

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ харчових Технологій

Терзієв Володимир Георгійович

УДК 663.241:015.23

інтенсифікація масопереносу при виробництві кріпких напоїв

Спеціальність 05.18.12 - процеси та апарати харчових виробництв

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2000

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: - доктор технічних наук, професор
Бурдо Олег Григорович, Одеська державна академія харчових
технологій, завідуючий кафедрою процесів та апаратів

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, член кор. НАН України **Снежкін
Юрій Федорович**, Інститут технічної теплофізики НАН
України, м. Київ, заступник директора
- кандидат технічних наук, доцент **Погожих Микола
Іванович**, Харківська державна академія технологій та
організації харчування, доцент кафедри фізики і енергетики.

Провідна організація - Одеська державна академія холоду, кафедра теплофізики,
Міністерства освіти і науки України, м.Одеса.

Захист відбудеться 02.03.2001 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д
41.088.01 в Одеській державній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39,
вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії харчових
технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий 01.02.2001 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.О. Моргун

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з основних чинників, що визначають якість продукту при
дозріванні кріпких напоїв, є процес масопереносу екстрактивних речовин з деревини дуба в
розчин.

Багаторічна витримка коньячних спиртів у дубових бочках за класичною технологією
супроводжується втратами спирту в результаті випари через деревину, які складають
12...20% при виробництві ординарних коньяків та 24...50% - марочних. Друга ключова
проблема - надзвичайно низька оборотність виробничих площ. Все це пояснює постійні
пошуки фахівцями шляхів і методів прискорення процесів дозрівання коньячних
спиртів.

Широке промислове впровадження набула резервуарна технологія, у якій реалізуються
три напрямки інтенсифікації процесу дозрівання коньячних спиртів: збільшення питомої
поверхні дубової клепки; термічний вплив у процесі масопереносу; циркулювання
спирту. Використання на Дербентському заводі парового підігрівника у виді трубки
Фільда і розвиток поверхні клепки дозволили за 30 днів опрацювання одержати екстракт,
що по кількості екстрактивних речовин еквівалентний контрольним спиртам три річної
витримки.

Останнім часом зростає інтерес до досліджень, у яких інтенсифікація процесів досягалася

за рахунок використання електрофізичних впливів: ультразвука і мікрохвильового поля (МХП). Зведення в цьому напрямку наведені в роботах Ю.К.Губієва, де запропоновано новий спосіб вилучення спирту з клепки, що сполучений із процесом активації, і схема прискореного дозрівання, де спирт із резервуара з клепкою насосом прокачується через МХП-інтенсифікатор. Термін тривалості дозрівання скоротився в 2 рази. Здається, що це єдині роботи, у яких зроблені спроби теоретичного обґрунтування комплексної взаємодії харчових матеріалів із МХП.

Незважаючи на приватний характер, результати робіт Ю.К.Губієва однозначно свідчать, що екстрагування в МХП при виробництві кріпких напоїв є перспективним напрямком і вимагає розвитку.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Наведені в роботі дослідження проводилися відповідно до програми розвитку АП “Одеський коньячний завод” у рамках “Концепції розвитку коньячного виробництва України”.

Мета і задачі дослідження- інтенсифікувати масоперенос при вироб- ництві кріпких напоїв і розробити методи розрахунку екстракторів у МХП.

Поставлена мета вимагає рішення наступних задач:

- розробити математичну модель масопереносу при екстрагуванні з деревини; -вивчити умови фазових рівноваг у системі “деревина дуба - водоспиртовий розчин”;
- визначити кінетику масопереносу при екстрагуванні;
- узагальнити результати експериментів і одержати співвідношення для розрахунку інтенсивності масопереносу при екстрагуванні;
- створити інженерну методику розрахунку МХП-екстракторів для технологій виробництва кріпких напоїв;
- одержати дослідні зразки продукту з використанням мікрохвильових технологій, визначити їхній склад, провести дегустаційні дослідження для оцінки перспективності технологій;
- виготовити і випробувати в умовах виробництва МХП-екстрактор.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті комплексу аналітичних, експериментальних та виробничих досліджень вперше:

- доказано наукові положення: а) "Комбінування процесу екстрагування і циклічного впливу МХП ініціює потужний механізм переноса-бародифузію, здатний на порядки знизити дифузійний опір у системі “пористе тіло- розчин”; б) "Використання специфіки основного об'єкту (деревини) і мікрохвильових технологій відчиняє принципово новий шлях до створення проточних МХП-екстракторів, корпус яких і масообмінні канали виконуються безпосередньо в деревині”;

- отримано дифузійну, аналітичну і електродифузійну моделі екстрагування при комбінованому впливі МХП на систему ”розчин- тверда фаза”;

- обґрунтована методом “аналізу розмірностей” структура критеріального рівняння для розрахунку комбінованих процесів екстрагування;

- визначено рівноважні концентрації екстракту в залежності від температури і ступеня виснаження деревини, максимальне утримання в деревині розчинних речовин при впливі МХП;

- визначено залежності впливу потужності МХП, температури, розмірів і типу деревини, гідродинамічних умов у екстракторі, режимів на зміну концентрацій розчину і значення відповідних коефіцієнтів масовіддачі та співвідношення в безрозмірних числах подібності для розрахунку інтенсивності масопереносу в проточних МХП-екстракторах.

Практичне значення одержаних результатів:

-доведено перспективність застосування МХП- апаратів у процесах виробництва екстрактів з деревини, прискорення дозрівання, прогнозування якості спиртів і активації деревини в технологіях виробництва кріпких напоїв;

-розроблена програма розрахунку на ПЕОМ МХП-екстракторів, що заснована на нових наукових результатах автора в області статистики і кінетики взаємодії деревини, водоспиртового розчину і МХП, застосована для проектування подібних систем у широкому діапазоні зміни параметрів;

-оригінальний принцип конструювання МХП-екстракторів, корпус і масообмінні канали якого виконані з деревини, відчиняє нові можливості удосконалення апаратів. Технічна новизна пропозиції захищена патентом України;

-випробування МХП-екстрактора в умовах виробництва підтвердили, що рішення проблеми інтенсифікації масопереносу при екстрагуванні досягнуте;

-результати дегустацій показали, що поряд з істотною інтенсифікацією масопереносних процесів за допомогою МХП можливо впливати і на структурні зміни продукту.

