.2.094-2002	Тимчасові гігієнічні нормативи вмісту мікроорганізмів в хлібобулочних виробках
ГОСТ 26668-85	Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов. (Продукти харчові і смакові. Методи відбору проб для мікробіологічних аналізів)
ГОСТ 26669-85	Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов (Продукти харчові і смакові. Підготовка проб для мікробіологічних аналізів)
ГОСТ 26670-91	Продукты пищевые. Методы культивирования микроорганизмов (Продукти харчові. Методи культивування мікроорганізмів)
ГОСТ 10444.15-94	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (Продукти харчові. Методи визначання кількості мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів)
ГОСТ 10444.2-94	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества <i>Staphylococcus aureus</i> (Продукти харчові. Методи виявлення і визначення кількості <i>Staphylococcus aureus</i>)
ГОСТ 30518-97	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформные бактерии). (Продукти харчові. Методи виявлення і визначення кількості бактерій групи кишкових паличок (коліформні бактерії))
ГОСТ 28560-90	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий родов <i>Proteus</i> , <i>Morganella</i> , <i>Providencia</i> (Продукти харчові. Метод виявлення бактерій роду <i>Proteus</i> , <i>Morganella</i> , <i>Providencia</i>)
ГОСТ 30519-97	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода <i>Salmonella</i> . (Продукти харчові. Метод виявлення бактерій роду <i>Salmonella</i>)
ГОСТ 10444.12-88	Продукты пищевые. Методы определения дрожжей и плесневых грибов (Продукти харчові. Методи визначання дріжджів і пліснявих грибів)
ДСанПіН 2.2.4-171-10	Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"
ГН 6.6.1.1-130-2006	Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. Державні гігі-

ДСТУ 4518-2008	Продукти харчові. Маркування для споживачів. Загальні правила
ДСТУ 3147-95	Коди і кодування інформації. Штрихове кодування. Маркування об'єктів ідентифікації. Формат та розташування штрих-кодових позначок EAN на тарі та пакуванні товарної продукції. Загальні вимоги
ГОСТ 14192-96 СП №823-69	Маркировка грузов (Маркування вантажів) Санитарные правила для предприятий хлебопекарной промышленности (Санітарні правила для підприємств хлібопекарської промисловості)
СП № 1042-73	Санитарные правила организации технологических процессов и гигиенические требования к производственному оборудованию (Санітарні правила організації технологічних процесів і гігієнічні вимоги до виробничого обладнання)
Наказ Укрхлібпрому №37 від 19.07.2000	Правила з організації і ведення технологічного процесу на хлібопекарських підприємствах
ДСТУ EN 1672-1-2001	Обладнання для харчової промисловості. Вимоги щодо безпеки і гігієни. Основні положення. Частина 1. Вимоги щодо безпеки
ДСТУ EN 1672-2-2001	Обладнання для харчової промисловості. Вимоги щодо безпеки і гігієни. Основні положення. Частина 2. Вимоги щодо гігієни
СанПиН 2.3.4.545-96	Производство хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий (Виробництво хліба, хлібобулочних і кондитерських виробів)
ГОСТ 12.3.002-75	ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности (ССБТ. Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки)
ДСТУ 3273-95	Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.
ДНАОП 1.8.10-1.27-2002	Правила безпеки для виробництва хліба, хлібобулочних та макаронних виробів
ГОСТ 12.1.004-91	ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (ССБП. Пожежна безпека. Загальні вимоги)
ГОСТ 12.1.019-79	ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту)
ГОСТ 12.1.010-76*	ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования (ССБП. Вибухобезпека. Загальні вимоги)
ГОСТ 12.2.003-91	ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (ССБТ. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки)
ДСТУ 2583-94	Машины та устаткування для хлібопекарської промисловості. Вимоги безпеки
ГОСТ 12.2.061-81	ССБТ. Оборудование производственное. Общие

	требования к безопасности рабочих мест (ССБТ. Обладнання виробниче. Загальні вимоги до безпеки робочих місць)
ГОСТ 12.4.103-83	ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация (СББП. Одяг спеціальних захисний, засоби індивідуального захисту ніг і рук. Класифікація)
ГОСТ 12.4.011-89	ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования защиты и классификация (ССБП. Засоби захисту працюючих. Загальні вимоги захисту і класифікація)
ГОСТ 12.3.009-76	ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности (ССБП. Роботи завантажувально-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки)
ГОСТ 12.1.012-90	Вибрационная безопасность. Общие требования (Вібраційна небезпека. Загальні вимоги)
ГОСТ 12.4.012-83	ССБТ. Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах (ССБП. Засоби вимірювання і контролю вібрації на робочих місцях)
ГОСТ 12.1.050-86	ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах (ССБП. Методи вимірювання шуму на робочих місцях)
ДСН 3.3.6.037-99	Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
ГОСТ 12.1.003-83	ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (ССБП. Шум. Загальні вимоги безпеки)
СНиП 2.04.05-91*У	Отопление, вентиляция и кондиционирование (Опалення, вентиляція і кондиціонування)
СНиП II-4-79	Естественное и искусственное освещение (Природне і штучне освітлення)
ДБН В.2.5-28-2006	Природне і штучне освітлення
ДСН 3.3.6.039-99	Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації
ГОСТ 12.1.005-88	ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони)
ДСН 3.3.6.042-99	Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
ГОСТ 12.4.021-75	ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования (ССБП. Системи вентиляційні. Загальні вимоги)
СанПиН 4630-88	Санитарные правила и нормы по охране поверхностных вод от загрязнения (Санітарні правила і норми по охороні поверхневих вод від забруднення)
ДСП 201-97	Охрана атмосферного воздуха населенных мест от забруднення хімічними та біологічними речовинами
ГОСТ 17.2.3.02-78	Охрана природы. Атмосфера. Правила установления

	допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями (Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выкидів шкідливих речовин промисловими підприємствами)
СанПиН 42-128-4690-88	Санитарные правила и нормы охраны почвы от загрязнения бытовыми и производственными отходами (Санітарні правила і норми охорони ґрунтів від забруднення побутовими і виробничими відходами)
ДСанПиН 145-2011	Державні санітарні норми та правила утримання території населених місць
Наказ МОЗ №246 від 21.05.2007	Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій
	Порядок і періодичність контролю продовольчої сировини і харчових продуктів за показниками безпеки МВ 5.08.07/1232, затверджено Головним Державним санітарним лікарем України від 11.10.95 р.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1. Вироби хлібобулочні повинні відповідати вимогам цих технічних умов та вироблятися за рецептурою та технологічною інструкцією, затвердженими у встановленому порядку з дотриманням санітарних правил для підприємств хлібопекарної промисловості СП № 823-69.

3.2. Для виготовлення хліба пшеничного «Особливий новий» з екстрактом шипшини використовується сировина:

- борошно пшеничне за ГСТУ 46.004-99;
- дріжджі хлібопекарські пресовані за ДСТУ 4812:2007;
- сіль кухонна за ДСТУ 3583:97;
- вода питна за ГОСТ 2874-82;
- екстракт шипшини;
- солод неферментований за ДСТУ 4282:2004.

та інша сировина відповідно до вказівок щодо взаємозамінності сировини В-158.00389676.007:2007.

Дозволяється використання аналогічної сировини вітчизняного виробництва за наявності позитивного висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи та сертифікату відповідності (про визнання).

3.3. Асортимент

Хліб "Здоров'я" з шипшиною виготовляється подовим масою 0,75 кг.

Назва виробу за ДСТУ 2120-93 та ДСТУ ISO 780-2001 може доповнюватися назвою фітодобавки, що вноситься, наприклад: хліб "Здоров'я" з пшеничного борошна вищого гатунку з шипшиною, або назва фітодобавки вказується в реквізиті маркування (склад продукції).

Конкретні маси виробів в указаних межах встановлюються безпосередньо підприємствами-виробниками.

Відхилення маси нетто кожного виробу в кінці терміну максимального витримування на підприємстві після виходу їх з печі не повинно перевищувати 0,0225 кг ($\pm 3\%$) включно. Відхилення маси нетто в більшу сторону не є порушенням вимог технічних умов.

Рецептури на вироби хлібобулочні погоджуються та затверджуються в установленому порядку ДСТУ 4582:2006.

3.4. Характеристики

3.4.1. За органолептичними показниками вироби хлібобулочні повинні відповідати вимогам, наведеним у таблиці 1.

Таблиця 1 - Органолептичні показники якості хліба «Особливий новий» з екстрактом шипшини

Назва показника	Характеристика
Зовнішній вигляд	
Форма:	Кругла, правильна, не розпливчата.
Поверхня	Гладка, без великих тріщин та підривів, допускається борошністість верхньої та нижньої скоринки.
Колір	Від світло-жовтого до коричневого, без підгоряння.
Стан м'якушки	Пропечена, еластична, не волога на дотик, без слідів непромісу, пористість рівномірна, допускаються незначні порожнечі.
Смак і запах	Властивий даному виду виробів, без стороннього присмаку та запаху

Примітка 1. Великими вважаються тріщини, що проходять через всю поверхню скоринки в одному чи декількох напрямках і мають ширину більшу ніж 1 см.

Примітка 2. Великими вважаються підриви, що охоплюють усю довжину однієї з бокових сторін формового хліба чи більше половини обводу подового хліба і мають ширину більше 1 см у формового хліба та більше 2 см у подового хліба.

