НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАПОРОЖЕЦЬ ЮЛІЯ ВЛАДИСЛАВІВНА

УДК 664.061.4:084

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ХМЕЛЮ ЗА ДОПОМОГОЮ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ У ПИВОВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

05. 18. 12 - Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидататехнічних наук

КИЇВ - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Зав'ялов Володимир Леонідович,
Національний університет харчових технологій МОН України, м. Київ, доцент кафедри процесів і апаратів харчових виробництв та технології консервування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мирончук Валерій Григорович,
Національний університет харчових технологій МОН України, м. Київ, завідувач кафедри технологічного обладнання харчових виробництв
кандидат технічних наук, доцент

кандидат технічних наук, доцент
Дячок Василь Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, м. Львів, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища

Захист відбудеться «08» грудня 2010 року о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою:
01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А – 311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою:
01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68

Автореферат розісланий «02» листопада 2010 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент Л.О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток харчової промисловості вимагає розв'язання задач, спрямованих на удосконалення екстракційної апаратури та теорії екстрагування. Низька ефективність більшості існуючих способів вилучення цільових компонентів із рослинної сировини з високою ступінню її подрібнення викликана недосконалістю екстракційної апаратури, оскільки дрібнофракційна сировина або виготовлена з неї маса не має достатньої пористості для застосування протитечійного безперервного екстрагування. Значна частина поверхні контакту фаз піддається ефекту екранування, від чого втрачає свою активність. Особливо гостро ці питання стоять у пивоварній промисловості, де раціональне використання хмельової сировини визначається досконалістю екстракційного обладнання, як фактора, що забезпечує необхідну якість екстракту.

Серед багатьох відомих способів інтенсифікації екстрагування є застосування низькочастотних механічних коливань, які реалізуються у найбільш перспективних апаратах – віброекстракторах. Стримуючим фактором широкого впровадження їх у промисловість є недостатня вивченість масообмінних і гідродинамічних характеристик. Тому проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень з метою наукового обґрунтування і розроблення високоефективних апаратів та нових технологій для виробництва хмельових екстрактів є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно пріоритетному напряму наукових досліджень НУХТ на 2006 – 2010 рр. «Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення нових високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових та переробних галузей АПК» (схвалено Вченою Радою НУХТ протокол №7 від 25.03.2006р.), плану науково-дослідної роботи кафедри процесів і апаратів харчових виробництв та технології консервування НУХТ за напрямом «Інтенсифікація технологічних процесів у харчовій і мікробіологічній промисловості», тематики ПНДЛ НУХТ «Дослідження впливу низькочастотних механічних коливань на інтенсифікацію процесу екстрагування із рослинної сировини» (КПКВ 2201020 «Фундаментальні дослідження у вищих навчальних закладах», № державної реєстрації 1006U000418).

Автор особисто брала участь у проектуванні і виготовленні вібротранспортувальних пристроїв, проведенні експериментальних досліджень, обробленні та узагальненні результатів експериментів, розробленні напівпромислового віброекстрактора безперервної дії.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є теоретичне і експериментальне дослідження процесу віброекстрагування цільових компонентів із шиш-

кового хмелю та створення високоефективного обладнання безперервної дії для отримання хмельових екстрактів.

Для розв'язання поставленої мети сформульовано наступні задачі:

- вивчити існуючі напрями удосконалення процесу вилучення цільових компонентів із хмельової сировини;
- дослідити дифузійні властивості шишкового хмелю та вплив низькочастотних механічних коливань на екстрактивні властивості хмельової сировини;
- розробити та виготовити експериментальну установку;
- дослідити гідродинамічні та масообмінні характеристики роботи віброекстрактора безперервної дії з метою вибору оптимальних конструктивних і робочих параметрів вібруючого транспортувального пристрою;
- розробити математичну модель структури потоків при безперервному віброекстрагуванні із хмельової сировини;
- дослідити ефективність сумісної дії низькочастотних механічних коливань та попереднього електроіскрового оброблення на екстракційну здатність хмельової сировини;
- розробити конструкцію високопродуктивного протитечійного віброекстрактора безперервної дії;
- розробити апаратурно-технологічні схеми виробництва хмелевих екстрактів з віброекстрагуванням та попереднім електроіскровим обробленням хмельової сировини.

Об'єктом досліджень є процес екстрагування цільових компонентів із шишкового хмелю в умовах впливу низькочастотних механічних коливань.

Предметом досліджень є гідродинаміка та масообмін при безперервному віброекстрагуванні цільових компонентів із хмельової сировини.

Методи дослідження включають аналітичне моделювання, багатофакторні експерименти, дослідження промислового рівня, типові методики визначення якісних показників екстракту хмелю. Оброблення експериментальних даних і розрахунки було виконано із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD 14, КОМПАС – 3D V11, AutoCAD 2010, CorelDRAW X4 та ін.

Наукова новизна одержаних результатів. Досліджено дифузійні властивості хмельової сировини та встановлено вплив на її структуру низькочастотних механічних коливань; доведено можливість вилучення необхідної гами цільових компонентів з хмельової сировини водою при віброекстрагуванні з обґрунтуванням режимних параметрів процесу; розроблено нову конструкцію вібротранспортувального пристрою та обґрунтовано його геометричні розміри; встановлено новий ефект протитечійного розділення фаз при безперервному віброекстрагуванні; доведена та обґрунтована доцільність та ефективність сумісної дії низькочастотних механічних коливань і попереднього електроіскрового

оброблення та їх вплив на інтенсифікацію процесу вилучення цільових компонентів із хмельової сировини; досліджено структуру гідродинамічного потоку та розроблено математичну модель для встановлення рівня поздовжнього перемішування при безперервному віброекстрагуванні; обґрунтовано оптимальний режим віброекстрагування ізогумулона із хмельової сировини, що забезпечує високу продуктивність апарата з низьким поздовжнім перемішуванням. Дістали подальший розвиток: моделювання зовнішнього масообміну за допомогою модельних зразків з дифузійним типом розчинення, а також теорія оновлення міжфазної поверхні при збуренні системи тверде тіло – рідина низькочастотними механічними коливаннями під час екстрагування.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечена використанням сучасних методик і технічних рішень, математичних методів оброблення експериментальних даних, а саме: використанням метрологічно атестованої вимірювальної техніки і приладів: спектрофотометру СФ-46 з довжиною хвилі 275 нм і кварцовими кюветами товщиною поглинаючого шару 10^{-2}м; мікроскопу з пристроєм електронної фіксації оптичних сигналів; технічного рефрактометру ИРФ; вагів технічних А500 і аналітичних AD200; контактного термометру ТЛ-5; виконанням хіміко-технічних аналізів вихідної сировини і екстрактів відповідно до Інструкції з техно-хімічного контролю виробництва пива; використанням сучасних аналітичних інтегрованих систем MathCAD 14, КОМПАС – 3D V11, AutoCAD 2010.

Достовірність результатів досліджень і адекватність розроблених математичних моделей підтверджується результатами промислових випробувань напівпромислового зразка віброекстрактора хмелю безперервної дії.

Практичне значення отриманих результатів. Виконано технічний проект та отримано оптимальні режимні параметри роботи віброекстрактора з новим вібротранспортувальним пристроєм, здатним забезпечити ефективне розділення фаз та низьке поздовжнє перемішування в умовах протитечійного віброекстрагування цільових компонентів із хмельової сировини, з метою інтенсифікації масообміну (патент на корисну модель № 27705 від 12.11.07, Бюл. № 18; патент на винахід № 86485 від 27.04.09, Бюл. №8; патент на корисну модель № 46856 від 11.01.10, Бюл. №1). Результати роботи використані КБ «Яготинський машинобудівний завод» для розроблення технічної документації на віброекстрактор безперервної дії для пивоварної промисловості. Розроблені нові апаратурно-технологічні схеми виробництва хмельових екстрактів із використанням віброекстрагування (патент на корисну модель № 51295 від 12.07.10, Бюл. №13) та попереднього електроіскрового оброблення хмельової сировини. Результати роботи впроваджено на Бердичівському пивзаводі. Матеріали дисертаційної роботи доцільно використати в навчальному процесі при підготовці фахівців напряму «Харчова технологія та інженерія» при вивченні дисциплін: «Процеси

і апарати харчових виробництв», «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» та «Математичні моделі в розрахунках на ЕОМ».