Результати роботи впроваджені на АП “Одеський коньячний завод”. Практично освоєно одержання насичених і пересичених екстрактів для купажування й асамблювання молодих спиртів. Дослідно-промислові зразки екстрактів, зроблених у МХП-апаратах одержали високу оцінку на дегустаціях у Києві й у Кишиневі.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні і доказі наукових положень дисертації, розробці моделей при комбінованому екстрагуванні в МХП, пропозиціях за постановкою і методиками комплексних експериментальних досліджень, участі в проведенні дослідів і хімічних досліджень зразків, аналізі й узагальненні результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і наукових співробітників ОДАХТ у 1997-2000 р., на Міжнародній конференції “Проблеми і перспективи розвитку виробництва і споживання хлібопродуктів”, (м.Одеса, 1997 р.), на Міжнародній меморіальній і науково-практичній конференції пам'яті акад. Б.Л.Флауменбаума (м.Одеса, 1997 р.), на X Міжнародній конференції “Удосконалення процесів і апаратів хімічних і харчових виробництв” (ICSE-99) (“Львівська політехніка”, м. Львів, 1999р.), на науковій конференції “Перспективні напрямки розвитку екології, економіки, енергетики ” (м. Одеса, 1999 р.), на конференції “Обладнання і технологія харчових виробництв” (ДонДУЕТ, м.Донецьк, 1999 р.), на 6-й Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми та перспективи створення і впровадження нових ресурсо - та енергоощадних технологій, обладнання в галузі харчової і переробної промисловості” (УДУХТ, м. Київ, 1999 р.), на Міжнародному симпозиумі “Energy and food industry” (Budapest, 1998),на XVII Міжнародній конференції “Process engineering in prevention of environment” (Opole, Poland, 1999).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 13 робіт, у тому числі 1 стаття в науковому журналі, 9 у збірниках наукових праць, 2 тез доповідей на конференціях, один патент України на винахід.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 204 найменувань (у тому числі 24 іноземних) та 2 додатків (10 сторінок). Матеріал дисертації викладено на 143 сторінках машинописного тексту, містить 53 рисунки (28 сторінок), 35 таблиць (12 сторінок).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, наукові положення, показано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведений аналіз проблем, що виникають при виробництві кріпких напоїв, обгрунтовано актуальність інтенсифікації процесів масопереносу при екстрагуванні з деревини. На основі аналізу динаміки розвитку коньячних технологій розроблена класифікація методів інтенсифікації масопереносу, що включає 4 групи процесів: термічні, механічні, біохімічні і електрофізичні. Обгрунтовано перспективність комбінованих

процесів, у яких за допомогою МХП можлива істотна інтенсифікація масопереносу. На основі критичного аналізу досягнень в області теорії і практики МХП-технологій запропоновані для кон'ячного виробництва принципові схеми технологій і екстракторів з використанням МХП і класифікація, що включає як уже відомі методи, так і принципово нові рішення: одержання пересичених і насичених спиртових екстрактів для асамблювання, купажування і витримки, прогнозування якості спиртів перед їхнім закладанням на витримку. Передбачається можливим активація сухої деревини дуба в МХП-активаторах перед її контактуванням із спиртом. Класифікація апаратів для МХП-екстракції включає установки періодичного (камерні), полубезупинного (циркуляційні) і безупинного (проточні) дії. Камерні розділяються на ємнісні (резервуар є резонаторною камерою) і установки з зовнішньою резонаторною камерою. Циркуляційні установки, що працюють у режимі кипіння розчину, припускають наявність зворотного холодильника. Проточні апарати мають найбільший інтерес для промислового використання в технологіях прискорення дозрівання при витримці кон'ячних спиртів. Можливо принципово по-новому підійти до конструкції МХП-екстрактора: виготовляти його безпосередньо з деревини дуба.

Сформульовано задачі досліджень для створення методів розрахунку, удосконалювання схем і визначення доцільних умов їхньої експлуатації.

В другому розділі розглянуті методи досліджень. Аналітичними методами отримані статичні моделі процесів періодичного, полубезупинного і безупинного екстрагування. Запропоновано механізм комбінованого процесу масопереносу екстрактивних речовин із деревини в розчин. Електродифузійна модель процесу при впливі МХП подана на рис. 1.

Ст	Хг	Хп	Хе	
	R _{тк}	R _{кп}	R _{кд}	
		R _р		$j = -Ddc_T/dd = j_1 + j_2 \quad (1)$ $J_1 = b_C (X_g - X_p) = b_K (X_p - X_e) \quad (2)$ $J_2 = b_P (P_k - P_e) \quad (3)$

Рис.1 Електродифузійна модель

Дифузія у твердій фазі, концентрація якої **С_т**, визначається за законом Фіка (1). Далі розчинні речовини, концентрація яких **Х_г**, рухаються всередині капілярів до поверхні деревини, де концентрація-**Х_п**, обумовлена дифузійним опором у стиснутих умовах **Р_{кп}**, що визначається ефективним коефіцієнтом **bc**. Цей же потік **j₁** передається конвективною дифузією **bk** до екстрагенту, концентрація якого **Х_е**. Паралельно **j₁** у МХП виникає потік **j₂**. По суті, це бародифузія, яка визначається тиском, що зростає в капілярах, **Р_к**. Окремі капіляри, де досягнуті умови для генерації пари, починають періодично викидати в потік рідину. Частота викидів і число функціонуючих капілярів зростає з ростом потужності МХП. Пропонується аналогія з центрами паротворення. Потік **j₂** турбулізує приграничний шар, опір **Р_р** може бути на порядки нижче, чим у традиційних схемах масовіддачі.

Аналітичне рішення задачі масовіддачі при русі розчину усередині циліндричного каналу для параболічного профілю швидкостей має вид:

$$\frac{X_p'' - X_p'}{X_e - X_p'} = 1 - \sum_{n=1}^n a_n \exp - b_n \left(\frac{D}{w_{C,P} 0,25d^2} \right) Z, \quad (4)$$

де середня швидкість потоку **w_{CP} = 0,5w_{max}**, **D**- коефіцієнт дифузії, **X_p** - поточна концентрація, а значення констант **a_n** і **b_n** залежать від n.

Відповідно до запропонованого механізму масообміну потрібно, крім рішення (4),

передбачити дію бародифузії. Результатом дії МХП є зростаючий градієнт тиску усередині відкритої пори або капіляра (P_k) і в потоці екстрагенту (P_e). За умови $P_k > P_e + P_{g\delta}$ відбувається викид у потік рідини з капіляра. Враховується гідравлічний опір капіляра $P_{g\delta}$.

Дифузійний потік j_2 , що рухається в напрямку Z з постійною швидкістю w_0 , при наступних граничних умовах :

$$X|_{l=0} = 0 ; \text{ при } l \rightarrow l_2 \quad D \left(\frac{\partial X}{\partial l} \right) = w_0 , \text{ при } l \rightarrow 0 , \quad (5)$$

у випадку, коли $w = \text{const}$, а режим стабілізувався, визначає поле концентрацій:

$$X = \frac{w_A}{4\pi \cdot D l} \exp \left[- \left(\frac{w_0}{l D} \right) (l - z) \right] \quad (6)$$

де l - відстань від джерела; z - відстань вздовж потоку від джерела; w - швидкість, із якою компоненти входять у потік.