3.4.2. За фізико-хімічними показниками вироби хлібобулочні повинні відповідати вимогам наведеним в таблиці 2.

Таблиця 2 – Фізико-хімічні показники виробів хлібобулочних

Найменування виробу	Найменування показника		
	вологість м'якушки, % не більше	кислотність м'якушки, град не більше	пористість, % не менше
Хліб пшеничний «Особливий новий» з екстрактом шипшини, подовий	43,0	3,0	70,0

Примітка 1. Допускається збільшення кислотності на один градус у виробках, що виготовляються з використанням рідких дріжджів, суміші рідких та пресованих дріжджів, молочнокислих заквасок, кисломолочних продуктів, а також в разі необхідності попередження картопляної хвороби.

3.4.3. Вміст токсичних елементів, мікотоксинів та радіонуклідів у готових виробках не повинен перевищувати гранично допустимі рівні концентрації, встановлені «Медико-биологическими и санитарными нормами качества продовольственного сырья и пищевых продуктов» МБТ № 5061-89, ДСТУ 4161-2003, СанПиН 42-123-4089, ГН 6.6.1.1-130-2006, наведених в таблиці 3.

Таблиця 3 – Допустимі рівні вмісту токсичних елементів та мікотоксинів

Найменування показників	Допустимі рівні, мг/кг не більше	Метод контролювання
Токсичні елементи:		
ртуть	0,01	Згідно з ГОСТ 26927-86
миш'як	0,1	Згідно з ГОСТ 26930-86
мідь	5,0	Згідно з ГОСТ 26931-86
свинець	0,3	Згідно з ГОСТ 26932-86
кадмій	0,05	Згідно з ГОСТ 26933-86
цинк	25,0	Згідно з ГОСТ 26934-86
Мікотоксини:		
афлотоксин В1	0,005	Згідно з МР № 2273-80
дезиксиніваленол	0,5	Згідно з МУ № 3940-84
зеарелон	1,0	Згідно з МУ № 2964-84
Т-2 токсин	0,1	Згідно з МР № 3184-84
Радіонукліди, Бк/кг, не більше:		
цезію-137	20	Згідно з МУ №5778-91
стронцію-90	5	Згідно з МУ №5779-91

3.4.4. Вміст залишкових кількостей пестицидів у готових виробках не повинно перевищувати допустимі рівні за ДСанПиН 8.8.1.2.3.4-000-2001. Метод контролювання згідно з СанПиН 42-123-4540-87.

Порядок і періодичність контролю показників безпеки сировини та готових виробів обрано у відповідності МР 4.4.4-108-2004, МВ № 5.08.07/1232, МУ 5175-90.

3.4.5. У готових виробках не допускаються сторонні включення, хруст від мінеральних домішок, ознаки хвороби, плісняви.

Мікробіологічні показники мають відповідати вимогам ГН 4.4.2.094-2002, вказаних в табл. 4.

Таблиця 4 – Мікробіологічні показники

Мікробіологічні показники	Допустимий рівень	Метод контролювання
1. МАФAM, КУО/г, не більше	1×10^3	ГОСТ 10444.15-94
2. БПКП (колі-індекс) у 1,0 г продукту	Не допускається	ГОСТ 30518-97
3. Патогенні мікроорганізми в т.ч. сальмонел у 1,0 г продукту	Не допускається	ГОСТ 30519-97
4. Плісеневі гриби, КУО/г, не більше	50	ГОСТ 10444.12-88

3.5. Вимоги до сировини

3.5.1 Для виготовлення хліба пшеничного «Особливий новий» з екстрактом шипшини використовується така сировина:

- борошно пшеничне за ГСТУ 46.004-99
- дріжджі хлібопекарські пресовані за ДСТУ 4812:2007
- сіль кухонна за ДСТУ 3583-97
- екстракт шипшини
- вода питна за ГОСТ 2874-82
- солод неферментований за ДСТУ 4282:2004

Дозволяється використання аналогічної сировини вітчизняного виробництва за наявності позитивного висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи та сертифікату відповідності (про визнання).

3.5.2 Сировина, що використовується при виробництві пшеничного хліба за вмістом токсичних елементів, мікотоксинів, пестицидів, повинна відповідати вимогам, встановленим «Медико-біологічними вимогами та санітарними нормами якості харчових продуктів та продовольчої сировини» МБТ № 5061-89 і СанПиН 42-123-4089-86, СанПиН 42-123-4540-87.

3.5.3 Вміст радіонуклідів в сировині не повинно перевищувати рівні, встановлені у ГН 6.6.1.1-130.

3.5.4. Кожна партія сировини та матеріалів, які поступають і використовуються на виготовлення хліба повинні супроводжуватись документами встановленої форми з наведенням показників безпеки.

3.6. Пакування

3.6.1. Хліб пшеничний «Особливий новий» з екстрактом шипшини виробляють упакованим та без упаковки.

3.6.2. Пакування хліба здійснюють після їх вистигання. Для пакування виробів хлібобулочних використовують поліетиленову харчову плівку за ГОСТ 10354-82 (марки Н) і пакети з неї, поліетиленову термоусадочну плівку за ГОСТ 25951-83 або інші пакувальні матеріали, застосування яких у контакті з

харчовими продуктами дозволено Міністерством охорони здоров'я України, мають сертифікат відповідності та забезпечують збереженість продукції протягом строку придатності.

3.6.3. Допускається реалізація упакованого виробу (або частини його), попередньо нарізаного скибками.

3.6.4. Конкретні способи пакування з вказівкою пакувальних матеріалів, що використовуються, наводяться в документі, у відповідності з яким виготовлений конкретний виріб. Всі види пакування повинні забезпечувати збереження якості хлібобулочних виробів при їх транспортуванні і реалізації в зазначений термін придатності.

3.7. Укладання готових виробів

Готові вироби укладають згідно ДСТУ 7046:2009, ГОСТ 8227 або в транспортну тару.

Максимально допустимі строки витримки виробів на підприємстві вказані в таблиці 5.

Таблиця 5 – Допустимі строки витримки виробів

Найменування	Максимально допустимі строки витримки, год	
	Без упаковки	В упаковці
Хліб «Особливий новий» з екстрактом шипшини	24	48

3.8. Маркування

3.8.1. Споживча упаковка повинна відповідати Закону України «Про безпечність та якість харчових продуктів», Закону України «Про захист прав споживачів», ДСТУ 4518, наказу №183/18921 від 11.02.2011 «Про затвердження Технічного регламенту щодо маркування харчових продуктів» з внесеними доповненнями та змінами.

3.8.2. На пакуванні виробів хлібобулочних повинно бути маркування державною мовою України, що містить у доступній для сприйняття формі інформацію про:

- назву продукту (повне найменування виробу);
- найменування, повну адресу, телефон підприємства-виробника, місце знаходження (юридичну адресу);
- знак для товарів та послуг;
- масу виробу (нетто), кг;
- склад продукту (перелік сировини, використаної у процесі виготовлення виробів, у порядку переваги вмісту складників, у т.ч. харчових добавок);
- інформацію про наявність чи відсутність ГМО згідно діючого законодавства;

- інформацію про харчову (поживну) та енергетичну (калорійність) цінність із вказівкою на вміст білку, вуглеводів та жирів у встановлених одиницях вимірювання на 100 г виробів хлібобулочних (додаток А);

- дату виготовлення;
- термін придатності до споживання (або кінцевий термін реалізації) та умови зберігання;
- товарний знак (за його наявності);
- умови зберігання;
- штрихове кодування згідно з ДСТУ 3147 (у разі необхідності);
- позначення даних технічних умов.

Маркування виконують наклеюванням етикетки на пакет або нанесенням безпосередньо на пакувальний матеріал виразного відбитку трафаретом чи штампувальною фарбою, яка не змивається, без запаху. Дозволено маркування на пакетах з полімерних матеріалів, замінювати ярликом, який вкладають всередину написом до плівки.

3.8.3. Відомості про незапаковані хлібобулочні вироби із пшеничного борошна наводять у інформаційному листку, який розташовують у торгівельній залі. Інформаційний листок повинен містити інформацію згідно ДСТУ 4518-2008.

3.8.4. Транспортне маркування – згідно з ГОСТ 14192-96. На кожен одиницю транспортної тари повинно бути нанесено маркування штампом або наклеюванням ярлика із зазначенням:

- найменування підприємства-виробника, його підпорядкованість і місце знаходження (юридичну адресу), товарний знак (при наявності);
- знак для товарів та послуг;
- назва виробу з вказівкою його термічного стану;
- маси нетто, кг;
- кількості виробів в транспортній тарі, шт.;
- маси нетто пакувальної одиниці в г або кг;
- номер партії і/або номер пакувальної одиниці;
- строку зберігання;
- дати і часу виготовлення;
- номер та прізвище пакувальника;
- позначення даних технічних умов;
- інформацію про підтвердження відповідності.

Таким же ярликом маркують контейнери з зазначенням кількості одиниць упаковки.

Ярлик повинен бути чистим, цілим, акуратно наклеєним на тару.

Допускається не нанесення маркування на транспортну тару з вкладеними за ГОСТ 8227 хлібобулочними виробами у споживчій тарі.