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, підборі методик, обробці експериментальних даних, розробленні математичної моделі, промислових випробуваннях розробленої конструкції віброекстрактора безперервної дії, узагальненні результатів та їх публікації.

Розроблення технічний проекту напівпромислового зразка віброекстрактора та його патентування, аналіз та узагальнення результатів досліджень виконано у співавторстві з науковим керівником к.т.н., доц. Зав‘яловим В.Л.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались на наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів НУХТ (Київ, 2003 – 2010 рр.), 9-й Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи» (НУХТ, Київ, 2005 р.), 11 Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових і хімічних виробництв» (Одеса, 2008 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Стан і перспективи розвитку сучасних технологій і обладнання переробних і харчових виробництв» (Вінниця, 2009 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи» (Київ, 2010 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 20 робіт: 4 статті у фахових виданнях, 3 деклараційні патенти України на корисну модель та 1 на винахід, 12 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний зміст дисертаційної роботи викладено на 124 сторінках, в тому числі 102 рисунка і 9 таблиць; до роботи додається 7 додатків на 61 сторінці. Список використаних літературних джерел містить 162 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано доцільність і актуальність дисертаційної роботи, визначені мета і задачі досліджень.

У **першому розділі** наведено літературний огляд сучасного стану виробництва хмельових екстрактів в Україні, способи їх отримання. Сформульовано припущення про можливість використання води для отримання хмельових екстрактів при інтенсивному перемішуванні фаз. Глибокий аналіз існуючих конструкцій промислових екстракторів показав перспективність застосування віб-

роекстракторів безперервної дії, а також напрямки їх удосконалення та сприяв формулюванню задач досліджень.

У **другому розділі** наведено методики досліджень, описано експериментальні установки.

Для реалізації задач досліджень було виготовлено дослідну віброекстракційну установку безперервної дії (рис.1). Принцип її роботи такий: екстрагент потрапляє в апарат через пристрій 5, рухається вздовж апарата і після фільтрування через сито 7 виводиться через кран 8. Тверда фаза подається через завантажувальний пристрій 3, рухається під дією коливального руху тарілок протитечійно екстрагенту і виводиться через лоток 6.

При русі тарілки вниз (рис.2, а) суміш подрібнених шишок хмелю з екстрагентом витискується через відкриті елементи 2 і потрапляє в патрубок 5. Утворений при цьому факел суміші розширюється до стінок патрубка, а подрібнені шишки хмелю ідуть у периферійну зону. На виході з патрубка відбувається подальше розширення факела суміші і тверді частки потрапляють за межі патрубка.

При русі тарілки вверх (рис.2, б) центральна частина факела суміші, що має найменший вміст твердої фази, змикаючись повертається до відкритого елемента 2 і переходить під тарілку. Оскільки гідравлічний опір відкритих

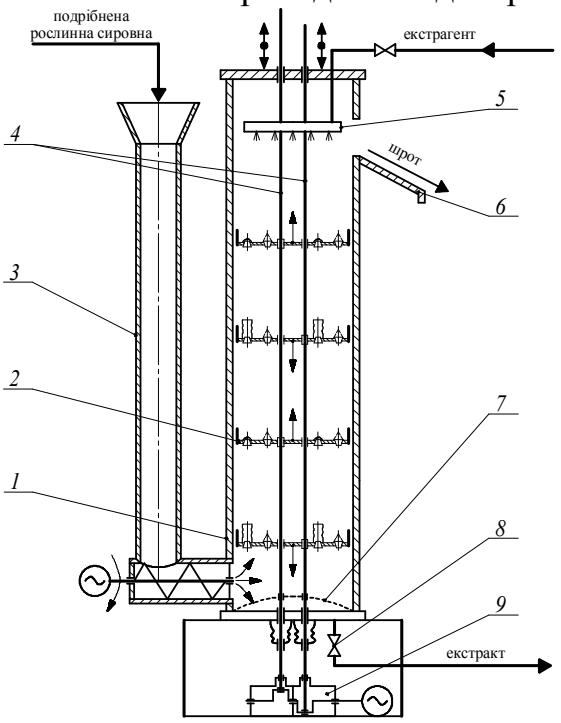

Рис.1. Схема експериментальної установки:
1 – колона; 2, 3 – вібротранспортувальний та завантажувальний пристрої;
4 – штоки; 5 – колектор; 6 – лоток;
7 – сито; 8 – кран; 9 – вібропривід

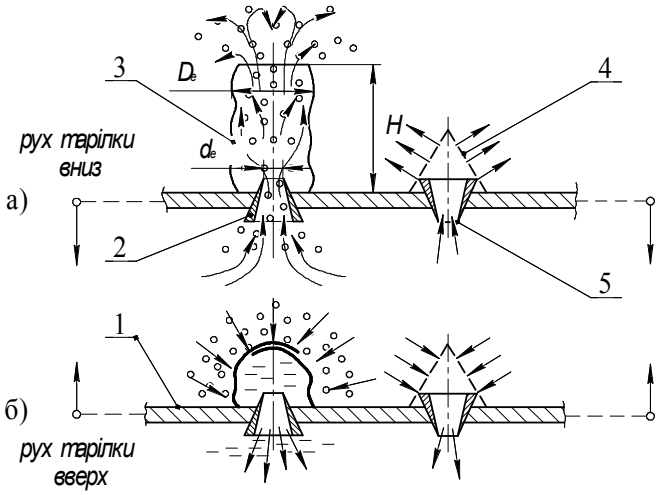

Рис.2. Схема руху потоків:
а) переток середовища у бік твердої фази;
б) рух середовища в період фільтрування екстрагента:
1 – транспортувальна тарілка;
2, 5 – відкриті елементи;
3 – гнучкий патрубок; 4 – сітка

елементів при переміщенні тарілки вверх більший, ніж при зворотному напрямі, це дає можливість затримати на тарілці більше твердих частинок хмелю, тобто призводить до їх протитечійного екстрагенту транспортуванню.

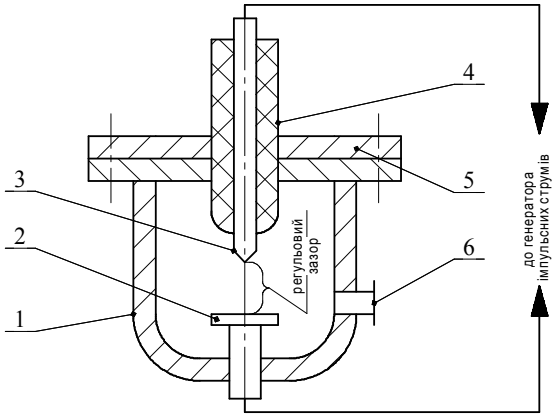

Рис.3. Зовнішній вигляд електророзрядної камери: 1 – корпус; 2 – анод; 3 – катод; 4 – патрубок; 5 – кришка; 6 – ізолятор

Дослідження впливу попередньої електроіскрової обробки хмельової сировини перед віброекстрагуванням проводили в розрядній камері спеціальної конструкції, зовнішній вигляд якої наведено на рис.3. Напруга в каналі розряду встановлювалась регулюванням зазору між торами повітряного розрядника. Проби обробленої хмельової сировини відбирались через зливний патрубок із спеціальним краном.

У **третьому розділі** розроблено математичну модель структури потоків при безперервному віброекстрагуванні з хмельової сировини. Для оцінювання рівня поздовжнього перемішування прийнято комбіновану модель. При цьому апарат умовно поділявся на дві послідовно з'єднані зони з різним механізмом та ступенем перемішування: ідеального перемішування (ІП) та ідеального витіснення (ІВ) (рис.4).

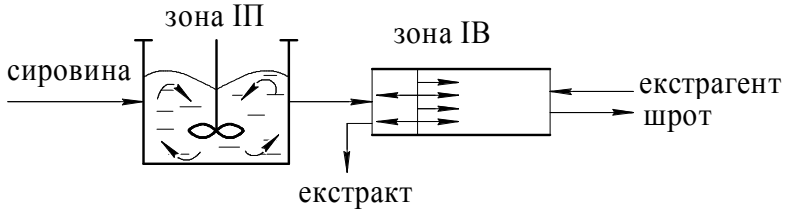

Рис.4. Схема структури потоків у віброекстракторі безперервної дії

Така модель передбачає ідеальне перемішування у завантажувальній частині апарата та ідеальне витіснення в робочій зоні апарата, ускладнене поздовжнім перемішуванням:

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = \dfrac{\upsilon}{V}\left(S^* - S\right) \\ \dfrac{\partial c}{\partial t} = -u\dfrac{\partial c}{\partial x} + D_L\dfrac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \end{cases} \qquad (1)$$

де S та S^* – відповідно поточна та рівноважна концентрації речовини в завантажувальному пристрої; t – час; x – змінна координата довжини робочої частини апарата; D_L – коефіцієнт поздовжнього перемішування; υ, u – відповідно об'ємна та лінійна швидкість потоку; V – об'єм робочої зони апарата.