Очевидно, що навіть при настільки серйозних спрощеннях задача, спільне рішення (4) і (6) дуже сумнівно. Гідродинамічна ситуація в потоці визначається турбулентним плином екстрагенту, ускладненим вихровою дифузією з каналів деревини, імпульсним характером МХП, що визначає число і продуктивність центрів крапкового масообміну. Це пояснює необхідність експериментального моделювання. Оскільки, науковою базою експерименту є теорія подібності, то методом “аналізу розмірностей” визначена структура критеріального рівняння. У загальному випадку, вплив на розмір коефіцієнту масовіддачі b мають діаметр каналу d , щільність r і в'язкість потоку n , швидкість його руху w , коефіцієнт дифузії D . Група цих параметрів характеризує інерційні властивості потоку. Гідродинамічна ситуація при формуванні приграничного шару на вході в канал виражається співвідношенням d і довжини каналу l . Внесок природної конвекції встановлюється різницею концентрацій у потоці DX і гравітаційним полем. Дія бародифузії за рахунок МХП характеризується різницею тисків у зонах каналу. Розмір цієї різниці визначається пропорційною енергії випромінювання і тієї енергії, що необхідна для паротворення (значенням питомої теплоти паротворення r і потужності поля Ne).

Усі 11 параметрів містять тільки три основних розмірності: довжину, масу і час і відповідно до p -теорії зв'язок між ними може бути встановлено у виді 8 безрозмірних комплексів. Параметри d, r, m приймалися загальними для всіх безрозмірних груп. Отримано залежність для числа Шервуда:

$$Sh = A (Re)^n (Gr_d)^m (Sc)^k (Bu)^g (l/d)^q \quad (7)$$

Для умов аналізованої задачі можна зневажити параметричним комплексом (l/d) , що є мірою турбулізації гідродинамічного приграничного шару вхідної зони і характерний для коротких каналів, і числом Грасгофа, тому що в режимі інерційного потоку внесок природної конвекції малий. Тому, показники ступеня q і m наближаються до 0. Остаточна, структура критеріального рівняння буде: $Sh = A (Re)^n (Sc)^k (Bu)$.

Вплив МХП враховується числом паротворення: $Bu = Ne (r w d^2 r)^{-1}$. Фізичний зміст числа Bu полягає в тому, що встановлюється співвідношення між енергією випромінювання і тією енергією, яка необхідна для перетворення в пару всього розчину, що проходить через екстрактор. Чим ближче число Bu до 1, тим більше утворюється парової фази, тим більше градієнт тисків, тим інтенсивніше викиди насиченого екстрагенту з глибини капілярів, тим більше турбулізація приграничного шару.

Константи A, n, k, g потрібно визначити експериментально. Всі відносні похибки

визначення коефіцієнта масовіддачі лежать усередині інтервалу: $1,7 < D_b < 5,2\%$.

Середньоквадратичні похибки чисел Шервуда, Шмідта (*Sc*), Рейнольдса (*Re*) і параметра *Bu* перебувають із похибок зміни зазначених вище розмірів і довідкових значень (*n*, *r*, *D*, *r*, *c*). Слід зазначити, що навіть при завищених значеннях похибок вхідних параметрів ($dRe = \pm 8\%$, $dSc = \pm 8\%$, $dBu = \pm 10\%$), вихідна похибка dSh критеріального рівняння не перевищує 6%.

Апроксимації властивостей кон'ячного спирту (*n*, *r*, *D*, *r*, *c*) визначалися за законом адитивності. В усіх дослідах концентрація екстрактивних речовин у розчині визначалася за допомогою фотометра "Spekol". Тарировка шкали оптичної щільності фотометра проводилася порівнянням показань приладу з результатами визначення загального екстракту за стандартною методикою шляхом висушування розчину, що здійснювалося в термостаті при температурі 80°C . Зважування зразків проводилося на аналітичних вагах із точністю 2мг. Значення отримані зважуванням дорівнювалися з результатами розрахунків матеріальних балансів за концентраціями екстрактивних речовин у розчині. Розбіжність значень була в межах 4%.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень кинетики екстрагування. Характеристика об'єму дослідів є в табл.1.

Таблиця 1

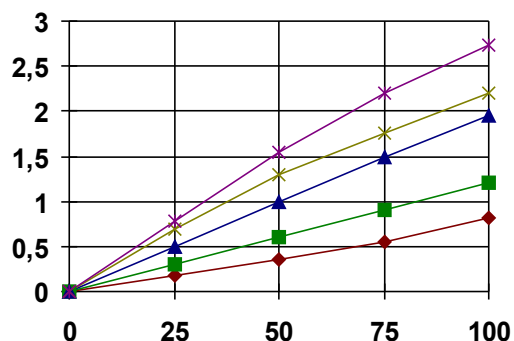
Характеристика експериментальних досліджень умов фазової рівноваги і періодичних процесів екстрагування									
Установка	Розчинник		Деревина		Екстракт		Вид	Ва- га, г	Пара-
Тип	По- туж-	ність, Вт	Об'- єм, мл.	Кре- пість, %	Концен-трація	Хр,%			
метр. Фд/Вд см ⁻¹	Темпе ратура, t, °С		Концен-трація		Хр,%		Вид	Ва- га, г	Пара-
1 Sumsung	85-850	150	64	бруски (Н)	15		0,25	33-72	0,01-1,4
2 Sumsung	85-850	150	64	бруски (Н)	15	8	33-72	0,02-1,4	
3 Sumsung	85-850	150	64	бруски (Н)	15	12	33-72	0,03-1,9	
4 Sumsung	85-850	150	64	бруски (Н)	15	20	33-72	0,04-2,2	
5 Samsung	85-850	150	64	бруски (Н)	15	30	33-70	0,04-2,2	
6 Samsung	85-850	150	64	тирса (Н)	15		33-70	0,05-2,2	
7. Sumsung	850	400	64	стружка (Т)	40		40	0,02-1,2	
8. Sumsung	850	400	64	стружка (Н)	40		40	0,02-1,2	
9 Sumsung	850	400	45	стружка (Т)	40		40	0,02-1,2	
10 Sumsung	850	400	45	стружка (Н)	40		40	0,02-1,2	
11 Эл. плитка		300	1000	0 пластини(Н)	100			кипін. 0-0,36	
12 Електрон.	1350	1000	0	пластини(Н)	100		кипін.	0-1,5	
13 Електрон.	1350	200	45	стружка (Т)	30		кипін.	0,02-13	
14 Електрон.	1350	200	45	стружка (Н)	30		кипін.	0,02-2,2	
15 Електрон.	1350	100	64	стружка (Н)	15		кипін.	0,02-2,6	
16 Електрон.	1350	100	64	стружка (Т)	15		кипін.	0,02-22	

Загальний об'єм розчину у камері у серіях 1...6 складав 0,9л, а в серіях 7...10 - 2,5л. тобто у серіях 1...6 у камері розміщалося одночасно 6 ємностей по 150мл, а в серіях 7...10 - 4 ємності по 625мл. У кожній ємності серії 1...6 знаходилося по 15 г деревини з різними значеннями Fd/Vd . Проведення перших 6 серій одночасно дозволило визначити вплив параметра Fd/Vd при рівних всіх інших умовах.

