УДК.664:620.9.004.18

ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ УЛЬТРАЗВУКУ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Борохов І. В., Рудов Д. Ю.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Розглянуто перспективи використання ультразвуку в галузях переробки продукції сільського господарства, проаналізовано можливість розрахунків конструктивних параметрів п'єзокерамічних перетворювачів.

Постановка проблеми. Розвиток і вдосконалення окремих галузей агропромислового комплексу повинні бути пропорційними і обгрунтованими для кожної галузі, і однією з найбільш вагомих є галузь переробки сільськогосподарської продукції, розвиток якої дасть змогу розвиватися іншим галузям. У зв'язку з цим постала проблема впровадження нових технологій та вдосконалення вже існуючих, що потребує розробки та використання нових, більш ефективних та менш енергоємних способів переробки сільськогосподарської продукції. Одним з таких способів є застосування в технологічних процесах енергію ультразвукових хвиль, яку можна використовувати в багатьох процесах переробки як в діагностичних цілях так і безпосереднього впливу на перероблювану сировину.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш успішно УЗ коливання використовуються в процесах, пов'язаних з рідкими станами реагентів, оскільки тільки в них виникає специфічний процес - УЗ кавітація, що забезпечує максимальні енергетичні впливи на різні речовини [1]. Вплив УЗ коливань на різні технологічні процеси в рідких середовищах дозволяє: прискорити процеси, що протікають між двома або декількома неоднорідними середовищами, збільшити вихід корисних продуктів і придати їм додаткові властивості; одержати нові речовини, а також реалізувати технологічні процеси, які неможливо реалізувати традиційними методами [3].

Мета статті. Метою даної статті є дослідження можливостей ефективного використання енергії ультразвукових хвиль в різноманітних процесах переробки сільськогосподарської продукції з метою підвищення якісних показників та енергетичної цінності готової продукції. Пропонується дослідження впливу ультразвукових хвиль на легкозасвоювані продукти в емульгованому стані, ступінь і швидкість засвоєння яких значно залежить від його дрібнодисперсності.

Основні матеріали дослідження. При поширенні ультразвукових коливань у різних рідких середовищах відбуваються необоротні втрати енергії, зумовлені внутрішнім тертям. При цьому рідкі середовища характеризуються в звичайних безкавітаційних умовах дуже низьким коефіцієнтом згасання.

Поглинання плоскої хвилі характеризується коефіцієнтом поглинання α, значення якого визначається з рівняння

$$A_x = A_0 e^{-\alpha x}, \qquad (1)$$

де A_x – значення амплітуди хвилі на відстані x від джерела при початковій амплітуді A_0.

В той же час зменшення сили звуку у залежності від відстані, виражається формулою

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x}, \qquad (2)$$

де I_x – сила звуку на відстані x від джерела при початковій силі звуку I_0.

Вимірявши A_x або I_x в двох точках x_1 і x_2, знаходиться коефіцієнт поглинання за формулами:

$$\alpha = \frac{1}{x_2 - x_1} ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right), \qquad (3)$$

або

$$\alpha = \frac{1}{2(x_2 - x_1)} ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right). \qquad (4)$$

Поглинання звуку в рідинах зумовлене внутрішнім тертям (густиною середовища), а також теплопровідністю.

Повний коефіцієнт поглинання

$$\alpha = \alpha_\Gamma + \alpha_e, \qquad (5)$$

де α_Γ – коефіцієнт поглинання, зумовлений густиною середовища;

α_e – коефіцієнт поглинання, зумовлений теплопровідністю середовища.

Таким чином, повний коефіцієнт поглинання з урахуванням рівнянь визначення цих коефіцієнтів

$$\alpha = \alpha_\Gamma + \alpha_e = \left(\frac{2\pi^2 f^2}{c^2 \rho}\right)\left[\left(\frac{4}{3}\right)\eta + (\aleph - 1)\frac{k}{c_p}\right], \qquad (6)$$

де f – частота звуку, *Гц*;

η – коефіцієнт динамічної густини, *Па·с*;

c – швидкість звуку, *м/с*;

ρ – густина, *кг/м*^{3};

k – коефіцієнт теплопровідності, *Ут/(м·К)*;

c_p – питома теплоємність при постійному тиску, *Дж/(кг·К)*.

Залежність коефіцієнта поглинання від температури на прикладі молока представлена на рис.1

Поширення УЗ коливань від випромінюючої поверхні, в оброблюваному середовищі викликає розосереджене в просторі поле звукових тисків. При цьому в структурі поля, яке створюється гармонійним

випромінювачем, розрізняють три області: дальнє ультразвукове поле; область відстаней, порівнянних з розмірами випромінюючої поверхні і довжиною хвилі; ближнє поле [1].