При імпульсному трасуванні робочого потоку зона ІП описується моделлю:

$$\begin{cases} \dfrac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t) \\ S(0) = S_0, \end{cases} \tag{2}$$

де $\beta = \upsilon / V$ – величина еквівалентна оберненому середньому часу перебування трасера в апараті; V – об'єм зони ІП, S_0, $S(t)$ – відповідно початкова та поточна концентрації речовини в зоні ІП.

Зона ІВ може бути описана наступною крайовою задачею:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} - U \frac{\partial C(x,t)}{\partial x};\ 0 \le x \le L \tag{3}$$

з початковою: $C(x,0) = 0$; $0 \le x \le L$

та крайовими умовами на лівому $-D_L \dfrac{\partial C(x,t)}{\partial x} = U(S(t) - C(x,t))$ при $x = 0$; (4)

та правому кінцях ділянки робочого об'єму апарата: $\dfrac{\partial C(x,t)}{\partial x} = 0$ при $x = L$. (5)

Розв'язок систем (2) та (3) методом розділення змінних може бути поданий у вигляді:

$$C(x,t) = 2S_0 e^{\frac{Pe}{2}\left(\frac{x}{L} - \frac{1}{2}\frac{t}{\bar{t}}\right)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{A_n} y_n(x) e^{-\frac{1}{Pe}\lambda_n^2 \frac{t}{\bar{t}}} R_n(t), \tag{6}$$

де $R_n(t) = \dfrac{1}{\gamma_n - \beta\bar{t}}\left(e^{(\gamma_n - \beta\bar{t})\frac{t}{\bar{t}}} - 1\right)$, $\gamma_n = \dfrac{Pe}{4} + \dfrac{\lambda_n^2}{Pe}$, $A_n = 1 + \dfrac{Pe}{\lambda_n^2}\left(1 + \dfrac{Pe}{4}\right)$,

$y_n(x) = \cos\left(\lambda_n \dfrac{x}{L}\right) + \dfrac{Pe}{2\lambda_n}\sin\left(\lambda_n \dfrac{x}{L}\right)$ – власна функція однопараметричної дифузійної моделі (3) з крайовими умовами (4), (5); $\lambda_n > 0$ – корені трансцендентного рівняння: $tg\lambda = \dfrac{4Pe \cdot \lambda}{4\lambda^2 - Pe^2}$; $Pe = \dfrac{u \cdot L}{D_L}$ – критерій Пекле, $\bar{t} = \dfrac{L}{u}$ – середній час перебування трасера в зоні ІВ, L – довжина робочої ділянки.

Отримана формула (6) може бути використана для визначення поточної концентрації речовини в довільній точці робочої зони апарата та взята за основу при розв'язанні оптимізаційних задач.

Результати дослідження структури потоку в апараті узагальнені кривими відгуку системи на імпульсне збурення (рис.5) – $S=f(\theta)$, де $S = C_i / \overline{C}$ та $\theta = \tau_i / \overline{\tau}$ – відповідно безрозмірні концентрація та час.

Встановлено, що із зростанням частоти коливань тарілки від 2 до 4 Гц поздовжнє перемішування збільшується в середньому у 3 рази. Ще більший вплив на перемішування фаз вздовж осі потоку суміші в апараті має амплітуда коливань.

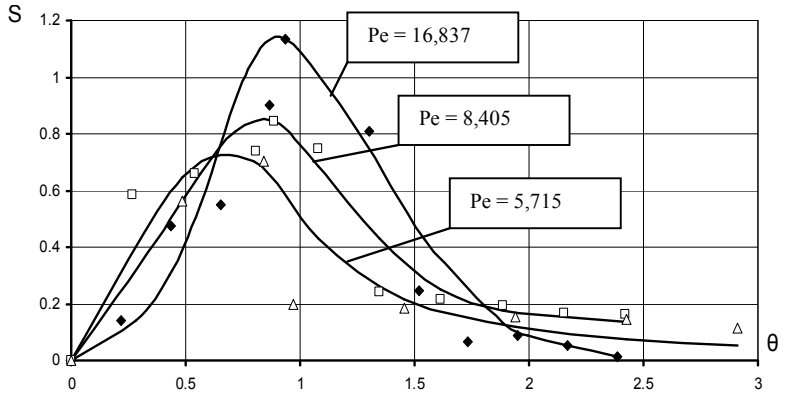

Рис.5. Експериментальні С-криві відгуку системи на імпульсне збурення робочого потоку апарата при частоті коливань вібротранспортувальної системи 3 Гц для амплітуд коливань відповідно:
◆ – $A=5\cdot10^{-3}$м; □ – $A=10\cdot10^{-3}$м;
△ – $A=15\cdot10^{-3}$м

Раціональним режимом роботи віброекстрактора, що забезпечує необхідну продуктивність з мінімальним ефектом поздовжнього перемшування, слід вважати режим з амплітудою $10\cdot10^{-3}$м та частотою коливань до 3 Гц для тарілок з транспортувальними елементами у кількості від 10 до 16 при співвідношеннях висоти до діаметра гнучких патрубків та діаметра гнучких патрубків до діаметра транспортувальних елементів відповідно 1,5-3 та 2-3. На даному проміжку спостерігається значне зменшення рівня поздовжнього перемішування, що покращує гідродинамічну обстановку в апараті (рис.6). Встановлено збільшення транспортувальної здатності тарілок з гнучкими патрубками на хмельовій сировині при амплітуді коливань $10\cdot10^{-3}$м (рис.7).

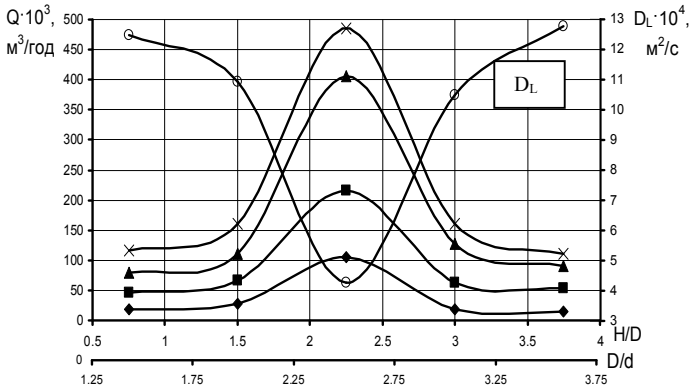

Рис.6. Залежність продуктивності віброекстрактора та рівня поздовжнього перемішування від геометрії транспортувальних елементів:
–◆– f=1 Гц; –■– f=2 Гц; –▲– f = 3 Гц;
–✳– f = 4 Гц; –○– f=D_L

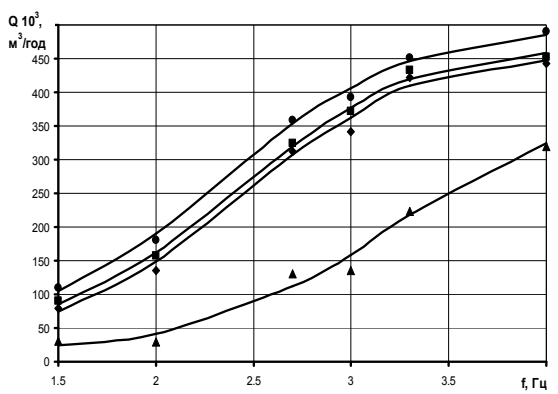

Рис.7. Залежність продуктивності віброекстрактора від частоти коливань вібротранспортувального пристрою: ● хміль; ◆ капронова дрібка; ■ бурякова стружка; ▲ хміль (тарілка з жорсткими патрубками)

У **четвертому розділі** досліджувались дифузійні властивості шишкового хмелю та ефективність дії пульсуючих турбулентних струменів. За дослідними даними побудовано екстракційні криві для різних температур екстрагента. За характером отриманих залежностей (рис.8 та рис.9) процес екстрагування хме-

лю у віброекстракторі безперервної дії можна розділити на 2 характерних проміжки: зростання та спадання значення коефіцієнта дифузії. Зростання молекулярної дифузії на першому проміжку до 20 хв пояснюється вилученням цільових компонентів, розташованих у поверхневих шарах сировини (≈ 30% від усіх сухих речовин). Спадання на другому проміжку пояснюється вилученням СР, розташованих у глибині сировини. Розшарування графіків відбувається за рахунок зміни умов екранування або зміною активної поверхні твердої фази за частотною характеристикою та гідромодулем.