Граничні концентрації екстрактивних речовин у спирті визначалися в результаті багатократного контактування розчину з деревиною. У дослідях стабілізувалися температурні умови і досягалося практично повне насичення спирту. Найбільша концентрація в умовах рівноваги досягається в комбінації "кон'ячний спирт-термоооброблена стружка". Процес

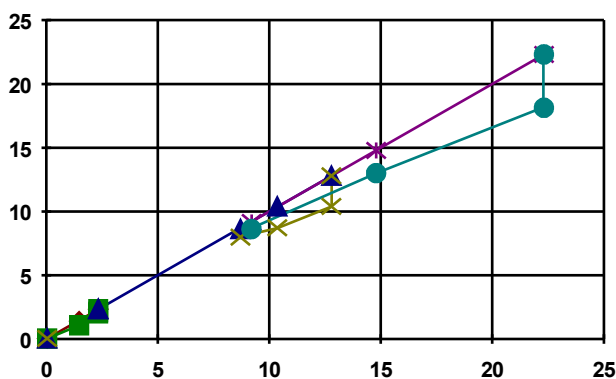
термообробки деревини досить трудомісткий і енергоємний. Тому, має інтерес більш глибоке вивчення можливостей використання необробленої, сирій деревини, хоч її рівноважна концентрація на порядок нижче (рис.2,3).

Після опрацювання в МХП розчин у серіях 13...16 проохолоджувався до 25°C і через добу вимірювалася концентрація в розчині. Замічено гістерезис концентрацій, розмір якого зростає пропорційно концентрації розчину. Гістерезис спостерігався у всіх дослідів серій 13...16 (рис.3). Природно, гістерезис більш значний на серіях 13,16 (досліди з термообробленою стружкою).



$X_s, \%$

Ст, % Рис.2 Фазові рівноваги “спирт-необроблена деревина” $X_s, \%$



$X_r, \%$

Рис.3. Гістерезис рівноважних концентрацій

Обробка дослідних даних за стандартною методикою на ПЕОМ, визначила співвідношення для рівноважної концентрації:

- для сполучення “коньячний спирт(64%)- необроблена деревина”:

$$X_s = -0,63 + 3 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,014 C_t, \quad (8)$$

- для сполучення “коньячний спирт- термооброблена деревина”:

$$X_s = -0,25 + 2,5 \cdot 10^{-3} t^2 + 0,08 C_t. \quad (9)$$

Крім співвідношень (8) і (9) для розрахунку рушійної сили процесу масопереносу потрібно знання C_{tmax} . У МХП граничні значення концентрацій розчинних речовин у деревині склали для необробленого дуба 53,7%, а для термообробленого -82,45%.

Результати комплексного впливу потужності МХП, температури і розмірів деревини на кінетику масопереносу ілюструються рис.4. Послідовне збільшення Ne приводило до росту температури і концентрації спирту. Найбільша інтенсивність екстрагування досягалася на тирсі (рис.4).

$X_p, \%$

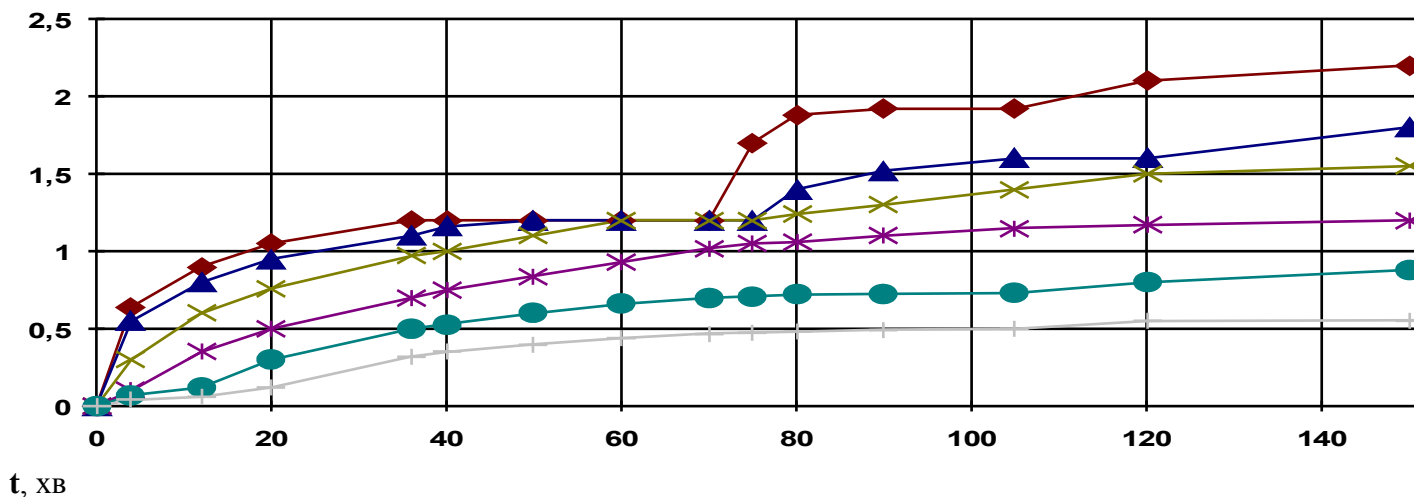
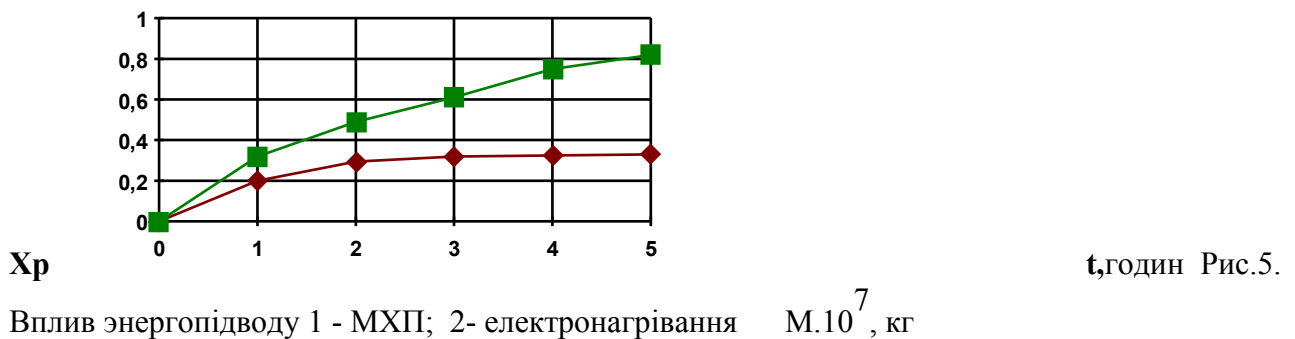


Рис.4. Зміна концентрації розчину в МХП (І залив) 1 - тирса; 2,3,4,5 - бруски
(F_d/V_d , відповідно, 30; 20; 12; 8; $0,25 \text{ см}^{-1}$)

Самостійною проблемою було вивчення впливу виду енергопідводу. Досліди по екстрагуванню водою з деревини дуба в режимі кипіння показали, що в МХП досягається концентрація 1,5%, що в 5 разів більше, ніж при звичайному електронагріванні (рис.5). Більш того, можна прогнозувати доцільність подальшого екстрагування. Досліди підтверджують розходження в градієнтах температур у деревині, дію бародифузії (рис.5).