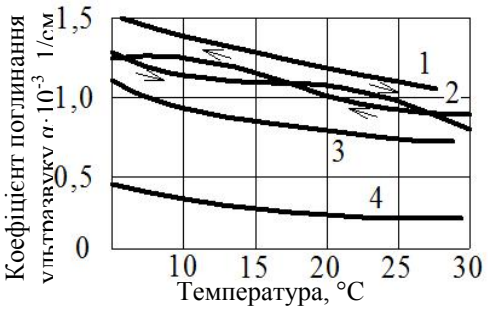

Рисунок 1 - Залежність коефіцієнта поглинання молока від температури: 1 – гомогенізоване цільне; 2 – не гомогенізоване цільне; 3 – знежирене гомогенізоване і не гомогенізоване; 4 – вода

Порівнянність геометричних розмірів випромінюючого робочого елемента й обсягу технологічного апарата з довжиною УЗ коливань у середовищі обумовлює ряд інтерференційних явищ у середовищі.

Ультразвукове поле в області відстаней, порівнянних з довжиною хвилі характеризується максимумами і мінімумами, розташованих на різних відстанях від випромінюючої поверхні. Кількість інтерференційних максимумів і мінімумів зменшується зі зменшенням діаметра випромінюючої поверхні.

Найважливішою характеристикою УЗ коливальних систем є резонансна частота. Обумовлено це тим, що ефективність технологічних процесів визначається амплітудою коливань, а максимальні значення амплітуд досягаються при збудженні УЗ коливальної системи на резонансній частоті.

Відношення накопиченої в УЗ коливальній системі енергії до енергії, використовуваної для технологічного впливу за кожен період коливань, називають добротністю коливальної системи.

УЗ коливання високої інтенсивності в технологічних апаратах створюються за допомогою магнітострикційних і п'єзоелектричних перетворювачів.

Магнітострикційні перетворювачі здатні забезпечити великі потужності випромінювання УЗ коливань, однак вимагають застосування примусового водяного охолодження.

П'єзокерамічні матеріали характеризуються дуже високою робочою температурою (більш 200°С) і тому використовуються без примусового охолодження.

Перетворювачі потужністю до 1 кВт, як правило, виготовляються зі штучних п'єзокерамічних матеріалів на основі цирконата - титанату свинцю з різними добавками.

Сучасні п'єзокерамічні матеріали (типу ПКР-8М. ЦТС-24), створені спеціально для використання у високо інтенсивних технологічних установках. По своїм характеристикам потужності вони не уступають магнітострикційним матеріалам, а по ККД значно перевершують їх.

Крім того, з п'єзокераміки можуть бути виготовлені п'єзоелементи практично будь-якої форми - круглі диски, квадратні пластини, кільця й ін. Оскільки п'єзокерамічні елементи при виготовленні піддаються спеціальній технологічній операції - поляризації в електричному полі з напруженістю близько 5 кВ/мм, виготовлення п'єзоелементів діаметром більш 70 мм і товщиною більш 30 мм технологічно неможливо і тому на практиці вони не застосовуються.

В УЗ коливальних системах, виконаних на основі п'єзокерамічних матеріалів застосовуються перетворювачі типу "сандвіч", такі перетворювачі складаються з двох металевих накладок циліндричної форми, між якими закріплений активний елемент із п'єзокераміки. Металеві накладки діють як додаткові маси і визначають резонансну частоту перетворювача. Збудження активного елемента здійснюється таким чином, що вся система працює як напівхвильовий резонансний перетворювач.

Тому необхідно виконувати УЗ коливальну систему у вигляді тіла обертання з двох накладок і двох п'єзоелектричних елементів, розташованих між цими накладками, так що утворююча тіла обертання виконана у вигляді безперервної кусочно-гладкої кривої, що складається з трьох ділянок [2]. Перша ділянка – циліндрична, довжиною i_1, друга – експонентна, довжиною i_z, третя – циліндрична, довжиною i_2. П'єзоелектричні елементи розташовані між експонентною ділянкою і торцем накладки, що відбиває, а довжини ділянок відповідають наступним умовам:

$$i_1 = k\,[\,\frac{c_1}{W} - 2\,h\,(\,\frac{c_1}{c} + 1)\,]\,, \qquad (7)$$

$$i_z = ln\,(N)\,, \qquad (8)$$

$$i_2 = k\,\frac{c_2}{W}, \qquad (9)$$

де c_1, c_2 - швидкості поширення ультразвукових коливань у матеріалах накладок, *м/с;*

c - швидкість поширення ультразвукових коливань у матеріалі п'єзоелемента, м/с;

$w/2p$ - робоча частота коливальної системи, *Гц;*

d - товщина п'єзоелемента, *м*;

k - коефіцієнт, вибраний з умови забезпечення необхідного коефіцієнта підсилення при заданому N.

Довжина кожної з ділянок коливальної системи визначається по приведеним формулам. Зміна діаметру перетину експонентної перехідної ділянки визначається рівнянням

$$D_z = D\,e^{-bz}, \qquad (10)$$

де $b = ln\,N/i_z$ - коефіцієнт звуження експонентної ділянки.

Повздовжній розмір відбиваючої металевої накладки для кожного випадку буде визначатися співвідношенням $il - 2h$. Довжина циліндричної ділянки випромінюючої накладки (концентратора), на практиці, зменшується на величину повздовжнього розміру робочого інструменту.