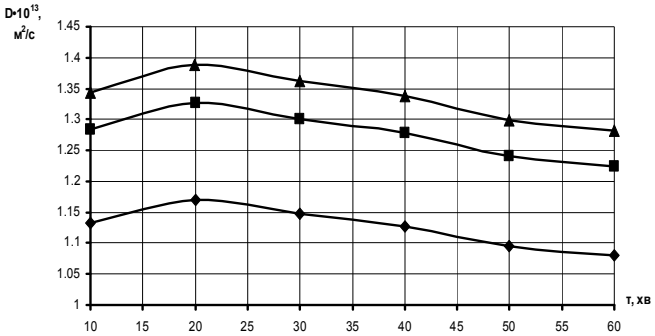

Рис.8. Зміна коефіцієнта дифузії в часі при різних частотах коливання вібротранспортувальної системи (q=20): –◆– f = 2 Гц; –■– f = 3Гц; –▲– f = 4 Гц.

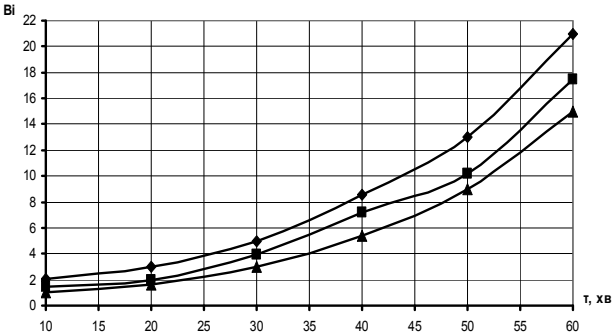

Рис.9. Зміна значення критерію Біо в часі при різних частотах коливання вібротранспортувальної системи (q = 20): –◆– f = 2 Гц; –■– f = 3Гц; –▲– f = 4 Гц.

Поступове зростання критерію Біо (рис.9) із збільшенням частоти коливань свідчить про збільшення швидкості зовнішньої дифузії у порівнянні із швидкістю внутрішньої, яка зумовлена виключно властивостями сировини.

Досліджувались ефективність дії пульсуючих турбулентних струменів на модельній сировині (зразки кристалогідрату сірчанокислого алюмінію ($A1_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ діаметром $14 \cdot 10^{-3}$м, висотою $22 \cdot 10^{-3}$м) із захищеними від розчинення торцями) та амплітудно-частотний вплив на дифузійний процес розчинення зразків на різних відстанях від джерела коливань. У цьому випадку коефіцієнт масовіддачі практично дорівнює коефіцієнту швидкості процесу розчинення (K_M) та визначається за формулою:

$$K_M = \frac{2\sqrt{G_0}\left(\sqrt{G_0 - \theta/2} - \sqrt{G_1 + \theta/2}\right)}{F_0\left(C_H - C\right)\tau},$$

де F_0 – початкова площа поверхні розчинення зразка, м^2; G_0 – маса зразка до розчинення, кг; θ – зміна маси зразка за час введення його в апарат і виведення з нього, кг; $G_1 = G_0 - m - \theta$ – маса зразка після розчинення, кг; C_H і C – відповідно концентрація насичення і концентрація розчинюваної речовини в основній масі розчинника, кг/м^3.

Результати досліджень узагальнено у вигляді функціональної залежності

$Nu_Д / \mathrm{Pr}_Д^{0,5} = f\left(\mathrm{Re}_В^{1,0}\right)$ для умов дії струменів, генерованих нижньою та сумісною дією верхньої та нижньої тарілок, яка апроксимується відповідними критеріальними рівняннями (рис.11).

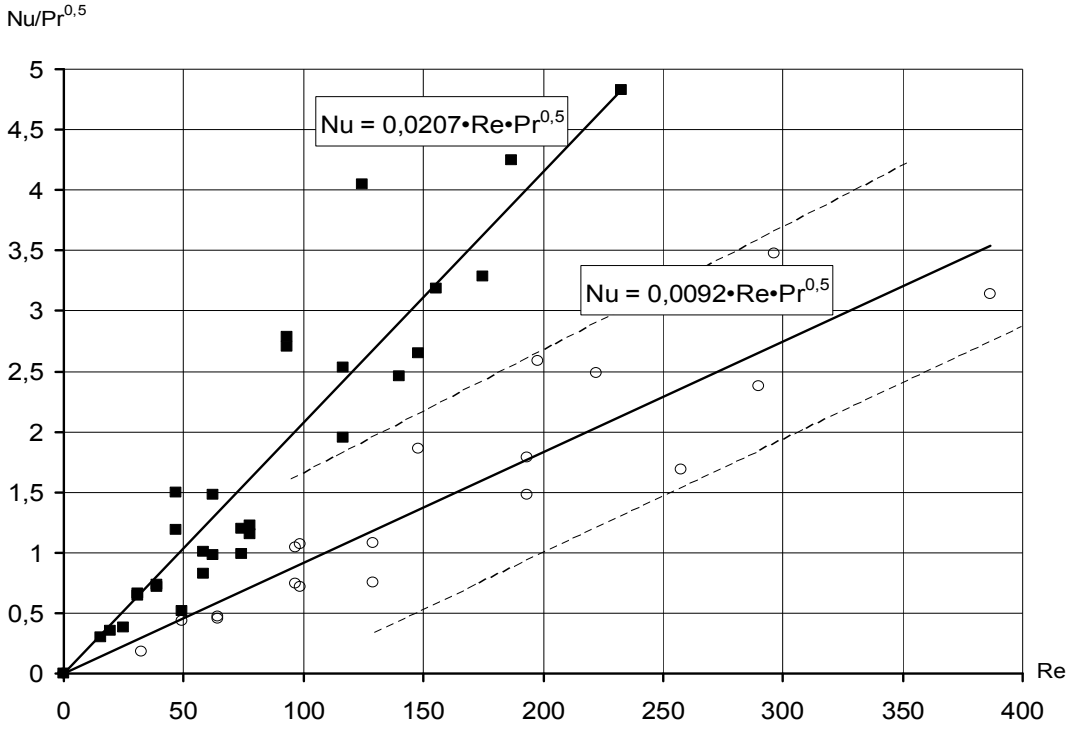

Рис.11. Узагальнення експериментальних даних по дослідженню ефективності дії пульсуючих турбулентних струменів з використанням модельної сировини: ■ – дія нижньої тарілки;○ – сумісна дія нижньої та верхньої тарілок; ---- – зона дії верхньої тарілки

У **п'ятому розділі** досліджено доцільность попереднього оброблення водно-хмельової суспензії електроімпульсними розрядами з метою інтенсифікації процесу віброекстрагування. Встановлено раціональний режим проведення попередньої обробки хмельової сировини перед віброекстрагуванням, при якому вихід цільового продукту із рослинної сировини буде найбільшим (кількість імпульсів – 1; напруга в каналі розряду – 30 кВ).