Вплив енергопідводу 1 - МХП; 2- електронагрівання $\text{М} \cdot 10^7, \text{ кг}$

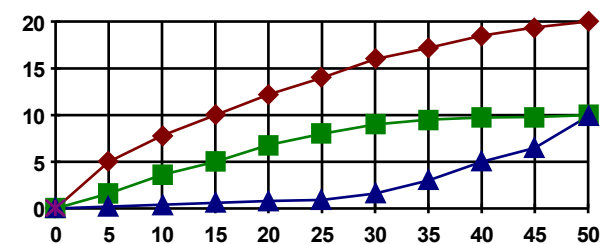


Рис.6 Кінетика

екстрагування при $d=5\text{мм}$, $w=0,4 \text{ м/с}$

Експериментальні дослідження проточних схем проводилися на циліндричних каналах із дубової деревини. Стенд забезпечував подачу екстрагенту, імпульсне регулювання потужності МХП. Визначалися витрата екстрагенту, його температури і концентрації на вході і виході каналу, потужність випромінювання. Температура розчину на вході в екстрактор стабілізувалася за допомогою автономної холодильної установки ВДО-0,35. Об'єм досліджень приведено у табл.2.

Діапазон експериментального моделювання

$d, \text{мм}$	$w, \text{м/с}$	$t, ^\circ\text{C}$	$X, \%$	$C_T, \%$	$Ne, \%$								
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Значення	5	20	0,02	0,6	33	65	0,02	0,2	22	100	10	80	

У результаті експериментів встановлено вплив швидкості потоку екстрагенту в каналі і потужності МХП. Це найбільше важливі показники для раціонального режиму екстрагування. Узгодження цих параметрів дозволяє організувати процес інтенсивно і без зайвого паротворення в каналах, тобто, при забезпеченні надійної гідродинамічної ситуації в каналах. Послідовне зниження Ne через 10 хв. із 60% до 20% (лінії 1,2 рис.6) приводить до зменшення інтенсивності масопереносу, а аналогічне підвищення Ne (лінія 3)- до росту b . На рис.7-8 показано, що ріст швидкості потоку приводить до збільшення концентрації екстрагенту на 0,2%. За цей ж час, навіть 60% потужність поля веде до росту концентрації на 50%, тобто, у 250 разів більше. При цьому, 0,2% -це більше, ніж щорічна норма при традиційній технології. Наведені результати отримані на каналі діаметром 15мм. Середня концентрація спирту складала 0,1%.

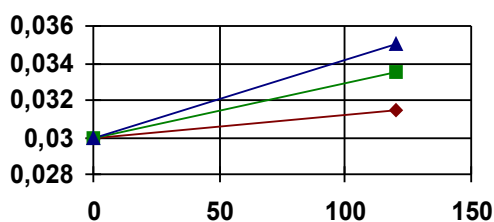


Рис.7 Вплив швидкості потоку при $Ne=0$ ($d=5\text{мм}$): 1- $w=0,64 \text{ м/с}$; 2- $w=0,46 \text{ м/с}$; 3- $w=0,25 \text{ м/с}$ X / X_H

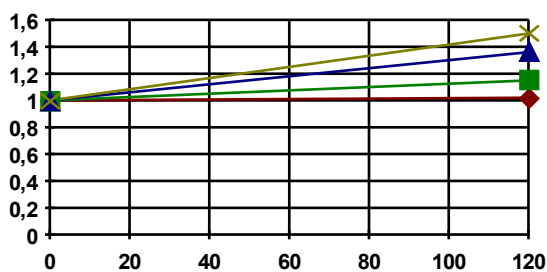


Рис.8 Вплив потужності МХП: 1 - $Ne=0$; 2 - $Ne=10\%$; 3 - $Ne=40\%$; 4 - $Ne=60\%$

Оброблення результатів показало, що залежність b від швидкості не лінійна і має перегин при $Re \gg 2300$ (рис.9). Це було основою вважати, що є повна аналогія за впливом числа Re із тепловими процесами. Тому, далі в розрахунках прийнято показник n при числі Re у залежності від режиму руху: 0,3 і 0,8. Костанта k у (7) при числі Sc приймається 0,33. Так проводилося узгодження всіх експериментальних даних. Результати обробки приведені на рис.7.

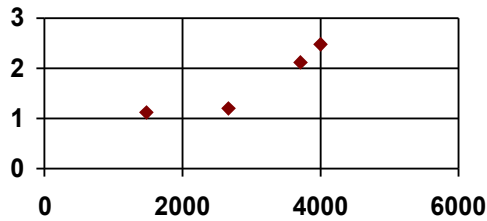
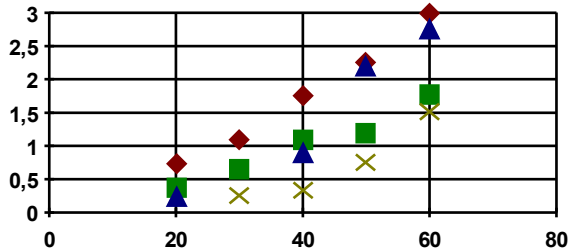


Рис.9 Залежність

Sh

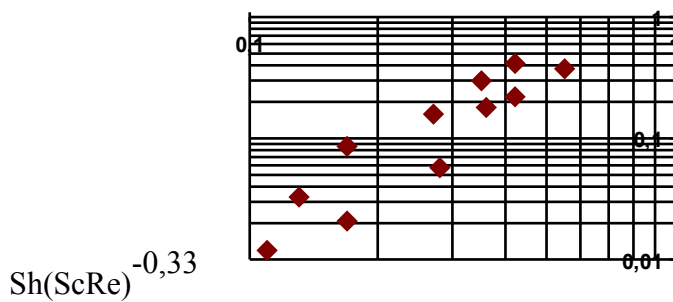
числа Шервуда від числа Рейнольдса ($Ne=0$) $b \cdot 10^6$, м/с



Ne, %

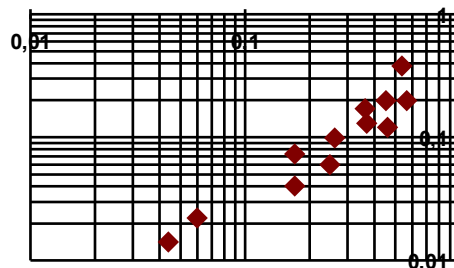
Рис.10 Залежність $b = f(Ne, d, w)$

Значення b розширюються в залежності від Ne і серії дослідів навіть при однакових числах Re . (рис.10). Тут точки відзначені ромбами, квадратами, трикутниками і хрестами відносяться, відповідно, до $d=5\text{мм}, Re=2200$; $d=20\text{мм}, Re=600$; $d=15\text{мм}, Re=1000$; $d=10\text{мм}, Re=2200$. Добре узгодження всіх даних дослідів досягається при використанні коректувального числа паротворення Bu , що ілюструється рис.11.