4 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. При виготовленні виробів хлібобулочних слід керуватись вимогами, встановленими «Санитарними правилами для підприємств хлебопекарной промышленности» СП № 823, СП №1042, наказу Укрхлібпрому №37 від 19.07.2000 р., СанПіН 2.3.4.545, а також виконувати вимоги безпеки згідно ГОСТ 12.3.002, ДСТУ 3273-95, ДСТУ EN 1672-1-2001, ДСТУ EN 1672-2-2001, ДНАОП 1.8.10-1.27.

4.2. Ведення технологічного процесу повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.3.002, пожежна безпека виробничих приміщень – ГОСТ 12.1.004, електробезпека – ГОСТ 12.1.019, вибухобезпека – ГОСТ 12.1.010.

4.3. Технологічне обладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91, ДСТУ 2583-94, ДСТУ EN 1672-1-2001, ДСТУ EN 1672-2-2001.

4.4. Робочі місця повинні бути організовані згідно ГОСТ 12.2.061

4.5. Температура зовнішньої поверхні обладнання не повинна перевищувати 45°C.

4.6. Робітники мають бути забезпечені санітарним одягом, халатами, шапочками за ГОСТ 12.4.103, а також засобами захисту за ГОСТ 12.4.011.

4.7. Попередні та періодичні медичні огляди необхідно проходити у відповідності з наказами МОЗ №246 від 21.05.2007

4.8. Вантажно-розвантажувальні роботи повинні бути організовані згідно вимог ГОСТ 12.3.009.

4.9. Контроль за рівнем шуму проводиться відповідно з ГОСТ 12.1.050, за рівнем вібрації за ГОСТ 12.4.012. Еквівалентний рівень шуму повинен відповідати ДСН 3.3.6.037 і ГОСТ 12.1.003. Еквівалентний рівень вібрації повинен відповідати ДСН 3.3.6.039, ГОСТ 12.1.012.

4.10. Повітря робочої зони виробничих приміщень повинно відповідати ГОСТ 12.1.005, мікроклімат – ДСН 3.3.6.042.

4.11. Виробничі приміщення повинні бути обладнані приливно-витяжною вентиляцією за ГОСТ 12.4.021, СНіП 2.04.05.

4.12. Природне та штучне освітлення виробничих приміщень повинно відповідати СНіП II-4-79, ДБН В.2.5-28-2006.

4.13. Приміщення повинні бути забезпечені питною водою, що відповідає вимогам ГОСТ 2874, ДСанПіН 2.2.4-171-10.

4.14. Контроль за станом навколишнього середовища, що включає охорону атмосферного повітря, контроль за викидами стічних вод, охорону ґрунту

повинен здійснюватися відповідно ГОСТ 17.2.3.02, ДСП 201; СанПіН 4630; ДСанПіН 145-2011.

4.15. Контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферу повинен виконуватися у відповідності з вимогами ДСП 201, ГОСТ 17.2.3.02.

4.16. Стічні води повинні відповідати вимогам СанПіН 4630.

4.17. Охорона ґрунту від забруднення повинна виконуватися у відповідності з вимогами ДСанПіН 145-2011.

5 ПРАВИЛА ПРИЙМАННЯ

5.1. Хліб пшеничний приймають партіями. Приймання здійснюється за ДСТУ 7044. Партією вважається довільну кількість виробів хлібобулочних з однаковою назвою, що виготовлені за однакових умов на одному й тому ж підприємстві, однієї дати виробництва, оформлених одним документом про якість.

5.2. Для визначення відповідності продукції вимогам цих технічних умов, підприємство-виробник проводить приймально-здавальний та періодичний контроль.

5.3. Приймально-здавальному контролю підлягає кожна партія продукту, за органолептичними показниками, масою виробу, якістю пакування та маркування. Кожна партія хліба пшеничного повинна супроводжуватись посвідченням якості і безпеки. Відповідність партії незапакованої продукції вимогам даних технічних умов засвідчується штампом на товарно-транспортній накладній у разі транспортування в межах міста виробника, посвідченням про якість і безпеку – у разі транспортування за межі.

Для кожної партії продукції у товарно-транспортній накладній проставляється час виймання готових виробів з печі.

При комп'ютерній системі оформлення у товарно-транспортну накладну вноситься у спеціально відведене місце (рамку) така інформація: «Штамп про якість. Продукція відповідає вимогам нормативної документації. Контролер, прізвище або номер контролера»

5.4. Органолептичні показники продукції, наявність сторонніх включень, хруст від мінеральних домішок, ознаки хвороби та наявність плісені, відповідність пакування і маркування, масу і масу нетто виробів визначають у кожній партії згідно ДСТУ 2925-94, 7044:2009.

5.5. Періодичність контролювання фізико-хімічних показників згідно ДСТУ 7045:2009 обирають згідно з планом-графіком підприємства виробника, який повинен гарантувати відповідність зазначених показників даного документу, ГСТУ 158.00389676.009 -2000, або за вимогами споживача чи контролюючої організації.

5.6. Періодичний контроль за показниками безпеки (вмістом токсичних елементів, мікотоксинів, пестицидів) проводиться у відповідності з методичними вказівками «Порядок та періодичність контролю продовольчої сировини і харчових продуктів за показниками безпеки» МВ 5.08.07/1232. Вміст радіонуклідів цезію-137 і стронцію-90 визначаються у відповідності з ГН 6.6.1.1-130.

5.7. Вхідний контроль сировини здійснюється в кожній партії згідно з порядком встановленим виробником згідно з ГОСТ 24297.

5.8. Сертифікаційні випробування виробів проводяться відповідно до вимог ДСТУ 3413.

5.9. Вимоги безпеки розділів 3,4 контролюються в процесі підготовки і освоєння виробництва, і згідно з порядком, встановленим органам Держнагляду за методами, затвердженими в установленому порядку.

5.8 Для визначення якості сировини та матеріалів, що надходять до підприємства, проводять вхідний контроль за ГОСТ 24297.

5.10 Сертифікаційні випробування проводяться за ДСТУ 3413.

6. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

6.1. Відбір проб, підготовка їх до аналізу, методи визначення органолептичних показників, наявність сторонніх включень, хрусту від мінеральних домішок, ознак хвороб, плісені та маси і маси нетто за ДСТУ 7044:2009, Р-158.00389676.005:2007.

6.2. Методи аналізу готової продукції, визначення вологості, пористості, кислотності м'якушки за ДСТУ 7045.

6.3. Визначення токсичних елементів

6.3.1. Підготовка проб для визначення токсичних елементів – згідно ГОСТ 26929.

6.3.2. Визначення вмісту токсичних елементів проводиться згідно з вимогами: ртуті – ГОСТ 26927; миш'яку – ГОСТ 26930; міді – ГОСТ 26931; свинцю – ГОСТ 26932; кадмію – ГОСТ 26933; цинку – ГОСТ 26934.

6.4. Визначення вмісту мікотоксинів: афлатоксину В за Методичними рекомендаціями МР № 2273; зеараленону – Методичними вказівками МУ № 2964; дезоксиніваленону – МУ № 3940; Т2-токсину – МР №3184.

6.5. Визначення вмісту пестицидів згідно СанПіН 42-123-4540-87.

6.6. Відбір проб для радіаційного контролю – за МВ 6.6.1-10.10.1.7.158-08. Визначення радіонуклідів: стронцію-90 – за МУ 5778; цезію-137 – МУ 5779.

6.7. Визначення мікробіологічних показників

6.7.1. Відбір проб і підготовка їх до мікробіологічного аналізу – за ГОСТ 26668, ГОСТ 26669, ГОСТ 26670.

6.7.2. Контроль мікробіологічних показників:

- кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) – за ГОСТ 10444.15;
 - бактерій групи кишкової палички (коліформні) [БГКП (коліформи)] – за ГОСТ 30518;
 - *Staphylococcus aureus* – за ГОСТ 10444.2;
 - бактерії роду *Proteus* – за ГОСТ 28560;
 - патогенних мікроорганізмів, у т.ч. сальмонели – за ГОСТ 30519;
 - кількість пліснявих грибів – за ГОСТ 10444.12.
- 6.8. Контроль за вмістом генетично модифікованих організмів та їх похідних за ДСТУ ISO 24276:2008.

7 ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ

7.1. Транспортування та зберігання хліба пшеничного «Особливий новий» з екстрактом шипшини - за ДСТУ 7046.

7.2. Термін максимального витримування на підприємстві-виробнику незапакованих виробів після виходу з печі не більше 10 год.

7.3. Термін реалізації у роздрібній торговельній мережі з моменту виймання з печі виробів не більше 24 годин (упакованих - не більше 48 годин).

7.3. Реалізація виробів хлібобулочних у роздрібній торговельній мережі повинна здійснюватись за наявності інформації, поданої підприємством-виробником, про енергетичну цінність, вміст білка, жиру вуглеводів, вітамінів і мінеральних елементів – в 100 г виробу згідно з додатком А. Інформація подається через торговельну мережу за домовленістю.

8 ГАРАНТІЇ ВИРОБНИКА

8.1 Виробник гарантує відповідність хліба пшеничного «Особливий новий» з екстрактом шипшини вимогам цих технічних умов при дотримуванні правил зберігання та транспортування.

8.2. Гарантійний термін зберігання виробів хлібобулочних згідно 7.4-7.5.