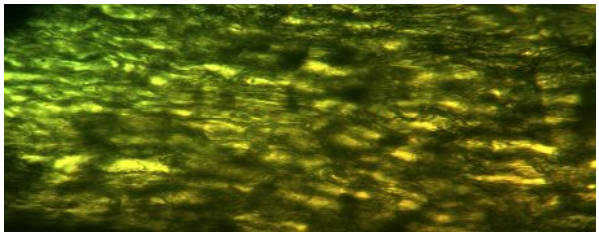

Рис.12. Вихідна сировина

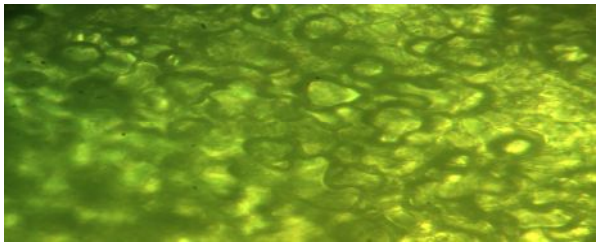

Рис.13. Сировина після електроіскрового оброблення

Досліджено сумісний вплив електроіскрової обробки сировини і низькочастотних механічних коливань при віброекстрагуванні. З метою візуалізації наслідків руйнації клітини за рахунок сумісної дії електроіскрового оброблення та низькочастотних механічних коливань виконувались мікрофотознімки

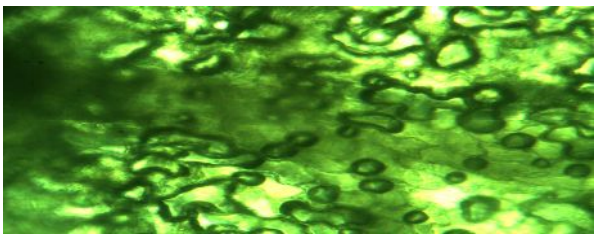

Рис.14. Сировина після електроіскрового оброблення та процесу віброекстрагування

структури рослинної сировини (рис. 12-14).

Рис.14 показує глибоку руйнацію клітини в результаті сумісної дії попереднього електроіскрового оброблення сировини та низькочастотних механічних коливань. Цей ефект скорочує загальний час процесу вилучення цільових компотнентів від 40 до 20 хв при незмін них якісних показниках екстракту (рис.15, 16). Отриманий ефект підкреслює переваги отримання водноізомеризованого екстракту даним способом, оскільки при цьому можливо отримати комплексний препарат, що містить не тільки водорозчинні гіркі речовини, а й весь комплекс речовин, які зазвичай потрапляють в пивне сусло при його охмелінні шишковим хмелем, але з більшим виходом.

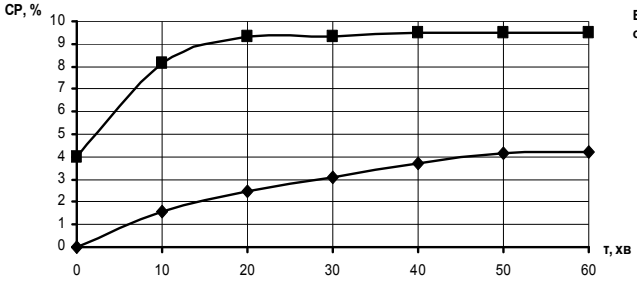

Рис.15. Вміст сухих речовин в екстракті при сумісному впливі попереднього електроіскрового оброблення сировини і низькочастотних механічних коливань при віброекстрагуванні: –◆– – без попереднього оброблення сировини; –■– – з попереднім обробленням сировини

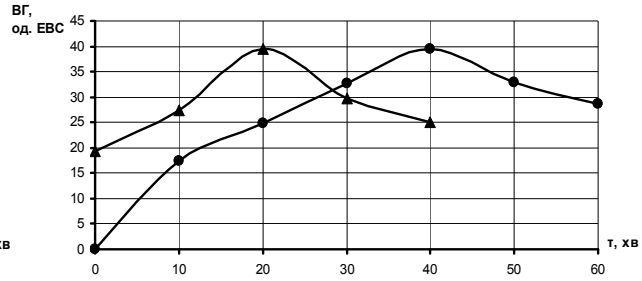

Рис.16. Зміна величини гіркоти в часі при сумісному впливі попередньої електроіскрової обробки сировини і низькочастотних механічних коливань на процес віброекстрагування: –▲– – сировина з попереднім обробленням; –●– – сировина без попереднього оброблення

У **шостому розділі** представлено розроблену конструкцію віброекстрактора безперервної дії з протитечійною транспортувальною системою (рис.17).

Висока продуктивність віброекстрактора забезпечується за допомогою вібротранспортувального пристрою (рис.18) спеціальної конструкції, який не викликаює пресування та забезпечує поруватість шару рослинної сировини незалежно від розміру часток. Він оснащений однонаправленими елементами 4, які мають різний гідравлічний опір руху через них середовища у взаємно протилежних напрямах і розташованими таким чином, що гідравлічний опір руху середовища у бік вивантаження твердої фази менше, а також протилежно направленими ним аналогічними елементами, закритими фільтруючими випуклими сітками 3, встановленими на стороні меншого гідравлічного опору еле-

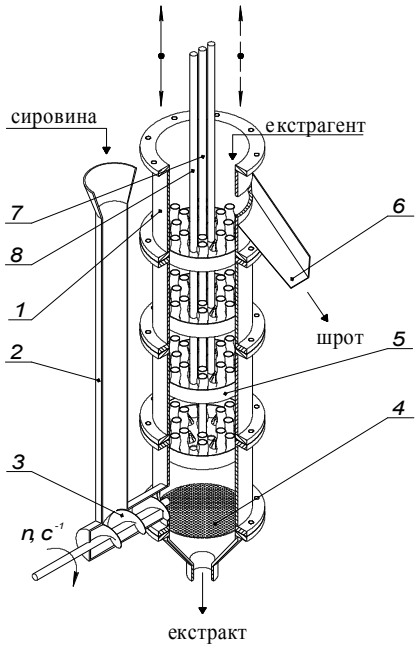

Рис.17. Вібраційний екстрактор: 1 – царга; 2 – завантажувальний пристрій з воронкою; 3 – шнек; 4 – фільтрувальна решітка; 5 –транспортувальна тарілка; 6 – лоток; 7, 8 – штоки

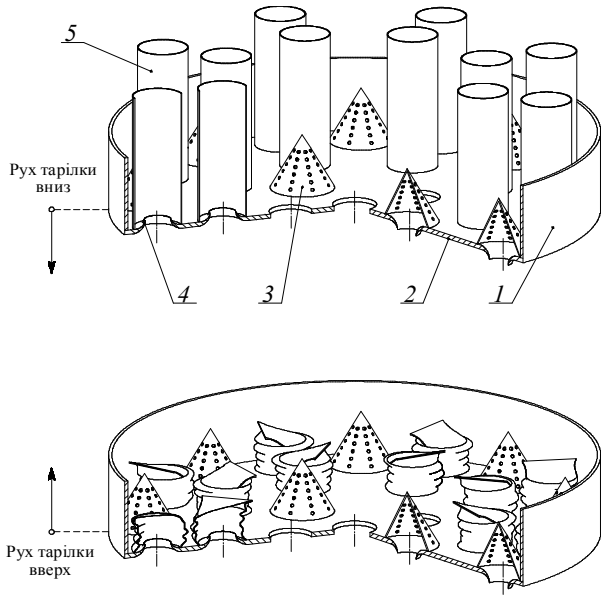

Рис.18. Вібротранспортувальний пристрій: 1 – борт; 2 – тарілка; 3 – фільтрувальний елемент; 4 – сопло; 5 – гнучкий патрубок

ментів. З боку більшого гідравлічного опору відкритих елементів 4 встановлено гнучкі патрубки 5.

Розроблена апаратурно-технологічна схема виробництва хмелевих екстрактів безперервної дії представлена на рис.19.