Bur10

$Sh(ScRe)^{-0,33}$



$Re < 2300$ $Sh(ScRe)^{-0,33} Re^{-0,8}$
 $Bur10^2$ $Re > 2300$

Рис.11 Узагальнення експериментальних даних

Задовільне узгодження експериментальних даних із моделлю (7) свідчить, що запропонований механізм комбінованих процесів при екстрагуванні в МХП- коректний. Оброблення масиву експериментальних даних дозволяє рекомендувати для розрахунку

інтенсивності масопереносу наступні співвідношення:

$$\text{при } Re < 2300 \quad Sh = 36,58 Re^{0,33} Sc^{0,33} Bu^{1,54} \quad (10)$$

$$\text{при } Re > 2300 \quad Sh = 0,87 Re^{0,8} Sc^{0,33} Bu^{1,96} \quad (11)$$

Похибка розрахунку за співвідношеннями (10) і (11) у межах 15%.

У четвертому розділі наведена інженерна методика розрахунку МХП-екстракторів у виді узагальненої структури і набору блок-схем для розрахунку самостійних етапів-теплофізичних властивостей; фазових рівноваг; гідродинамічних характеристик; кінетики масопереносу. Таке уявлення етапів розрахунку у виді окремих структур-модулів виявляється зручним для формування конкретних розрахункових алгоритмів, що враховують специфіку задач. На основі запропонованих модулів складений алгоритм перевірконого розрахунку режимів масопереносу в МХП. Ключовим моментом у методиці розрахунку є основний результат експериментального моделювання - узагальнені критеріальні залежності (10), (11) і умови фазових рівноваг (8),(9). Оскільки потрібні додаткові капітальні витрати **DK** на виготовлення МХП-екстрактора, визначається прибуток як співвідношення скорочення витрат виробництва **DUu** (через зниження втрат спирту при його випарі через тару, підвищенні оборотності виробничих площ) і збільшення витрат **DUe** (через додаткові витрати електроенергії), а також капітальних витрат. Загальна доцільність комбінованої технології визначається: $\Pi = DUu - DUe - 0,15DK$.

Коректність розрахунків підтверджена їхнім порівнянням із даними дослідів. Точність розрахунку основного технологічного параметра - концентрації екстракту на виході з апарата знаходиться в межах 13%. Точність розрахунку температури розчину і коефіцієнта масовіддачі не перевищує 12% (табл.3).

Таблиця 3

Порівняння результатів розрахунку з даними дослідів

	$br10^6$, м/с	t , °C	$(X_k - X_n) \cdot 10^2$, %	
Ne, %	дослід	розрахунок	дослід	розрахунок
50	2,15	1,98	48	48,5
			19	18,8

Порівняння проводилося для конструкції екстрактора, виготовленого із суцільної термічно необробленої деревини дуба, розміри котрої 60г120г40 мм. Усередині корпусу екстрактора розташована система каналів із $dk = 5$ мм; $lk = 120$ мм; числом рядів $Z=5$ і каналів у ряді $n = 5$.

Площа поверхні контакту деревини з потоком екстрагенту складала $0,0785 \text{ м}^2$. Живий перетин для проходу екстрагента рівнявся $0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, а його об'ємна витрата складала $8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Коньячний спирт (загальна кількість якого була 0,4л) переміщався за замкнутим циркуляційним контуром "ємність-екстрактор-ємність".

У п'ятому розділі розглянуті пропозиції по практичному застосуванню мікрохвильових технологій і результати їхніх випробувань в умовах коньячного виробництва.

Пропонується спосіб прогнозування властивостей коньячного спирту (КС), суть якого в тому, що модель майбутнього напою утворюється в результаті виконання 3 етапів. На першому етапі роблять інтенсивний масоперенос екстрактивних речовин із деревини дуба в КС. Природно, беруться ті сполучення "КС-деревина", прогноз на який робиться. На другому етапі зливають КС, при цьому, кількість екстрактивних речовин повинно відповідати терміна планованої витримки КС. Тобто варто одержати еквівалент майбутнього витриманого КС тільки по кількості екстрактивних речовин.

На третьому етапі відбувається нетривала витримка для здійснення окисно-відбудовних процесів. Термін витримки визначається досягненням стійкого смаку. Характерний букет продукту досягається швидше. Загальна тривалість витримки складає від 5 до 15 місяців.

Доводиться апаратурно-процесова схема виробництва концентрованого екстракту з деревини дуба. У запропонованому способі термообробку здійснюють суміші води і дубової стружки (тирси) шляхом впливу на неї МХП частотою 2000-4500 МГц у режимі кипіння з одночасною конденсацією пари і поверненням конденсату в екстрактор до одержання екстракту з концентрацією 0,8-1,5%. Отриманий екстракт відокремлюють від деревини і концентрують до 16-20%, прохолоджують і змішують із спиртом-ректифікатом у співвідношенні 1:3, витримують до утворення осаду і розділяють екстракт і осад. За такий спосіб був отриманий водно-спиртовий дубовий екстракт із концентрацією 4,5% і спиртуозністю 70%.

Представляється принципово новий підхід до конструювання МХП- екстракторів.

Технічна ідея полягає в тому, що корпусом екстрактора, або масообмінного модуля, є деревина, усередині якого по осях Z,X,Y виконані канали для проходу екстрагенту.

Основна кількість масообмінних каналів знаходиться по осі Z і мають діаметр $d_z=4-10\text{мм}$, а подовжній і поперечний кроки 1,5-6 d_z . Ці масообмінні канали поєднуються у верхній і нижній поверхнях екстрактора збірними каналами, що виконані по осі Y. У верхньої і нижньої стінок екстрактора по осі X виконано принаймні два колектори: вхідний у нижньої поверхні і вихідний у верхньої поверхні. Відстань від стінок каналів і колекторів до стінок екстрактора вибирається з умови герметичності каналів для рідини. Конструкція такого екстрактора захищена патентом України і пройшла випробування в умовах кон'ячного виробництва, результати яких приведені на рис.12.

Масообмінний модуль мав розміри 70x70x200мм, мав пакет із 25 каналів діаметром 5мм і довжиною 200мм. Видно, що на всіх 5 змінах спирту модуль зберігає високі масообмінні характеристики. Перенос екстрактивних речовин складав у середньому 0,6 г у годину. У 9 модулях установки загальна витрата екстрактивних речовин складе 5,4 г у годину.