8.3. Строк придатності виробів хлібобулочних згідно 7.4-7.5.

2
ХАРЧОВА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЦІННІСТЬ
Додаток А
(довідковий)

Інформація про харчову(поживну) та енергетичну цінність (калорійність) на 100 г виробів

Таблиця А.1 - Харчова(поживна) та енергетична цінність (калорійність) на 100 г виробів

Назва виробу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Вітаміни, мг				Енергетична цінність, ккал
											В ₁	В ₂	РР	Е	
Хліб пшеничний «Особливий новий» з екстрактом шпшпини		7,91	0,97	51,07	526,72	107,07	22,47	19,88	72,99	1,81	0,15	0,06	1,26	1,15	231,93

2

Додаток Б
(обов'язковий)

Перелік видів хлібобулочних виробів, які можуть випускатись за
даними технічними умовами

Хліб пшеничний «Особливий новий» з екстрактом шипшини
- подовий

2

Додаток Б
(обов'язковий)

Перелік видів хлібобулочних виробів, які можуть випускатись за
даними технічними умовами

Хліб пшеничний «Особливий новий» з екстрактом шипшини
- подовий

ДОДАТОК Б

Список публікацій здобувача

Наукометричні видання

1. Burdo, O., Alhurie, U., Syrotiuk, I., Levtrinskaya, 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. –р. 97-108. <https://doi.org/10.15673/fst.v12i3.1045>

Фахові наукові видання

2. Левтринская Ю. О., Альхурі Юсеф, Голінська Я.А., Терзієв С.Г. Вакуумні мікрохвильові техногії при виробництві фітопрепаратів з плодів шипшини // Зб. Наук. Пр. ОНАХТ – Одеса, 2018. Т. 82. №. 1. С.42-48. <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/swonaft/article/download/1004/1063>
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>
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>
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>

Статті у закордонних виданнях

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-teplomassoperenosa>

Статті у наукових виданнях

7. Бурдо О.Г. Пути повышения энергетической эффективности процессов переработки плодов шиповника [Текст]/ О.Г. Бурдо, Ю. Альхурі // 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)

Тези доповідей

8. Бурдо А.К. Инновационная технология экстрагирования при производстве фитопрепаратов / А.К. Бурдо, Альхури Юсеф, В.П. Величко // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции «Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности». Харьков, 2017. С. 184-187.

9. Бурдо А.К. Екстрагування та концентрування фітопрепаратів в мікрохвильовому полі / А.К. Бурдо, Ю. Альхурі // Chemical Technology and Engieneering (Хімічна технологія та інженерія): збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. м. Львів, 2017. С.198-200.

10. Альхури Ю. Эффективное использование сырья и энергии при производстве фитопрепаратов [Текст] / Ю. Альхури, И.В. Сиротюк // Зб. матер. ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів з міжнар. участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді». Одеса, 2016. С. 236-237.

11. Альхарі Ю. Кінетика екстрагування фітопрепаратів в мікрохвильовому полі / Ю. Альхарі, А.К. Бурдо [Текст] // Матеріали конф. Міжнародна науково-практична конференція «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості». Київ, 2016. С.82-83.

12. Використання сиропу шипшини у технології пшеничного хліба [Електронний ресурс] / Т.Є. Лебеденко, Соколова, Альхурі Ю. // Зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф. «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв». Одеса, 2016. С.367-371.

13. Альхарі Ю. Энергоэффективные технологии переработки плодов шиповника [Текст] / Ю. Альхарі // Матеріали науково-практичної конференції «Енергія. Бізнес. Комфорт». Одеса, 2015. С. 44-45.

14. Альхарі Ю. Повышение эффективности использования сырьевых ресурсов при переработке плодов шиповника [Текст] / Ю. Альхарі // Зб. матер. VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів з міжнар. участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді». Одеса, 2015. С. 336-337.

ДОДАТОК В

Оптимізація режимних параметрів за допомогою програми «EXTRACTOR»

Програма «EXTRACTOR» написана на мові програмування Pascal, у середовищі Borland Delphi 7.0. Програма має зрозумілий інтуїтивний графічний інтерфейс.

Скріншот головного вікна програми «EXTRACTOR.1» для проведення комп'ютерного експерименту за заданими параметрами мікрохвильового екстрактора представлений на рис. В.1.

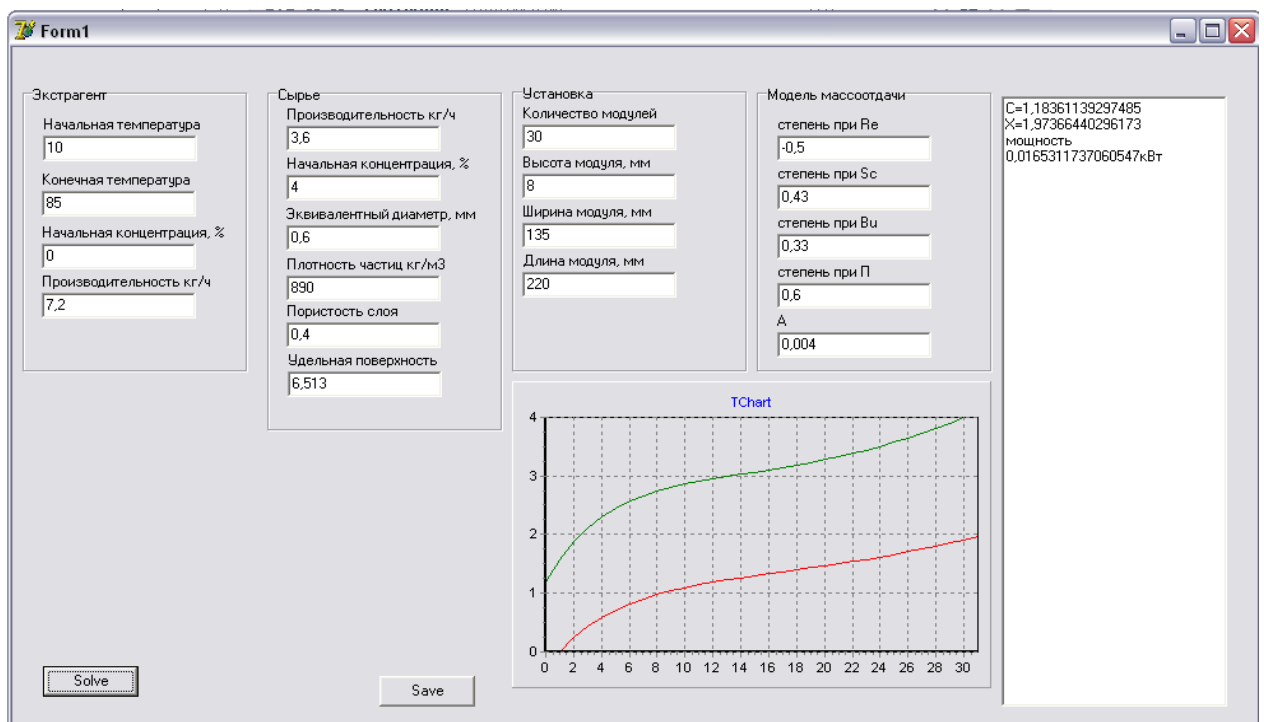


Рис. В.1. Скріншот головного вікна програми «EXTRACTOR.1» для проведення комп'ютерного експерименту.

Скріншот головного вікна програми «EXTRACTOR.2» для проведення оптимізації МХ екстрактора надано на рис. В.2.

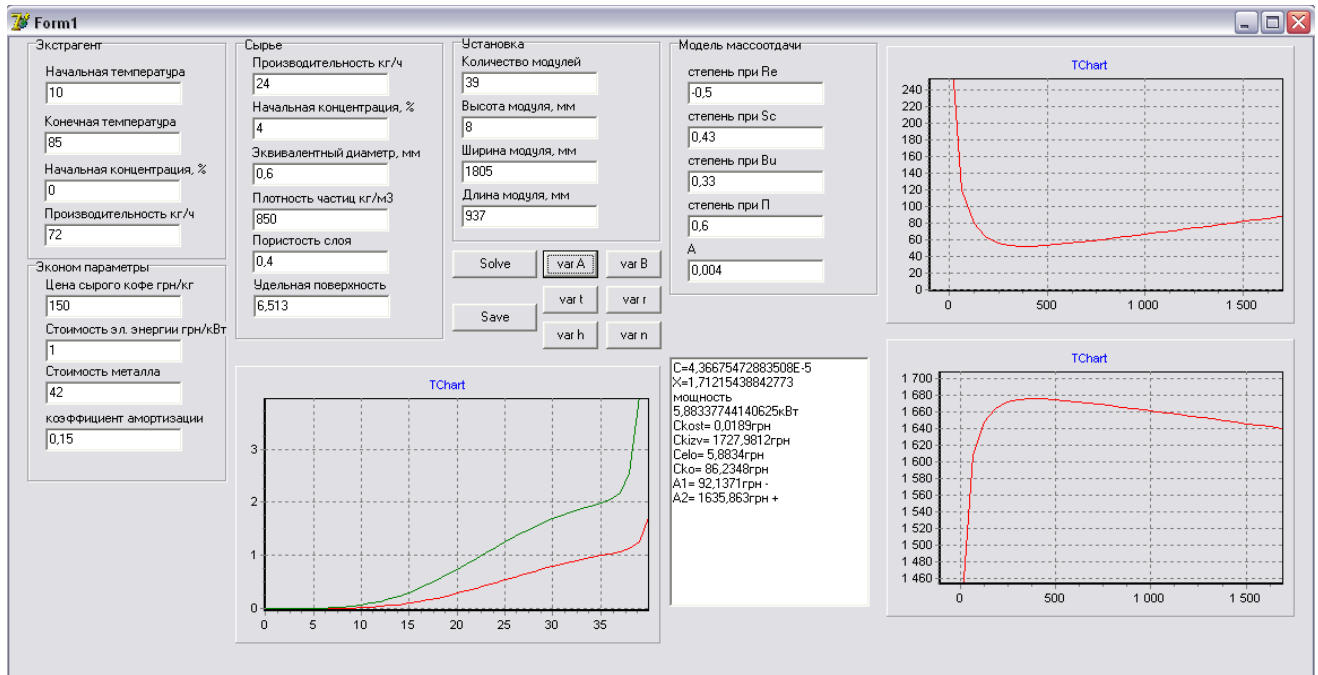


Рис. В.2. Скріншот главного окна программы «EXTRACTOR.2» для проведения оптимізації.