Наведені формули дозволяють легко сконструю-

вати УЗ коливальну систему для будь-якого УЗ технологічного апарату з заданими технічними характеристиками для використання в різних технологічних процесах (змішування, дроблення, обробка і т.д.).

Деякі рідини важко або зовсім неможливо змішати. Суміші таких речовин називаються емульсіями і потреба в них буває дуже велика. Бар'єр незмішуваності вдається перебороти завдяки кавітаційним процесам в ультразвуковому полі й одержати емульсії з розмірами часток менш 1...5 мкм.

У харчовій промисловості введення жиру у виді емульсій у фарш дозволяє збільшити їх водозв'язуючу здатність, поліпшує якість фаршу і вироблених з нього продуктів (наприклад, ковбас). Багато речовин використовуються у виді емульсій, наприклад: різні майонези, маргарини, кетчупи і т.п. Введення в тісто жирових емульсій замість жиру поліпшує якість хлібобулочних виробів [3. Жирові емульсії можуть використовуватися для змащення форм і листів у хлібопеченні, зберігаючи до 90% використовуваного в даний час жиру. Подрібнення жирових часток молока до мікроскопічних розмірів, тобто одержання дрібнодисперсної жирової емульсії, майже на третину підвищує живильну цінність молока.

Залежність дисперсності жиру в молоці при дії на нього УЗ випромінювання приведено на рис. 2

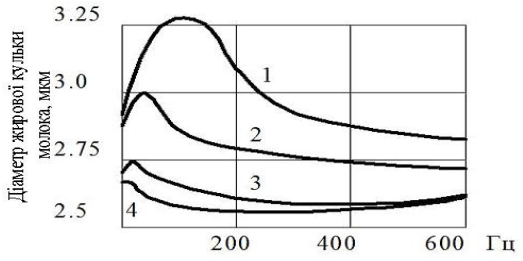

Рисунок 1 - Зміна середнього діаметру жирової кульки молока при дії на неї коливань протягом 1хв.:
1 – при температурі 20^0С з амплітудою 2мм;
2 – при температурі 20^0С з амплітудою 4мм;
3 – при температурі 40^0С з амплітудою 2мм;
4 – при температурі 40^0С з амплітудою 4мм

У складі молока присутні 87,3 % води, 12,5 % сухих речовин, у тому числі 3,8 % молочного жиру, 3,3 % білків, 4,7 % молочного цукру, 0,7 % мінеральних речовин. Особливість багатьох компонентів молока в тому, що природа не повторює їх ні в якому іншому продукті харчування .

У молоці жир розподілений у вигляді жирових кульок, оточених складною білковою оболонкою, тобто являє собою емульсію молочного жиру у воді. Розмір жирових кульок коливається від 1 до 5 мкм. Причому, кількість жирових кульок, що мають розмір більш 2 мкм складає більш 50 % і залежить від породи й індивідуальних особливостей корови.

Приведено дані про бактерицидну дію ультразвуку на мікрофлору молока (табл.1) [4] при різному за часом впливу з яких випливає, що за 8...10 обробок сирого молока (250 мл) забезпечується зниження кількості бактерій до норми (менш 200000 КОЕ в 1 мл.).

При ультразвуковій обробці молока, не відбувається руйнування найбільш лабільної частини вітаміну С і його вміст залишається практично рівним початковому - 0,83 мг (пастеризація паром знижує концентрацію вітаміну С до 0,65 мг, інфрачервоним випромінюванням - до 0,75 мг, кип'ятінням - практично цілком руйнує вітамін С). Таким чином, ультразвукова обробка забезпечує не тільки підвищення живильної цінності молока, але і забезпечує його стерилізацію.

Таблиця 1 - Бактерицидна дія ультразвуку при обробці молока (не пастеризоване молоко)

Час обробки, хв.	Кількість бактерій у 1 мл молока
0 (контроль)	610000
2	460000
4	410000
6	340000
8	170000
10	80000

Висновки. Досліджуючи можливе використання ультразвуку в процесах переробки сільськогосподарської продукції, можна зробити висновок, що застосування його в цій галузі може дати високий позитивний ефект за рахунок своєї комбінованої дії.

Список використаних джерел.

1. Рогов И. А. Дисперсные системы мясных и молочных продуктов / И. А. Рогов, А. В. Горбатов, В. Я. Свинцов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 318 с.

2. Пугачева С. И. Пьезокерамические преобразователи. Методы измерения и расчета параметров: справочн. / Под ред. С. И. Пугачева. - Л.: Судостроение, 1984.

3. Эльпинер И. Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие / И. Е. Эльпинер. - М.: Гос. изд. физ-мат. лит., 1963.

Аннотация

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Борохов І. В., Рудов Д. Ю.

Рассмотрено перспективы использования ультразвука в отраслях переработки продукции сельского хозяйства, проанализировано возможность расчетов конструктивных параметров пьезокерамических преобразователей.

Abstract

USE ENERGY OF ULTRASOUND IN PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

I. Borochov, D. Rudov

The prospects of the use of ultra-sound in industries processing agricultural products, analyzed the possibility of calculating the design parameters piezoceramic transducers.