$X \cdot 10^{-2}, \%$

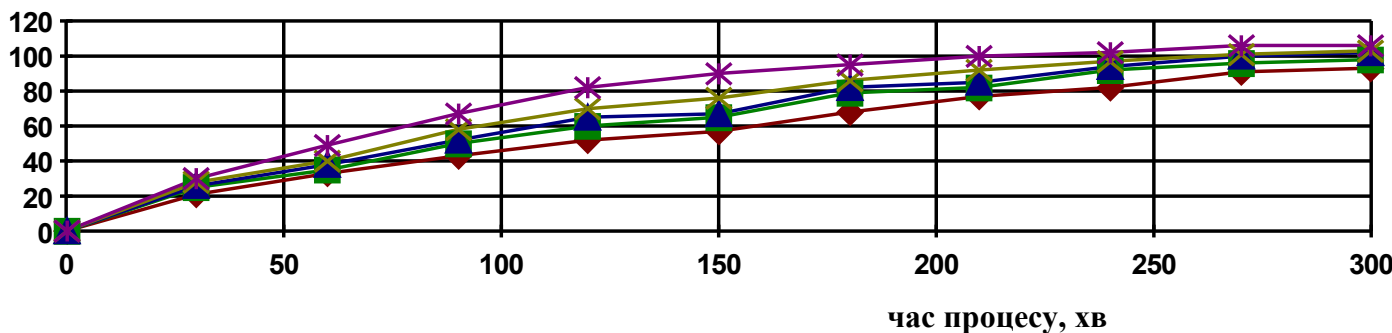


Рис.12. Зміна концентрації спирту в масообмінному модулі

1,2,3,4,5 - заміни екстрагента

Таким чином, за годину 36л спирту одержать річну норму. При роботі на повній потужності МХП час скоротиться майже в 2 рази.

ВИСНОВКИ

1. Проведений комплекс аналітичних і експериментальних досліджень підтвердив справедливості наукового положення про можливість істотної інтенсифікації процесів масопереносу при екстрагуванні з пористої системи під дією мікрохвильового поля.

- Показано, що в залежності від сполучення режимних параметрів значення **b** можна збільшити в десятки разів у порівнянні з класичною технологією витримки в дубовій тарі.
2. Вплив МХП на пористу систему деревини і спиртовий розчин ініціює новий потужний механізм переносу екстрактивних речовин-бародифузію, який виникає в результаті часткового переходу рідини в капілярах у пару, що викликає локальний ріст тиску усередині капіляра. Ефект дії МХП на процес екстрагування встановлюється (10, 11) числом паротворення **Bu**, що виражає співвідношення потужності МХП і тієї потужності, яка необхідна для переходу рідини в пару.
 3. Фазові рівноваги в системі "деревина- спиртовий розчин" залежать від термообробки деревини, температури і спиртуозності розчину (рис.2,3). Кількісно умови фазових рівноваг визначаються співвідношеннями (8,9).
 4. Кінетика масопереносу при періодичних процесах екстрагування в МХП залежить від співвідношення $F\delta/V\delta$, рівня температур, потужності МХП і спиртуозності розчину (рис.4).
 5. Специфічна дія МХП підтверджена в дослідях з різними видами енергопідводу. Саме МХП, а не температурний режим обумовлюють високу інтенсивність масопереносу (рис.5).
 6. Формування приграничного дифузійного шару при русі спирту в циліндричних каналах подібно умовам утворення гідродинамічного приграничного шару (рис.9). Тому, вплив гідродинамічної ситуації в каналі враховується традиційними показниками ступеня при числі **Re** (10,11).
 7. Визначальний вплив на значення коефіцієнта масовіддачі має потужність МХП (рис.7,8). Коректувальне число **Bu** вдало узгоджує масив експериментальних даних для ламінарних (рис.9) і турбулентних (рис.10) режимів плин.
 - 8.Виробничі випробування масообмінного модуля в МХП- екстракторі (рис.11) підтвердили коректність запропонованих підходів до проектування мікрохвильових екстракторів, виготовлених з деревини. Економічна ефективність від упровадження мікрохвильових технологій в умовах Одеського кон'ячного заводу становить понад 5 грн. на 1л кон'ячного спирту, що закладається на витримку.
 - 9.Вплив МХП у процесі екстрагування приводить до позитивних структурних перетворень в екстракті, насамперед, росту ваніліну в 3 рази.

Основний зміст дисертації опублікований в роботах:

- 1.Терзієв В.Г., Бурдо О.Г. Прискорення визрівання кон'якових спиртів в НВЧ-екстракторах //Зб. наук. пр.–Одеса: ОДАХТ, 1999. Вип.19.- С.246-251.
- 2.Терзієв В.Г., Бурдо О.Г. Моделювання комбінованих процесів при екстрагуванні в системі "спирт-деревина" // Зб. наук. пр. –Одеса: ОДАХТ, 1999.-Вип.20.-С.203-209.
- 3.Терзієв В., Осадчук П., Бурдо О. Інтенсифікація екстрагування у харчових технологіях //Харчова і переробна промисловість.-1999.-№9.-С.30-31.
- 4.Осадчук П.І.,Терзієв В.Г., Шведов В.В., Бурдо О.Г.Техніко-економічні аспекти екстрагування в харчових технологіях //Обладнання та технології харчових виробництв. Тем. зб. наук. пр. - Донецьк: ДонДУЕТ, 1999. -Вип.3.- С.290-295.
- 5.Бурдо О.Г., Терзієв В.Г., Зиков А.В. Науково-методологічні аспекти енергозбереження енерговитрат у харчових технологіях //Проблеми економії енергії.-Львів: Львівська політехніка, 1999.-С 25-28.
6. Пат. Україна, МКИ С12G1/02 Екстрактор / В.Г. Терзієв, Т.А.Начева, М.Д.Захаров, О.Г.Бурдо - № 99095364 Заявл. 29.09.1999; Опубл. 15.09.2000. Бюл. №4.
7. Бурдо О.Г., Терзієв В.Г., Шведов В.В. Режимы экстрагирования в микроволновом поле молодых спиртов. //Мікрохвильові технології в народному господарстві. Втілення. Проблеми. Перспективи: Вип.2-3.[Зб.ст.]/ Ред. акад. МАІ Калінін Л.Г. Міжнар.акад.інформ.; Український науково-технічний центр.-Одеса, Київ, ТЕС, 2000.-С.