Лістинг програми «EXTRACTOR.1» для визначення кінцевих концентрацій і вихідної потужності MX екстрактора

unit Unit1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Menus, Math, TeEngine, Series, TeeProcs,
Chart, ExtDlgs;

type

TForm1 = class(TForm)

 GroupBox1: TGroupBox;

 MainMenu1: TMainMenu;

 GroupBox2: TGroupBox;

 GroupBox3: TGroupBox;

 LabeledEdit1: TLabeledEdit;

 LabeledEdit2: TLabeledEdit;

 LabeledEdit3: TLabeledEdit;

 LabeledEdit4: TLabeledEdit;

 LabeledEdit5: TLabeledEdit;

 LabeledEdit6: TLabeledEdit;

 LabeledEdit7: TLabeledEdit;

 LabeledEdit8: TLabeledEdit;

 LabeledEdit9: TLabeledEdit;

 LabeledEdit10: TLabeledEdit;

 LabeledEdit11: TLabeledEdit;

 LabeledEdit12: TLabeledEdit;

 LabeledEdit13: TLabeledEdit;

 GroupBox4: TGroupBox;

```

LabeledEdit14: TLabeledEdit;
LabeledEdit15: TLabeledEdit;
LabeledEdit16: TLabeledEdit;
LabeledEdit17: TLabeledEdit;
Memo1: TMemo;
LabeledEdit18: TLabeledEdit;
LabeledEdit19: TLabeledEdit;
Chart1: TChart;
Series1: TLineSeries;
Series2: TLineSeries;
Button1: TButton;
Button2: TButton;
SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
GroupBox5: TGroupBox;
LabeledEdit20: TLabeledEdit;
LabeledEdit21: TLabeledEdit;
Chart2: TChart;
Chart3: TChart Series3: TLineSeries;
Series4: TLineSeries;
LabeledEdit22: TLabeledEdit;
LabeledEdit23: TLabeledEdit;
Button3: TButton;
Series5: TLineSeries;
Series6: TLineSeries;
Series7: TLineSeries;
Series8: TLineSeries;
Button4: TButton;
Button5: TButton;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.dfm}
const g=9.81;
var
  Ten,Tek,Xn,Xk,Ge:single;
  Gz,Cn,Ck,de,roz,eps, Fud,Fkon:single;
  zm:integer;

```



```

H,B,A:single;
pRe, pSc, pBu, pP, AA:single;
Fs:single;
Tcur,Xcur,Ccur:array of single;
delt,N,delN:single;
dc,ke,Gsh,taukas:single;
Cel, cks, cnm, gamma, A1, A2, Ckizv, Ckost, Celo, Cko:currency;

function Xp(C,t:single):single;
begin
  result:=-1.934e-5+0.33*C+6.498e-7*t+4.423e-3*C*t;
end;

procedure onesolve(i:integer);
var betta,St,Sc,w,Bu,Re,P,x,c,t,cp,roe,nue,rpe,dx, dtau, dtau1,Ve:single;
  delM, Mase:single;
  j,j2:integer;
begin
  x:=Xcur[i];
  c:=Ccur[i];
  t:=Tcur[i];

  dx:=(1.968e-8*sqr(t)*t+3.702e-5*sqr(t)+3.759e-3*t+0.099)*1e-9;
  roe:=1000+4.9*x-(0.646+0.00354*x)*t;
  cp:=4187-(27.29-9.37*t)*10*x;
  nue:=(exp(exp(33.23-5.93*Ln(t+273)))-0.87)*1e-6;
  rpe:=(2470.7-1.66*t-0.48e-2*sqr(t))*1000;
  w:=Ge/Fs/roe;
  Mase:=A*B*H*roe*eps;
  dtau:=Sqrt(sqr(a)+sqr(H))/w;
  delN:=Ge*cp*delt*0.7;
  Re:=w*H/nue;
  Sc:=nue/dx;
  P:=ke/sqr(H);
  Bu:=delN/(rpe*H*B*w*roe);
  St:=AA*power(Re,pRe)*power(Sc,pSc)*power(P,pP)*power(Bu,pBu);
  betta:=St*w;
  for j:=1 to 100 do
    begin
      Ve:=betta*Fkon*(Xp(c,t)-x)*dtau/100;
      if Ve<0 then Ve:=0;
      delM:=Ve*roz;
      if delM>=c/100*Gsh then delM:=c/100*Gsh/1000;
      c:=(c/100*Gsh-delM)/Gsh*100;
      x:=(x/100*Mase+delM)/Mase*100;
    end;
  for j:=0 to trunc(taukas/dtau)-1 do
    begin
      x:=Xcur[i];

```

```

    roe:=1000+4.9*x-(0.646+0.00354*x)*t;
    cp:=4187-(27.29-9.37*t)*10*x;
    nue:=(exp(exp(33.23-5.93*Ln(t+273)))-0.87)*1e-6;
    rpe:=(2470.7-1.66*t-0.48e-2*sqr(t))*1000;
    w:=Ge/Fs/roe;
    Mase:=A*B*H*roe*eps;
    Re:=w*H/nue;
    Sc:=nue/dx;
    P:=ke/sqr(H);
    Bu:=delN/(rpe*H*B*w*roe);
    St:=AA*power(Re,pRe)*power(Sc,pSc)*power(P,pP)*power(Bu,pBu);
    betta:=St*w;
for j2:=1 to 100 do
begin
    Ve:=betta*Fkon*(Xp(c,t)-x)*dtau/100;
    if Ve<0 then Ve:=0;
    delM:=Ve*roz;
    if delM>=c/100*Gsh then delM:=c/100*Gsh/1000;
    c:=(c/100*Gsh-delM)/Gsh*100;
    x:=(x/100*Mase+delM)/Mase*100;
end;
end;
Xcur[i+1]:=x;
if taukas>dtau then
begin
    dtau1:=taukas-trunc(taukas/dtau)*dtau;
    x:=Xcur[i];
    roe:=1000+4.9*x-(0.646+0.00354*x)*t;
    cp:=4187-(27.29-9.37*t)*10*x;
    nue:=(exp(exp(33.23-5.93*Ln(t+273)))-0.87)*1e-6;
    rpe:=(2470.7-1.66*t-0.48e-2*sqr(t))*1000;
    w:=Ge/Fs/roe;
    Mase:=A*B*H*roe*eps;
    Re:=w*H/nue;
    Sc:=nue/dx;
    P:=ke/sqr(H);
    Bu:=delN/(rpe*H*B*w*roe);
    St:=AA*power(Re,pRe)*power(Sc,pSc)*power(P,pP)*power(Bu,pBu);
    betta:=St*w;
for j2:=1 to 100 do
begin
    Ve:=betta*Fkon*(Xp(c,t)-x)*dtau1/100;
    if Ve<0 then Ve:=0;
    delM:=Ve*roz;
    if delM>=c/100*Gsh then delM:=c/100*Gsh/1000;
    c:=(c/100*Gsh-delM)/Gsh*100;
end;
end;
//x:=(x/100*Mase+delM)/Mase*100;
end;