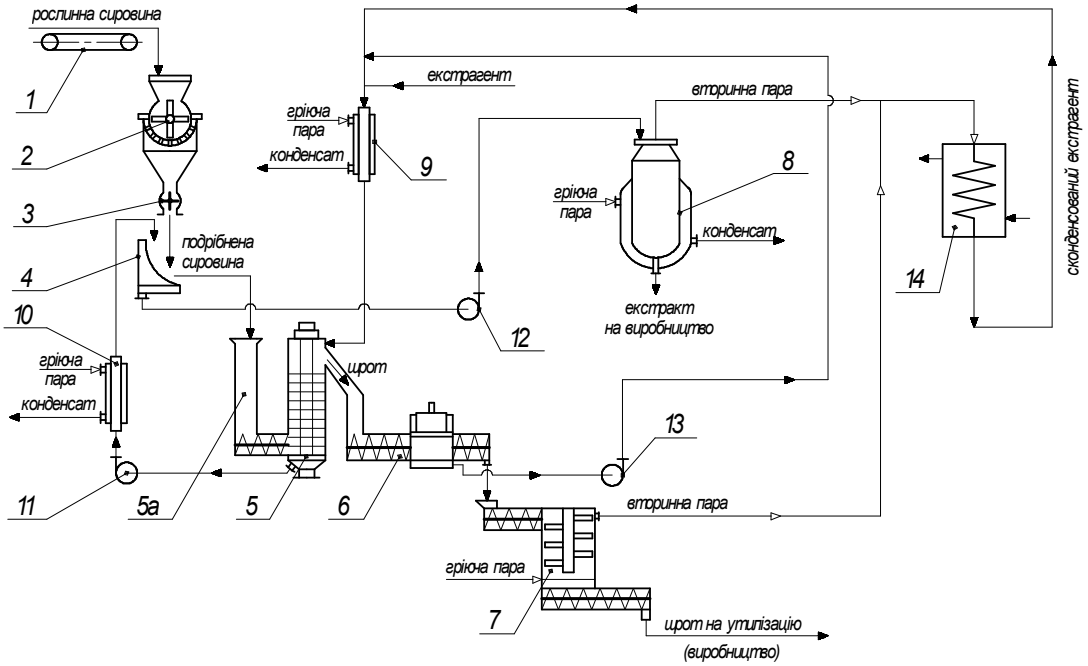

Рис.19. Апаратурно-технологічна схема виробництва хмельових екстрактів: 1 – транспортер; 2 – подрібнювач; 3 – дозатор; 4 – відокремлював; 5 – віброекстрактор; 6 – прес; 7 – дистилятор; 8 – випарний апарат; 9,10 – теплообмінники; 11, 12, 13 – насоси; 14 – конденсатор

Проінспектована та очищена від сторонніх речовин рослинна сировина транспортером 1 через подрібнювач 2 подається на дозатор 3, далі на відокремлювач екстракту 4, куди циркуляційним насосом 11 надходить підігріта до необхідної температури частина суспензії. Частина відокремленого екстракту, що пройшов крізь пори дугового сита відокремлювача насосом 12 подається на концентрування на випарний апарат 8 і далі на подальше його використання за призначенням. З відокремлювача 4 свіжа рослинна сировина, а також та, що зійшла з нього після підігріву подається у завантажувальний пристрій 5а віброекстрактора 5. Під дією зворотно-поступального руху тарілок віброекстрактора відбувається розділення суміші твердої та рідкої фаз, що подається через теплообмінник 9 на верхню тарілку віброекстрактора. Проекстрагована сировина (шрот) з верхньої тарілки віброекстрактора потрапляє на прес 6, звідки насосом 13 відокремлений від шроту екстрагент надходить на теплообмінник 9 і змішується з свіжим. Віджатий шрот, в разі використання для екстрагування леткого екстрагента, потрапляє в дистилятор 7 для відокремлення легколеткого компонента і далі направляється для подальшого технологічного використання. Відпрацьована вторинна пара, що містить легколеткий компонент, з дистилятора 7 та випарного апарата 8 конденсується в конденсаторі 14 і далі змішується з свіжим екстрагентом у теплообміннику 9.

Розроблена апаратурно-технологічна схема виробництва хмельових екстрактів з використанням електророзрядного пристрою СКІФ-140 показана на рис.20. Використання даної апаратурно-технологічної схеми з попереднім об робленням сировини дає можливість скоротити час екстрагування сировини при незмінних якісних показниках отриманого екстракту.

Апаратурно-технологічна схема працює наступним чином. Підготовлена сировина транспортером 1 надходить до бункера-накопичувача з турнікетним дозатором 2, звідки рівномірно подається на відокремлювач з дуговим ситом 3, де змочується екстрактом, що надійшов по циркуляційному контуру через насос 4. Після змочування сировина надходить в завантажувальний пристрій 5 віброекстрактора 7 і штовхачем подається в горизонтальну частину пристрою, де знаходиться електродна система електророзрядного пристрою СКІФ-140 6. Під дією електрогідравлічного ефекту, ініційованого високовольтними електроіскровими розрядами, що генеровані електророзрядним пристроєм 6, частково пошкоджуються оболонки клітин рослинної сировини, що покращує процес вилучення цільових компонентів з неї. Далі сировина надто дить в нижню частину робочого об’єму віброекстрактора, де і відбувається власне процес екстрагування. Відпрацьована сировина видаляється з верхньої частини колони апарата та надходить до преса 8, де з неї видаляють залишки екстрагенту, що насосом 9 повертаються в екстрактор. Готовий екстракт відбирається з нижньої частинки колони та насосом 4 подається на відокремлювач з дуговим ситом для змочення

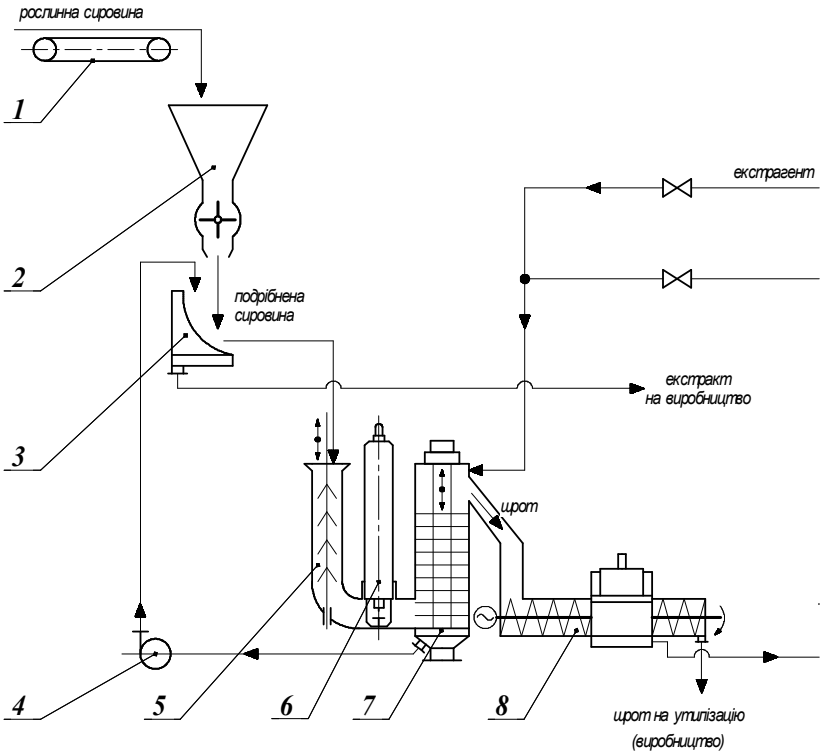

Рис.20. Апатурно-технологічна схема виробництва хмельових екстрактів з використанням електророзрядного пристрою СКІФ-140: 1 – транспортер; 2 – бункер-накопичувач; 3 – відокремлювач; 4, 9 – насос; 5 – завантажувальний пристрій; 6 – електророзрядний пристрій СКІФ-140; 7 – віброекстрактор; 8 – прес

свіжої сировини, фільтрування. від грубих механічних домішок після чого йде на виробництво.

Розроблені апаратурно-технологічні схеми за рахунок нових технологічних рішень можуть бути використані також з метою отримання екстрактів функціонального призначення із рослинної сировини трав'яного та плодово-ягідного походження з високим ступенем їх подрібнення.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених досліджень доведено, що активізація міжфазової поверхні при віброекстрагуванні із хмельової сировини забезпечується генеруванням пульсуючих турбулентних струменів елементами вібротранспортувального пристрою, який створює одночасні механізми перемішування і протитечійного розділення фаз.

2. Встановлено, що низькочастотні механічні коливання з частотою до 4Гц не створюють суттєвого поздовжнього перемішування.

3. Розроблена математична модель структури потоків при безперервному віброекстрагуванні із хмельової сировини для визначення поточної концентра-

ції речовини в довільній точці робочої зони апарата, яка може бути основою для розв'язання оптимізаційних задач.

4. Встановлено оптимальні конструктивні і робочі параметри вібруючого транспортувального пристрою, які забезпечують ефективний зовнішній масообмін в умовах вилучення цільових компонентів із хмельової сировини водою та мають найбільшу транспортувальну здатність з низьким поздовжнім перемішуванням. Ними є: амплітуда коливань A = (10-15)·10-3 м, частота коливань f = 2-4 Гц, співвідношення еквівалентного діаметра патрубка до еквівалентного діаметра відкритого елемента в межах 2-3 та висоти патрубка до його еквівалентного діаметра 1,5-3.