8. Терзієв В.Г., Бандурина Л.Т., Бурдо О.Г. Модифицированное уравнение массопередачи в системах с твердой пористой фазой //Зб. наук. пр.: “Проблеми та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів”.- Одеса: ОДАХТ.- 1997. - Том 6.- С.29-31.
9. Терзієв С.Г., Гайда С., Бурдо О.Г. Энергоэкологические проблемы в агропромышленной сфере.// Людина та навколишнє середовище.- Зб. наук. пр.- Одеса: ОДАХ.- 1996.- С. 83-84.
10. Осадчук П.І., Шведов В.В., Терзієв В.Г. Моделювання масопереносу при екстрагуванні масла кави //Придніпровський вісник. Технічні науки наука і освіта.-Дніпропетровськ, 1998.- №123.-С.7-11.
11. Осадчук П.І., Терзієв В.Г., Бурдо О.Г. Методика і експериментальне моделювання в процесі екстрагування //Труди Міжн. наук.-практ. конф. пам'яті акад. Б.Л.Флауменбаума.- Одеса: Астропринт, 1997.-Ч.2.- С.390-394.
12. Бурдо О.Г., Гайда С., Терзієв В.Г. Обратные задачи теплопроводности при энергетической оптимизации пищевых технологий. //Экология человека и проблемы воспитания молодых ученых.Сб. науч. тр. Одесса.: Астропринт, 1997.- Ч.2.-С.281-283.
13. Бурдо О.Г., Осадчук П.І., Шведов В.В., Терзієв В.Г. Масообмін при екстрагуванні із харчової сировини //Зб. наук. пр. X Міжн. конф. “Вдосконалення процесів та апаратів хімічних та харчових виробництв” (ICSE-99).- Львів:“Львівська політехніка”, 1999.- С.43-44.

АНОТАЦІЯ

Терзієв В.Г. Інтенсифікація масопереносу при виробництві кріпких напоїв.- Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та апарати харчових виробництв.- Одеська державна академія харчових технологій, Одеса, 2000.

В роботі сформульована і доведена наукова гіпотеза, суть якої в тому, що при комбінованому впливі в процесі екстрагування мікрохвильовим полем виникає додатковий потужний механізм переносу- бародифузія, що в десятки раз інтенсифікує масовіддачу. Наведено наукове обґрунтування нового механізму переносу. На основі експериментального моделювання визначені умови фазових рівноваг в системі “деревина- спирт”, залежності коефіцієнту масовіддачі для періодичних і безперервних режимів екстрагування від комплексу режимних і конструктивних параметрів. Розроблена інженерна методика розрахунку, запатентована конструкція екстрактора, проведені її випробування в умовах виробництва. Дегустації дослідних зразків спиртів показали перспективність розробки.

Ключові слова: екстрагування, інтенсивність масопереносу, мікрохвильове поле, кріпкі напої.

АННОТАЦИЯ

Терзиев В.Г. Интенсификация массопереноса при производстве крепких напитков.- Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы и аппараты пищевых производств.- Одесская государственная академия пищевых технологий, Одесса, 2000.

В работе сформулирована и доказана научная гипотеза, суть которой в том, что при комбинированном воздействии в процессе экстрагирования микроволновым полем (МВП) возникает дополнительный мощный механизм переноса- бародиффузия, что в десятки раз интенсифицирует массоперенос. С помощью электродиффузионной модели представлено научное обоснование нового механизма переноса. Показана сложность аналитического решения задачи и методом анализа размерностей обоснована структура

критериального уравнения для расчета массообмена в процессе экстрагирования в МВП. Для проточных экстракторов число Шервуда выражается в зависимости от чисел Рейнольдса, Прандтля и числа парообразования, которое устанавливает соотношение мощности МВП и той мощности, что необходима для перевода в пар потока экстрагента.

Комплекс экспериментальных исследований включал определение условий фазовых равновесий в системе “древесина- спирт” и кинетических зависимостей массоотдачи (для периодических и непрерывных режимов экстрагирования) от режимных и конструктивных параметров. Определены значения равновесных концентраций в зависимости от температуры и степени истощения древесины. Установлено максимальное содержание растворимых веществ в необработанной и в термообработанной древесине. Экспериментальным путем получены кинетические характеристики зависимости изменения концентрации раствора в периодических процессах экстрагирования от соотношений поверхности древесины и ее объема, температуры и мощности МВП. Опыты проведены на установках 3 типов, в широком диапазоне варьируемых параметров.

Специальные опыты показали эффективность энергоподвода с помощью МВП. По сравнению с традиционным нагревом при нагреве в МВП концентрация раствора повышалась в 5 раз значительней. Это подтвердило выдвинутую в работе гипотезу о механизме действия МВП.

Для проточных экстракторов установлено влияние скорости потока, геометрии канала, температуры и мощности МВП на изменение концентрации раствора, величину коэффициента массоотдачи. Опыты проводились на каналах диаметром 5, 10, 15 и 20 мм. Температура раствора на входе в экстрактор стабилизировалась с помощью автономной водоохладительной установки. Опыты проведены в режимах ламинарного и турбулентного течений экстрагента в каналах древесины. Установлено, что зависимость коэффициента массоотдачи от скорости не линейна и имеет перегиб при числе Рейнольдса 2300. Это было основанием считать, что существует полная аналогия по влиянию числа Рейнольдса с тепловыми процессами. Поэтому, показатель степени при числе Рейнольдса в зависимости от режима течения принят 0,33 и 0,8. Результаты опытов обобщены в критериальной форме. Показано, что впервые введенное число парообразования удачно корректирует опытные точки в зависимости от мощности МВП. Разработана инженерная методика расчета, основанная на наборе блок-схем для расчета самостоятельных этапов: теплофизических свойств, фазовых равновесий, гидродинамических характеристик, кинетики массопереноса. Сравнение результатов расчета по предложенной методике с данными испытаний массообменного модуля показало, что погрешность расчета температуры и концентрации раствора в пределах 2%, а коэффициента массоотдачи- 9%.

Рассмотрены предложения по практическому использованию микроволновых технологий в условиях коньячного производства. Предлагается способ прогнозирования качества коньячного спирта, схема получения 5% дубового экстракта. Запатентована конструкция экстрактора, проведены ее испытания в условиях производства. Дегустации опытных образцов спиртов показали перспективность разработки.

Ключевые слова: экстрагирование, интенсивность массопереноса, микроволновое поле, крепкие напитки.

ANNOTATION

Terziev V.G. An intensification of a masstransfer at the production of strong drinks.- Manuscript. Thesis for a candidates degree in the technical sciences by speciality 05.18.12 - processes and

apparatuses of food productions. Odessa State Academy of Food Technologies, Odessa, 2000.

In this work is formulated and the scientific hypothesis is proved, which essence that at combined action in the process extracting by a microwave field arises the additional powerful mechanism of transfer barodiffusion, that in tens time intensified a mass transfer. The scientific substantiation of the new mechanism of transposition is represented. On the base of experimental modelling the conditions of phase equilibrium in a system "wood-spirit", are defined of coefficient of a mass transfer for periodic and continuous regimes extractions from a complex regime and constructive parameters are defined too. The engineering technique of account, is developed. Construction of an ex-tractor is patent and it is the in conditions of production. Tastings of experimental exemplars of spirits have shown a perspectivity of development.

Key words: extractions, intensity of a mass transfer, microwave field, strong drinks.