```

```

    Ccur[i]:=c;
end;

procedure init;
var i:integer;
begin
    Ten:=StrToFloat(form1.LabeledEdit1.Text);
    Tek:=StrToFloat(form1.LabeledEdit2.Text);
    Xn:=StrToFloat(form1.LabeledEdit3.Text);
    //Xk:=StrToFloat(form1.LabeledEdit4.Text);
    Ge:=StrToFloat(form1.LabeledEdit4.Text)/3600;
    Gz:=StrToFloat(form1.LabeledEdit5.Text)/3600;
    //-----
    Cn:=StrToFloat(form1.LabeledEdit6.Text);
    de:=StrToFloat(form1.LabeledEdit7.Text)/1000;
    roz:=StrToFloat(form1.LabeledEdit8.Text);
    eps:=StrToFloat(form1.LabeledEdit11.Text);
    Fud:=StrToFloat(form1.LabeledEdit19.Text);
    //-----
    zm:=StrToInt(form1.LabeledEdit9.Text);
    H:=StrToFloat(form1.LabeledEdit10.Text)/1000;
    B:=StrToFloat(form1.LabeledEdit12.Text)/1000;
    A:=StrToFloat(form1.LabeledEdit13.Text)/1000;
    //-----
    pRe:=StrToFloat(form1.LabeledEdit14.Text);
    PSc:=StrToFloat(form1.LabeledEdit15.Text);
    pBu:=StrToFloat(form1.LabeledEdit16.Text);
    pP:=StrToFloat(form1.LabeledEdit17.Text);
    AA:=StrToFloat(form1.LabeledEdit18.Text);
    //-----
    Cel:=StrToCurr(form1.LabeledEdit21.Text);
    cks:=StrToCurr(form1.LabeledEdit20.Text);
    cnm:=StrToCurr(form1.LabeledEdit22.Text);
    gamma:=StrToCurr(form1.LabeledEdit23.Text);
    //-----
    Fs:=B*H;
    form1.Memo1.Lines.Add(Floattostr(FS));
    SetLength(Tcur,zm+2);
    SetLength(Xcur,zm+2);
    SetLength(Ccur,zm+2);
    Tcur[0]:=Ten;
    delt:=(Tek-Ten)/(zm);
    for i:=0 to zm-1 do
        Tcur[i+1]:=Tcur[i]+delt/2;
    Xcur[0]:=Xn;
    Ccur[0]:=Cn;
    for i:=0 to zm do
        Ccur[i+1]:=Ccur[i];
    dc:=2/3*eps/(1-eps)*de;

```

```

ke:=sqr(dc/2)/8;
Gsh:=A*B*H*roz*(1-eps);
taukas:=Gsh/Gz;
Fkon:=Gsh*Fud;
end;
procedure Solve;
var i,j:integer;
begin
  init;
  form1.Series1.Clear;
  form1.Series2.Clear;
  form1.Memo1.Clear;
  for j:=0 to zm do
    begin
      N:=0;
      for i:=1 to zm do
        begin
          onesolve(i);
          N:=N+delN;
        end;
      for i:=0 to zm do Ccur[i]:=Ccur[i+1];
      end;
    for i:=0 to zm+1 do
      begin
        form1.Series1.AddXY(i,Xcur[i]);
        form1.Series2.AddXY(i,Ccur[i]);
        if i=0 then form1.Memo1.Lines.Add('C='+floattostr(Ccur[i]));
        if i=zm+1 then form1.Memo1.Lines.Add('X='+floattostr(Xcur[i]));
      end;
      form1.Memo1.Lines.Add('îùîñöü ');
    form1.Memo1.Lines.Add(floattostr(N/1000)+'êÂò');
    Ckost:=Gz*3600*Ccur[0]/100*12*cks;
    Cel:=N/1000*Cel;
    Cko:=gamma*zm*H*(A+B)*0.002*8000*cnm;
    A1:=Ckost+Celo+Cko;
    Ckizv:=Gz*3600*(Cn-Ccur[0])/100*12*cks;
    A2:=Ckizv-Celo-Cko;
    form1.Memo1.Lines.Add('Ckost= '+currtostr(Ckost)+'ãđí ');
    form1.Memo1.Lines.Add('Ckizv= '+currtostr(Ckizv)+'ãđí ');
    form1.Memo1.Lines.Add('Celo= '+currtostr(Celo)+'ãđí ');
    form1.Memo1.Lines.Add('Cko= '+currtostr(Cko)+'ãđí ');
    form1.Memo1.Lines.Add('A1= '+currtostr(A1)+'ãđí - ');
    form1.Memo1.Lines.Add('A2= '+currtostr(A2)+'ãđí + ');
  end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Solve;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);

```

```

begin
  if form1.SavePictureDialog1.Execute then
    begin form1.Chart1.SaveToMetafileEnh(form1.SavePictureDialog1.FileName+'.1emf');
  form1.Chart1.SaveToMetafileEnh(form1.SavePictureDialog1.FileName+'.2emf');
  form1.Chart1.SaveToMetafileEnh(form1.SavePictureDialog1.FileName+'.3emf');
    end;
  end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
  Series3.Clear;
  Series4.Clear;
  for i:=0 to 20 do
    begin
      //LabeledEdit13.Text:='100';
      LabeledEdit12.Text:=InttoStr(i*30+5);
      Solve;
      Series3.AddXY(i*30+5,A1);
      Series4.AddXY(i*30+5,A2);
      Application.ProcessMessages;
    end;
  { for i:=0 to 20 do
    begin
      LabeledEdit13.Text:='300';
      LabeledEdit12.Text:=InttoStr(i*30+5);
      Solve;
      Series5.AddXY(i*30+5,A1);
      Series7.AddXY(i*30+5,A2);
      Application.ProcessMessages;
    end;
  for i:=0 to 20 do
    begin
      LabeledEdit13.Text:='500';
      LabeledEdit12.Text:=InttoStr(i*30+5);
      Solve;
      Series6.AddXY(i*30+5,A1);
      Series8.AddXY(i*30+5,A2);
      Application.ProcessMessages;
    end; }
  end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
  Series3.Clear;
  Series4.Clear;
  for i:=0 to 20 do
    begin
      //LabeledEdit13.Text:='100';
      LabeledEdit13.Text:=InttoStr(i*30+5);

```

```

    Solve;
    Series3.AddXY(i*30+5,A1);
    Series4.AddXY(i*30+5,A2);
    Application.ProcessMessages;
end;
end;
procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
    Series3.Clear;
    Series4.Clear;
    for i:=0 to 25 do
    begin
        //LabeledEdit13.Text:='100';
        LabeledEdit2.Text:=InttoStr(i*7+35);
        Solve;
        Series3.AddXY(i*7+35,A1);
        Series4.AddXY(i*7+35,A2);
        Application.ProcessMessages;
    end;
end;
end.

```

Лістинг програми «EXTRACTOR.2» для проведення оптимізації МХ

```

unit Unit1;
interface
uses
    Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes,
    Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Menus, Math,
    TeEngine, Series, TeeProcs,
    Chart, ExtDlgs;
type
    TForm1 = class(TForm)
        GroupBox1: TGroupBox;
        MainMenu1: TMainMenu;
        GroupBox2: TGroupBox;
        GroupBox3: TGroupBox;
        LabeledEdit1: TLabeledEdit;
        LabeledEdit2: TLabeledEdit;
        LabeledEdit3: TLabeledEdit;
        LabeledEdit4: TLabeledEdit;
        LabeledEdit5: TLabeledEdit;
        LabeledEdit6: TLabeledEdit;
        LabeledEdit7: TLabeledEdit;
        LabeledEdit8: TLabeledEdit;
        LabeledEdit9: TLabeledEdit;
        LabeledEdit10: TLabeledEdit;
        LabeledEdit11: TLabeledEdit;
        LabeledEdit12: TLabeledEdit;
        LabeledEdit13: TLabeledEdit;
        GroupBox4: TGroupBox;
        LabeledEdit14: TLabeledEdit;
        LabeledEdit15: TLabeledEdit;
        LabeledEdit16: TLabeledEdit;
        LabeledEdit17: TLabeledEdit;
        Memo1: TMemo;
        LabeledEdit18: TLabeledEdit;
        LabeledEdit19: TLabeledEdit;
        Chart1: TChart;
        Series1: TLineSeries;
        Series2: TLineSeries;
        Button1: TButton;
        Button2: TButton;
        SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
        GroupBox5: TGroupBox;
        LabeledEdit20: TLabeledEdit;
        LabeledEdit21: TLabeledEdit;
        Chart2: TChart;
        Chart3: TChart;
        Series3: TLineSeries;
        Series4: TLineSeries;
        LabeledEdit22: TLabeledEdit;
        LabeledEdit23: TLabeledEdit;
        Button3: TButton;
        Series5: TLineSeries;
        Series6: TLineSeries;
        Series7: TLineSeries;
        Series8: TLineSeries;
        Button4: TButton;
    end;