5. Досліджено вплив технологічних параметрів (температури, часу екстрагування та гідромодуля) при водяному безперервному віброекстрагуванні, що підтверджено динамікою накопичення гірких речовин в екстракті.

6. Виявлено, що сировина має незначну руйнацію від знакозмінної дії вібротранспортувальних пристроїв під час безперервного екстрагування, що пояснюється еластичністю структури хмельової сировини після замочування в екстрагенті. При цьому повна руйнація найбільш міцної структури шишки – пелюстків, відбувається в запропонованому режимі віброекстрагування на 60-й хвилині. Вибраний режим є достатнім для фізичного розпаду хмельової муки-крихких зерен лупуліну.

7. Доведена ефективність сумісної дії низькочастотних механічних коливань та попереднього електроіскрового оброблення на екстракційну здатність хмельової сировини. Оптимальними параметрами попереднього електроіскрового оброблення є: кількість розрядів – n = 1, напруга в каналі розряду – U=30кВ.

8. За одержаними результатами експериментів розроблено нову конструкцію вібротранспортувального пристрою підвищеної продуктивності для перероблення хмельової сировини (патент на корисну модель № 27705 від 12.11.07, Бюл. № 18; патент на винахід № 86485 від 27.04.09, Бюл. №8; патент на корисну модель № 46856 від 11.01.10, Бюл. №1).

9. Розроблено та запропоновано для використання в пивоварній промисловості нові апаратурно-технологічні схеми: безперервного отримання хмельових екстрактів з віброекстрактором (патент на корисну модель № 51295 від 12.07.10, Бюл. №13) та з попереднім електроіскровим обробленням сировини;

10. Розроблено технічну документацію на виготовлення нової конструкцію віброекстрактора підвищеної продуктивності Яготинським машинобудівними заводом.

11. Впроваджено протитечійний віброекстрактор безперервної дії на Бердичівському пивзаводі.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових журналах:

1. Зав'ялов В.Л. Особливості віброекстрагування із рослинної сировини та перспективи його застосування у переробній промисловості / В.Л. Зав'ялов, Ю.В. Запорожець, Д.В. Барабась // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2003. – №1 (27). – С. 42–43.

Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів.

2. Ю.В. Запорожець. Дослідження дифузійних властивостей шишкового хмелю при виробництві екстрактів / Ю.В. Запорожець, В.Л. Зав'ялов, В.С. Бодров // Наукові праці Вінницького державного аграрного університету. – Вінниця, 2006. – № 1. – С. 20–24.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментальної частини обробка результатів досліджень, підготовка матеріалів до публікації.

3. Зав'ялов В.Л. Дослідження структури реальних потоків в екстракторі колонного типу з вібруючою системою розділених фаз / В.Л. Зав'ялов, Ю.В. Запорожець, О.П. Лобок // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій: зб. наук. праць. – 2008. – № 32. – С. 93–97.

Особистий внесок дисертанта: підбір методик експериментальних досліджень, проведення експериментів, обробка отриманих результатів.

4. Зав'ялов В.Л. Особливості безперервного віброекстрагування цільових компонентів з хмельової сировини / В.Л. Зав'ялов,Ю.В. Запорожець,О.П. Лобок // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2009. – №3 (55). – С. 98–103.

Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування теоретичних положень, виконання експериментальної частини, формулювання висновків та результатів.

Патенти на корисні моделі та винаходи:

5. Пат. кор.мод. 27705 Україна, МПК^6 B 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В.Л., Запорожець Ю.В., Бодров В.С.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № u200707568; заявл. 05.07.07; опубл. 12.11.07, Бюл. № 18.

Особистий внесок здобувача: розроблення конструкції вібраційного екстрактора, підготовка матеріалів до публікації.

6. Пат. винах. 86485 Україна, МПК^6 B 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В.Л., Запорожець Ю.В., Бодров В.С.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № a200707563; заявл. 05.07.07; опубл. 27.04.09, Бюл. №8.

Особистий внесок здобувача: розроблення конструкції вібраційного екстрактора, експериментальна апробація розробки.

7. Пат. кор.мод. 46856 Україна, МПК^6 B 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Запорожець Ю.В., Зав'ялов В.Л., Ардинський О.В.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № u200906927; заявл. 02.07.09; опубл. 11.01.10, Бюл. №1.

Особистий внесок здобувача: формулювання висновків та результатів.

8. Пат. кор.мод. 51295 Україна, МПК^6 B 01 D 11/02. Лінія виробництва екстрактів із рослинної сировини та її відходів / Запорожець Ю.В., Зав'ялов В.Л.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № u201000522; заявл. 20.01.10; опубл. 12.07.10, Бюл. №13.

Особистий внесок здобувача: формулювання висновків та результатів, підготовка матеріалів до публікації.

Тези і матеріали наукових конференцій:

9. Застосування віброекстракторів для приготування екстрактів із хмелю та іншої сировини / Ю.В. Запорожець, Ю.О. Вакуленко, В.П. Лисенко, В.Л. Зав'ялов // Матеріали 69-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Київ: НУХТ, 2003. – С. 145.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, виконання експериментальної частини, формулювання висновків та результатів.

10. Запорожець Ю.В. Аналіз існуючих технологічних схем та апаратурного оформлення виробництва екстрактів із хмелю / Ю.В. Запорожець, В.С. Бодров, В.Л. Зав'ялов // Матеріали 70-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Київ: НУХТ, 2004. – С. 128.

Особистий внесок здобувача: проведено аналіз існуючих технологічних схем виробництва екстрактів із хмелю.

11. Зав'ялов В.Л. Апаратурно-технологічна схема віброекстрагування функціональних речовин із хмелю / В.Л. Зав'ялов, Ю.В. Запорожець, В.С. Бодров // Харчова промисловість. Додаток до журналу. – 2004. – №3. – С. 117–118.

Особистий внесок здобувача: розроблення апаратурно-технологічної схеми віброекстрагування функціональних речовин із хмелю, підготовка матеріалів до публікації.

12. Запорожець Ю.В. Вплив низькочастотних механічних коливань на процес вилучення цільових компонентів із шишкового хмелю при виробництві хмельових екстрактів / Ю.В. Запорожець, В.Л. Зав'ялов // Матеріали 71-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Київ: НУХТ, 2005. – С. 124.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, виконання експериментальної частини, формулювання висновків та результатів.

13. Запорожець Ю.В. Дослідження дифузійних властивостей шишкового хмелю при виробництві екстрактів/ Ю.В. Запорожець, В.Л. Зав'ялов // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції. – Київ: НУХТ, 2005. – С. 13–14.

Особистий внесок здобувача: виконання експериментальної частини, формулювання висновків та результатів.

14. Дослідження структури гідродинамічного потоку в екстракторі з вібруючою системою транспортування / Ю.В. Запорожець, Л.В. Герасименко, В.О. Лемеш [та ін.] // Матеріали 72-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Київ: НУХТ, 2006. – С. 135.

Особистий внесок здобувача: підбір методик для виконання експериментальної частини, формулювання висновків та результатів.

15. Дослідження гідродинаміки та протитечійного розділення фаз при віброекстрагування цільових компонентів із шишкового хмелю / О.В. Ардинський, С.П. Птуха, Ю.В. Запорожець [та ін.] // Матеріали 73-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Частина II. – Київ: НУХТ, 2007. – С. 145–146.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, виконання експериментальної частини, формулювання висновків та результатів.

16. Дослідження структури потоку в екстракторі колонного типу з вібруючою системою транспортування/ О.В. Ардинський, В.Л. Зав'ялов, Ю.В. Запорожець [та ін.] // Матеріали 74-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Київ: НУХТ, 2008. – С. 383.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, виконання експериментальної частини, підготовка матеріалів до публікації.

17. Запорожець Ю.В. Особливості структури хмельової сировини та процесу вилучення з неї цільових компонентів віброектрагуванням / Ю.В. Запорожець, В.Л. Зав'ялов // Матеріали 75-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Частина 3. – Київ: НУХТ, 2009. – С. 382.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів.

18. Протитечійне розділення фаз при безперервному віброекстрагуванні із рослинної сировини / Ю.В. Запорожець, О.С. Рушай, В.Л. Зав'ялов, В.С. Бодров // Матеріали 76-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Частина 3. – Київ: НУХТ, 2010. – С.127.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, оброблення результатів, підготовка матеріалів до друку.