```

```

Button5: TButton;
Button6: TButton;
Button7: TButton;
Button8: TButton;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form1: TForm1;
implementation
  {$R *.dfm}
  const g=9.81;
  var
    Ten,Tek,Xn,Xk,Ge:single;
    Gz,Cn,Ck,de,roz,eps, Fud,Fkon:single;
    zm:integer;
    H,B,A:single;
    pRe, pSc, pBu, pP, AA:single;
    Fs:single;
    Tcur,Xcur,Ccur:array of single;
    delT,N,delN:single;
    dc,ke,Gsh,taukas:single;
    Cel, cks, cnm, gamma, A1, A2, Ckizv, Ckost,
    Celo, Cko:currency;
  function Xp(C,t:single):single;
  begin
    result:=-1.934e-5+0.33*C+6.498e-7*t+4.423e-
    3*C*t;
  end;
  procedure onesolve(i:integer);
  var  betta,St,Sc,w,Bu,Re,P,x,c,t,cp,roe,nue,rpe,dx,
    dtau, dtau1,Ve:single;
    delM, Mase:single;
    j,j2:integer;
  begin
    x:=Xcur[i];
    c:=Ccur[i];
    t:=Tcur[i];
    dx:=(1.968e-8*sqr(t)*t+3.702e-5*sqr(t)+3.759e-
    3*t+0.099)*1e-9;
    roe:=1000+4.9*x-(0.646+0.00354*x)*t;
    cp:=4187-(27.29-9.37*t)*10*x;
    nue:=(exp(exp(33.23-5.93*Ln(t+273)))-0.87)*1e-
    6;
    rpe:=(2470.7-1.66*t-0.48e-2*sqr(t))*1000;
    w:=Ge/Fs/roe;
    Mase:=A*B*H*roe*eps;
    dtau:=Sqrt(sqr(a)+sqr(H))/w;
    delN:=Ge*cp*delT*0.7;
    Re:=w*H/nue;
    Sc:=nue/dx;
    P:=ke/sqr(H);
    Bu:=delN/(rpe*H*B*w*roe);
    St:=AA*power(Re,pRe)*power(Sc,pSc)*power(P,p
    P)*power(Bu,pBu);
    betta:=St*w;
    for j:=1 to 100 do
      begin
        Ve:=betta*Fkon*(Xp(c,t)-x)*dtau/100;
        if Ve<0 then Ve:=0;
        delM:=Ve*roz;
        if delM>=c/100*Gsh then
          delM:=c/100*Gsh/1000;
          c:=(c/100*Gsh-delM)/Gsh*100;
          x:=(x/100*Mase+delM)/Mase*100;
        end;
      for j:=0 to trunc(taukas/dtau)-1 do
        begin
          x:=Xcur[i];
          roe:=1000+4.9*x-(0.646+0.00354*x)*t;
          cp:=4187-(27.29-9.37*t)*10*x;
          nue:=(exp(exp(33.23-5.93*Ln(t+273)))-
          0.87)*1e-6;
          rpe:=(2470.7-1.66*t-0.48e-2*sqr(t))*1000;
          w:=Ge/Fs/roe;
          Mase:=A*B*H*roe*eps;
          Re:=w*H/nue;
          Sc:=nue/dx;
          P:=ke/sqr(H);
          Bu:=delN/(rpe*H*B*w*roe);
          St:=AA*power(Re,pRe)*power(Sc,pSc)*power(P,p
          P)*power(Bu,pBu);
          betta:=St*w;
          for j2:=1 to 100 do
            begin
              Ve:=betta*Fkon*(Xp(c,t)-x)*dtau/100;
              if Ve<0 then Ve:=0;
              delM:=Ve*roz;
              if delM>=c/100*Gsh then
                delM:=c/100*Gsh/1000;
                c:=(c/100*Gsh-delM)/Gsh*100;
                x:=(x/100*Mase+delM)/Mase*100;
              end;
            end;
          Xcur[i+1]:=x;
          if taukas>dtau then
            begin
              dtau1:=taukas-trunc(taukas/dtau)*dtau;
              x:=Xcur[i];
              roe:=1000+4.9*x-(0.646+0.00354*x)*t;
              cp:=4187-(27.29-9.37*t)*10*x;
              nue:=(exp(exp(33.23-5.93*Ln(t+273)))-
              0.87)*1e-6;

```

```

rpe:=(2470.7-1.66*t-0.48e-2*sqr(t))*1000;
w:=Ge/Fs/roe;
Mase:=A*B*H*roe*eps;
Re:=w*H/nue;
Sc:=nue/dx;
P:=ke/sqr(H);
Bu:=delN/(rpe*H*B*w*roe);

St:=AA*power(Re,pRe)*power(Sc,pSc)*power(P,p
P)*power(Bu,pBu);
  betta:=St*w;
  for j2:=1 to 100 do
    begin
      Ve:=betta*Fkon*(Xp(c,t)-x)*dtau/100;
      if Ve<0 then Ve:=0;
      delM:=Ve*roz;
      if      delM>=c/100*Gsh      then
delM:=c/100*Gsh/1000;
      c:=(c/100*Gsh-delM)/Gsh*100;
    end;
    //x:=(x/100*Mase+delM)/Mase*100;
  end;
  Ccur[i]:=c;
end;
procedure init;
var i:integer;
begin
  Ten:=StrToFloat(form1.LabeledEdit1.Text);
  Tek:=StrToFloat(form1.LabeledEdit2.Text);
  Xn:=StrToFloat(form1.LabeledEdit3.Text);
  //Xk:=StrToFloat(form1.LabeledEdit4.Text);
  Ge:=StrToFloat(form1.LabeledEdit4.Text)/3600;
  Gz:=StrToFloat(form1.LabeledEdit5.Text)/3600;
  //-----
  Cn:=StrToFloat(form1.LabeledEdit6.Text);
  de:=StrToFloat(form1.LabeledEdit7.Text)/1000;
  roz:=StrToFloat(form1.LabeledEdit8.Text);
  eps:=StrToFloat(form1.LabeledEdit11.Text);
  Fud:=StrToFloat(form1.LabeledEdit19.Text);
  //-----
  zm:=StrToInt(form1.LabeledEdit9.Text);
  H:=StrToFloat(form1.LabeledEdit10.Text)/1000;
  B:=StrToFloat(form1.LabeledEdit12.Text)/1000;
  A:=StrToFloat(form1.LabeledEdit13.Text)/1000;
  //-----
  pRe:=StrToFloat(form1.LabeledEdit14.Text);
  PSc:=StrToFloat(form1.LabeledEdit15.Text);
  pBu:=StrToFloat(form1.LabeledEdit16.Text);
  pP:=StrToFloat(form1.LabeledEdit17.Text);
  AA:=StrToFloat(form1.LabeledEdit18.Text);
  //-----
  Cel:=StrToCurr(form1.LabeledEdit21.Text);
  cks:=StrToCurr(form1.LabeledEdit20.Text);
  cnm:=StrToCurr(form1.LabeledEdit22.Text);
  gamma:=StrToCurr(form1.LabeledEdit23.Text);
  //-----
  Fs:=B*H;
  form1.Memo1.Lines.Add(floattostr(FS));
  SetLength(Tcur,zm+2);
  SetLength(Xcur,zm+2);
  SetLength(Ccur,zm+2);
  Tcur[0]:=Ten;
  delt:=(Tek-Ten)/(zm);
  for i:=0 to zm-1 do
    Tcur[i+1]:=Tcur[i]+delt/2;
  Xcur[0]:=Xn;
  Ccur[0]:=Cn;
  for i:=0 to zm do
    Ccur[i+1]:=Ccur[i];
  dc:=2/3*eps/(1-eps)*de;
  ke:=sqr(dc/2)/8;
  Gsh:=A*B*H*roz*(1-eps);
  taukas:=Gsh/Gz;
  Fkon:=Gsh*Fud;
end;
procedure Solve;
var i,j:integer;
begin
  init;
  form1.Series1.Clear;
  form1.Series2.Clear;
  form1.Memo1.Clear;
  for j:=0 to zm do
    begin
      N:=0;
      for i:=1 to zm do
        begin
          onesolve(i);
          N:=N+delN;
        end;
      for i:=0 to zm do Ccur[i]:=Ccur[i+1];
    end;
  for i:=0 to zm+1 do
    begin form1.Series1.AddXY(i,Xcur[i]);
      form1.Series2.AddXY(i,Ccur[i]);
      if      i=0      then
form1.Memo1.Lines.Add('C='+floattostr(Ccur[i]));
      if      i=zm+1  then
form1.Memo1.Lines.Add('X='+floattostr(Xcur[i]));
    end;
    form1.Memo1.Lines.Add('мощность      ');
form1.Memo1.Lines.Add(floattostr(N/1000)+'кВт');
;
    Ckost:=Gz*3600*Ccur[0]/100*12*cks;
    Cel:=N/1000*Cel;
    Cko:=gamma*zm*H*(A+B)*0.002*8000*cnm;
    A1:=Ckost+Celo+Cko;
    Ckizv:=Gz*3600*(Cn-Ccur[0])/100*12*cks;
    A2:=Ckizv-Celo-Cko;
    form1.Memo1.Lines.Add('Ckost=
'+currtostr(Ckost)+'грн ');
    form1.Memo1.Lines.Add('Ckizv=
'+currtostr(Ckizv)+'грн ');

```



```

form1.Memo1.Lines.Add('Celo=
'+currtostr(Celo)+'рґн ');
form1.Memo1.Lines.Add('Cko=
'+currtostr(Cko)+'рґн ');
form1.Memo1.Lines.Add('A1=
'+currtostr(A1)+'рґн - ');
form1.Memo1.Lines.Add('A2=
'+currtostr(A2)+'рґн + ');
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Solve;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
if form1.SavePictureDialog1.Execute then
begin
form1.Chart1.SaveToMetafileEnh(form1.SavePictureDialog1.FileName+'1.emf');
form1.Chart2.SaveToMetafileEnh(form1.SavePictureDialog1.FileName+'2.emf');
form1.Chart3.SaveToMetafileEnh(form1.SavePictureDialog1.FileName+'3.emf');
end;
end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
Series3.Clear;
Series4.Clear;
for i:=0 to 30 do
begin
y:=i*60+5;
//LabeledEdit13.Text:='100';
LabeledEdit12.Text:=InttoStr(y);
Solve;
Series3.AddXY(y,A1);
Series4.AddXY(y,A2);
Application.ProcessMessages;
end;
{ for i:=0 to 20 do
begin
LabeledEdit13.Text:='300';
LabeledEdit12.Text:=InttoStr(i*30+5);
Solve;
Series5.AddXY(i*30+5,A1);
Series7.AddXY(i*30+5,A2);
Application.ProcessMessages;
end;
for i:=0 to 20 do
begin
LabeledEdit13.Text:='500';
LabeledEdit12.Text:=InttoStr(i*30+5);
Solve;
Series6.AddXY(i*30+5,A1);
Series8.AddXY(i*30+5,A2);
Application.ProcessMessages;
end; }
end; }
end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
Series3.Clear;
Series4.Clear;
for i:=0 to 30 do
begin
y:=i*60+5;
//LabeledEdit13.Text:='100';
LabeledEdit13.Text:=InttoStr(y);
Solve;
Series3.AddXY(y,A1);
Series4.AddXY(y,A2);
Application.ProcessMessages;
end;
end;
procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
Series3.Clear;
Series4.Clear;
for i:=0 to 25 do
begin
y:=i*7+35;
//LabeledEdit13.Text:='100';
LabeledEdit2.Text:=InttoStr(y);
Solve;
Series3.AddXY(y,A1);
Series4.AddXY(y,A2);
Application.ProcessMessages;
end;
end;
procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
Series3.Clear;
Series4.Clear;
for i:=0 to 50 do
begin
y:=i*2+24;
//LabeledEdit13.Text:='100';
LabeledEdit4.Text:=InttoStr(y);
Solve;
Series3.AddXY(y/24,A1);
Series4.AddXY(y/24,A2);
Application.ProcessMessages;
end;
end;
procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
var i:integer; y:single;
begin
Series3.Clear;
Series4.Clear;
for i:=0 to 40 do
begin

```

```
    y:=i*0.5+0.49;
    //LabeledEdit13.Text:='100';
LabeledEdit10.Text:=FloatToStr(y);
    Solve;
    Series3.AddXY(y,A1);
    Series4.AddXY(y,A2);
    Application.ProcessMessages;
end;
end;
procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
var i,y:integer;
begin
    Series3.Clear;
    Series4.Clear;
    for i:=0 to 50 do
    begin
        y:=i+1;
        //LabeledEdit13.Text:='100';
LabeledEdit9.Text:=IntToStr(y);
        Solve;
        Series3.AddXY(y,A1);
        Series4.AddXY(y,A2);
        Application.ProcessMessages;
    end;
end;
end;
```

ДОДАТОК Д

Узагальнення результатів досліджень

Отримані дані експериментальних залежностей оброблялися за допомогою програмного пакету Microsoft Excel з метою оцінки швидкості процесу, визначення значень відповідних коефіцієнтів масоотдачі.

У розрахунках використовувалися такі дані: висота каналу – $8 \cdot 10^{-3} \dots 27 \cdot 10^{-3}$ м, ширина каналу $13,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Константа n в рівнянні при числі Sc прийнята рівною 0,43, як зазвичай встановлюється вплив числа Sc в традиційних завданнях масообміну.

Аналогічно проводилася обробка всіх експериментальних даних, отриманих в дослідках по визначенню впливу витрати екстрагенту, потужності мікрохвильового поля і проникності шару шипшини на масообмінні характеристики процесу екстрагування. Результати розрахунків наведені в таблицях

Результати послідовного розрахунку проміжних параметрів (поточної і рівноважної концентрацій, коефіцієнтів дифузії і в'язкості, швидкості потоку) і значень коефіцієнтів інтенсивності процесу масопереносу під час екстрагування з шипшини наведені в таблиці Д.1.

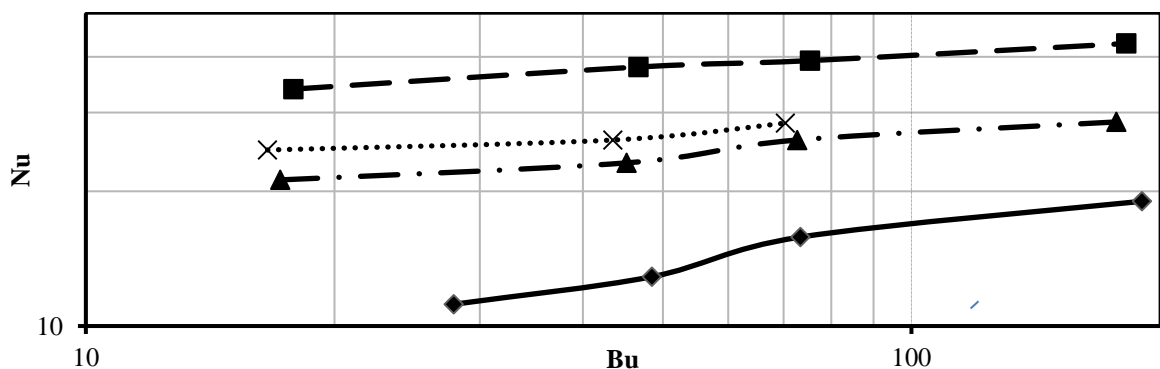


Рис. Д.1. Залежність числа Нусельта від числа Бурдо при мікрохвильовому екстрагуванні шипшини.

З використанням методик теорії подоби конкретизовано математичну модель гідравлічних досліджень.

$$Nu = 0,035 \cdot Bu^{0,4} \cdot Sc^{0,43} \cdot \Gamma^{0,35}$$

Таблиця Д.1.

Концентрація X	Густина	В'язкість кін	В'язкість дин	теплоємність	теплота пароутворення	теплопровідність	Sc	P	Bu	Sh	β	St	Xp
0	992,875	0,000001	0,000992818	4187	2451650	0,588444	6877,694	3,84734E-05	17,94889	0,132726	1,83331E-06	0,02	0,007571
0,733811	991,533	0,000001	0,000991573	4191,045	2447674	0,592121	6416,331	3,84734E-05	17,97805	0,129896	1,92323E-06	0,02	0,007771
1,450673	989,169	0,000001	0,000989197	4169,098	2443650	0,595822	5999,326	3,84734E-05	18,00765	0,127293	2,01571E-06	0,02	0,00797
1,798259	992,365	0,000001	0,000992347	4298,563	2439578	0,59897	5621,194	3,84734E-05	18,03771	0,124483	2,10381E-06	0,02	0,008169
2,149812	966,842	0,000001	0,000966984	4445,423	2435458	0,604528	5277,271	3,84734E-05	18,06822	0,123599	2,225E-06	0,02	0,008369
2,683238	1095,041	0,000001	0,001095041	4853,125	2431290	0,596633	4963,569	3,84734E-05	18,0992	0,11391	2,18017E-06	0,02	0,008568
2,696184	1096,054	0,000001	0,000311213	4456,521	2427074	0,668323	4676,664	3,84734E-05	18,13064	0,209679	4,25933E-06	0,02	0,008767
2,793708	1098,482	0,000001	0,002982351	4495,173	2422810	0,437717	4413,603	3,84734E-05	18,16255	0,066504	1,43146E-06	0,02	0,008967
3,162986	1102,088	0,000001	0,022586707	4785,120	2418498	2,682499	4171,826	3,84734E-05	18,19493	0,066998	1,3986E-06	0,02	0,009166

ДОДАТОК Е

Порядок розрахунків гідродинамічних характеристик апарата.

Гідродинамічну ситуацію в апараті, режим плинку екстрагенту визначає число Рейнольдса. Вихідними даними для розрахунків числа Re є: геометричні розміри екстракційної камери – висота (H , м), довжина (L , м), товщина (B , м); вільний обсяг простору між частками ($V_{нуст}$, м³); об'ємна витрата екстрагенту (V_p , м³/с) і маса плодів ($G_{пл}$, кг).

На підставі цих даних визначається обсяг ємності (V , м³); площі живого перетину ($F_{СЛ}$, м²) екстрактора.

В'язкість екстрагенту є функцією температури

$$\begin{aligned} \nu \cdot 10^6 = & 1,792(103,14\left(\frac{T-273}{273}\right)^4 - 105,26\left(\frac{T-273}{273}\right)^3 + \\ & + 41,728\left(\frac{T-273}{273}\right)^2 - 8,4961\left(\frac{T-273}{273}\right) + 0,9968) \end{aligned} \quad (E 1)$$

Обсяг безпосередньо плодів

$$V_{\kappa} = V - V_{нуст} \quad (E 2)$$

Звідки розраховується щільність шару плодів або їхніх часток

$$\rho_{\kappa} = \frac{G_{пл}}{V_{\kappa}} \quad (E 3)$$

Обсяг однієї частки визначається загальною масою (m), числом часток (n) і щільністю шару

$$V_{\kappa} = \frac{G_{пл}}{n \cdot \rho_{\kappa}} \quad (E 4)$$

Далі визначається еквівалентний діаметр часток (d_3 , м)

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_{\kappa}}{\pi}} \quad (E 5)$$

і пористості шару сировини

$$\varepsilon = \frac{V_{нуст}}{V} \quad (E 6)$$

Швидкість потоку, віднесена до всього перетину

$$wf = VP / F_{CЛ} = VP/HB \quad (E 7)$$

Швидкість потоку (w , м/с) визначається витратою екстрагенту, площею живого перетину каналу й пористістю шару сировини

$$w = \frac{wf}{\varepsilon} \quad (E 8)$$

Далі визначається значення числа Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot H}{\nu} \quad (E 9)$$

Співвідношення (E 1) – (E 9) використовуються в циркуляційних схемах екстрагування.