19. Запорожець Ю.В. Моделювання зовнішнього масообміну при віброекстрагуванні із рослинної сировини / Ю.В. Запорожець, В.Л. Зав'ялов // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Частина І. – Київ: НУХТ, 2010. – С. 64.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів.

20. Закономірності віброекстрагування та перспективи його застосування для перероблення рослинної сировини та її відходів / В.Л. Зав'ялов, В.С. Бодров, Ю.В. Запорожець [та ін.] // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Частина І. – Київ: НУХТ, 2010. – С. 64.

Особистий внесок здобувача: наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів.

АНОТАЦІЯ

Запорожець Юлія Владиславівна. Інтенсифікація процесу екстрагування хмелю за допомогою низькочастотних механічних коливань у пивоварному виробництві. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв – Національний університет харчових технологій, Київ, 2010.

Дисертація присвячена дослідженню інтенсифікуючої дії низькочастотних механічних коливань на процес вилучення цільових компонентів із хмельової сировини при безперервному віброекстрагуванні у пивоварному виробництві, доцільності використання при цьому інших фізичних ефектів інтенсифікації процесу, вибору нового віброперемішувального і одночасно вібротранспортувального пристрою і на його основі створенню віброекстрактора підвищеної продуктивності.

Аналізу сучасного стану виробництва хмельових екстрактів в Україні, та огляд існуючих конструкцій промислових екстракторів показав перспективність застосування для цих цілей віброекстракторів безперервної дії.

Встановлено новий ефект протиточного розділення фаз при безперервному віброекстрагуванні з використанням віброперемішувальних пристроїв нової конструкції. Встановлено й досліджено режимні параметри роботи віброперемішувального пристрою, що забезпечують безперервне розділення фаз. Доведена та обґрунтована можливість та ефективність сумісної дії низькочастотних механічних коливань та попереднього електроіскрового оброблення на

інтенсифікацію процесу вилучення цільових компонентів з хмельової сировини. Оцінено структуру гідродинамічного потоку, що створюється вібротранспортувальними пристроями, його ступінь відхилення від ідеальної. Розроблено нову математичну модель для оцінення рівня поздовжнього перемішування при неперервному віброекстрагуванні. Обґрунтовано раціональний режим віброекстрагування ізогумулона із хмельової сировини, що забезпечує достатню продуктивність апарата з низьким повздовжнім перемішуванням.

Виконано ескізний проект віброекстрактора з новим вібротранспортувальним пристроєм, здатним забезпечувати ефективне розділення фаз в умовах протитечійного віброекстрагування цільових компонентів з хмельової сировини, з можливістю інтенсифікації масообміну та низьким поздовжнім перемішуванням. Обґрунтовано та розроблено нові апаратурно-технологічні схеми виробництва хмельових екстрактів з віброекстрагування та попереднім електроіскровим обробленням хмельової сировини. Результати роботи впроваджено на Бердичівському пивзаводі.

Ключові слова: екстрагування, низькочастотні механічні коливання, віброекстрагування, інтенсифікація, масоперенесення, хмельова сировина, гідродинамічна структура потоку.

АННОТАЦИЯ

Запорожец Юлия Владиславовна. Интенсификация процесса экстрагирования хмеля при помощи низкочастотных механических колебаний в пивоваренном производстве. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2010.

Диссертация посвящена исследованию интенсифицирующего действия низкочастотных механических колебаний на процесс извлечения целевых компонентов из хмелевого сырья при непрерывном виброэкстрагировании в пивоваренном производстве, целесообразности использования при этом других физических эффектов интенсификации процесса, выбору нового виброперемешивающего и одновременно вибротранспортирующего устройства и на его основе созданию виброэкстрактора повышенной производительности.

На основе анализа современного производства хмелевых экстрактов в Украине, обзора существующих конструкций промышленных экстракторов показана перспективность применения виброэкстракторов непрерывного действия.

Исследованы диффузионные свойства хмелевого сырья и установлено влияние на его структуру низкочастотных механических колебаний при виброэкстрагировании. Доказана возможность извлечения необходимой гаммы целевых компонентов из хмелевого сырья водой при виброэкстрагировании с обоснованием режимных и технологических параметров процесса. Установлен новый эффект противоточного разделения фаз при непрерывном виброэкстрагировании с использованием виброперемешивающих устройств новой конструкции. Доказана и обоснована возможность и эффективность совместного воздействия низкочастотных механических колебаний и предварительной электроискровой обработки на интенсификацию процесса извлечения целевых компонентов из хмелевого сырья. Оценена структура гидродинамического потока, который создается вибротранспортирующими устройствами, его степень отклонения от идеальной противоточной схемы вытеснения. Разработана новая математическая модель для оценки уровня продольного перемешивания при непрерывном виброэкстрагировании. Обоснован рациональный режим виброэкстрагирования изогумулона из хмелевого сырья, который обеспечивает достаточную производительность аппарата с низким продольным перемешиванием. Получили последующее развитие: моделирование внешнего массообмена с помощью модельных образцов сернокислого алюминия в условиях непрерывного виброэкстрагирования хмелевого сырья; закономерности обновления межфазной поверхности при возмущении системы твердое тело – жидкость низкочастотными механическими колебаниями при экстрагировании.

Выполнен эскизный проект виброэкстрактора с новым вибротранспортирующим устройством, способным обеспечивать эффективное разделение фаз в условиях противоточного виброэкстрагирования целевых компонентов из хмелевого сырья с возможностью интенсификации массообмена и низким продольным перемешиванием. Результаты работы использованы КБ «Яготинский машиностроительный завод» для разработки технической документации виброэкстрактора непрерывного действия для пивоваренной промышленности. Приведены практические рекомендации относительно выбора режимных параметров работы новой конструкции виброэкстрактора для непрерывного извлечения целевых компонентов из хмелевого сырья. Обоснованы и разработаны новые аппаратурно-технологические схемы производства хмелевых экстрактов при виброэкстрагировании и с предварительной электроискровой обработкой хмелевого сырья. Результаты работы внедрены на Бердичевском пивзаводе.

Ключевые слова: экстрагирование, низкочастотные механические колебания, виброэкстрагирование, интенсификация, массоперенос, хмелевое сырье, гидродинамическая структура потока.

ANNOTATION

Zaporozhets Yuliya Vladislavovna. Intensification of the Process of Extraction of Hop under the Action of Low-Frequency Mechanical Vibrations in Beer Production. – Manuscript.

Candidate (Ph. D.) Thesis (Technical Sciences) on speciality 05.18.12 – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions – National University of Food Technologies, Kyiv, 2010.

The thesis is devoted to the investigation of the intensifying action of low-frequency mechanical vibrations of the process of extraction of desired components from hop raw materials during continuous vibratory extraction in the beer production, the expediency of using other physical effects of intensification of the process, the choice of new vibratory mixing and simultaneously vibratory transporting device and the development of a vibratory extractor of increased output on its base.

On the basis of an analysis of the modern production of hop extracts in Ukraine and a review of the existing designs of commercial extractors, the prospects of using continuous vibratory extractors was shown.

A new effect of counterflow phase separation during continuous vibratory extraction using vibratory mixing devices of new design was detected. The possibility and efficiency of the joint action of low-frequency mechanical vibrations and preliminary electric spark treatment on the intensification of the process of extraction of desired components from hop raw materials was proved and justified. The structure of a hydrodynamic flow generated by the vibratory transporting devices and the degree of deviation of the hydrodynamic flow from the ideal counterflow scheme of displacement were assessed. A new mathematical model for estimating the level of longitudinal mixing during continuous vibratory extraction was developed. A rational regime of vibratory extraction of isohumulone from the hop raw materials, which provides the sufficiently high output of the mixer with a low longitudinal mixing was justified.

A conceptual design of the vibratory extractor with a new transporting device, which can provide efficient separation of phases under conditions of counterflow vibratory extraction of desired components from hop raw materials together, the possibility of intensifying mass exchange and low longitudinal mixing, was elaborated. New hardware-manufacturing schemes of hop extracts for vibratory extraction with and without preliminary electric spark treatment of hop raw materials were justified and developed. The results of the work were introduced at the Berdichev Brewery Plant.

Keywords: extracting, lowfrequencely mechanical vibrations, vibroextraction, diffusion, intensification, mass-transfer, hop raw material, hydrodynamic structure of flow.