

ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



СЕРТИФІКАТ

про виступ на конференції



Ірині Берник

про те, що вона прийняла участь (виступила) у роботі VI Міжнародної науково-практичної конференції «Інтеграційні та інноваційні напрямки розвитку харчової індустрії», яку проводила кафедра харчових технологій Черкаського державного технологічного університету.

03-04 листопада 2022
м. Черкаси, Україна

Олена ШУЖОЛ

Голова оргкомітету
ректор ЧДТУ



ПРОГРАМА

VI Міжнародної науково-практичної конференції «ІНТЕГРАЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ХАРЧОВОЇ ІНДУСТРІЇ»

3 листопада 2022 р. Конференція відбудеться в on-line форматі на платформі Zoom:

<https://us04web.zoom.us/j/8346725155?pwd=B2VsbYEIQJc2mP1zh3W7GYVnrCygkV.1>

Ідентифікатор конференції: 834 672 5155

Код доступу: 1111

10:00 – 10:05 Реєстрація учасників

10:05 – 10:20 Вітальні слова від членів організаційного комітету конференції та поважних гостей



Олег ГРИГОР

док. політ. наук, доцент
Ректор ЧДТУ



Еміль ФАУРЕ

доктор технічних наук, професор
Проректор з науково-дослідної роботи
та міжнародних зв'язків ЧДТУ



Денис ГРЕЦЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент
Декан Факультету технологій, будівництва та
раціонального природокористування



Ірина ОСИПЕНКОВА

Кандидат технічних наук, доцент
Завідувач кафедри харчових технологій



Владислав СУХЕНКО

Доктор технічних наук, професор
Професор кафедри харчових технологій

**НОВІТНІ ПІДХОДИ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ХАРЧОВІЙ ІНДУСТРІЇ (доповіді)**

- 10:20 – *Безпечність харчової продукції, виклики і перспективи: вимоги ЄС і адаптація національного законодавства*
10:40 Владислав СУХЕНКО
- 10:40 – *Методологічна концепція вирішення складних технічних задач при вдосконаленні обладнання харчової промисловості*
11:00 Олександр БАТРАЧЕНКО
- 11:00 – *Використання ультразвукових кавітаційних технологій в харчовій промисловості*
11:20 Ірина БЕРНИК
- 11:20 – *Дослідження впливу насіння льону золотого на процеси утворення та дозрівання пшеничного тіста*
11:40 Галина АНДРОНОВИЧ
- 11:40 – *Дискусійна панель*
- 13:40
- 4
- листопад
- а 2022 р.
- 10:00 - *Робота секції «Новітні підходи та інноваційні технології в харчовій індустрії.»*
12:00
- 10:00 - *Робота секції «Сучасні аспекти безпечного та оздоровчого харчування»*
12:00

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КАВІТАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Берник І.М., доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри харчових технологій та мікробіології
Вінницький національний аграрний університет*

Ефективним способом енергетичного впливу на рідинні технологічні середовища є використання акустичних коливань. При обробці рідинних технологічних середовищ, як правило, використовують ультразвуковий діапазон акустичних коливань. Реалізація дії здійснюється через ефекти першого порядку (частота, інтенсивність та швидкість коливань), та через ефекти другого порядку (кавітація, акустичні течії, пульсації парогазових бульбашок і т. ін.).

Ультразвукові технології реалізуються у формі просторової дискретності акустичної енергії у формі коротких імпульсів. В інтенсивній звуковій хвилі утворення кавітаційних бульбашок відбувається в напівперіодах розрідження, а їх сплескування в напівперіодах стиснення. При цьому кавітаційна бульбашка, яка виникає в напівперіоді розрідження внаслідок інерційності рідини може не встигнути сплеснутися у напівперіоді стиснення. Тому вона тільки трохи зменшує свій радіус і, здійснюючи таким чином пульсуючий рух, може пропустити один або декілька напівперіодів стиснення. Відбувається, свого роду, накопичення енергії в бульбашці з наступним швидким її вивільненням при сплескуванні. Таким чином, миттєва потужність, що звільняється, значно перевищує середню потужність, яку ультразвуковий випромінювач вводить в рідину.

За своєю суттю технологічні перетворення середовищ харчових виробництв полягають в енергетичному впливі спрямованому на перетворення нанорозмірних структур, наприклад мікроорганізми, нанопори рослинної сировини, молекули води, білки, полісахариди та інші. Результат дії такого впливу стимулюючий, активуючий або руйнівний, він визначається рівнем

енергії та тривалості дії.

Ультразвукову кавітаційну обробку рідинних технологічних середовищ доцільно використовувати в технологічних процесах харчових виробництв, зокрема таких, як перемішування, диспергування суспензій та емульсій, отримання прямих і зворотних емульсій, розділення рідких неоднорідних сумішей, центрифугування, флотація, фільтрація, знезараження, екстрагування, розчинення та ряду інших. Кавітаційний вплив дозволяє змінювати швидкість дифузії, окислення, кристалізації і розчинення речовин, дозволяє активізувати хімічні реакції і багато інших фізичних процесів, завдяки чому досягається реалізація та інтенсифікація технологічних процесів.

Значні досягнення за останні роки в галузі створення сучасних високоефективних п'єзокерамічних матеріалів дозволили відмовитись від громіздких та малоефективних магнітострикційних джерел ультразвукових коливань і стали поштовхом до подальшого вдосконалення і створення принципово нових кавітаційних апаратних засобів, які забезпечують ефективне введення в рідину акустичних коливань необхідної інтенсивності.

При цьому широке впровадження ультразвукової техніки та технології стримується низкою невирішених проблем. Зокрема, відсутність врахування взаємодії акустичного апарату та середовища, як наслідок, відсутність повної картини процесу кавітаційної обробки та розрахункової моделі для аргументованого визначення раціональних параметрів. Більшість запропонованих моделей відображають лінійні коливання бульбашки із сферичною поверхнею без урахування в'язкості. Зазвичай, резонансна частота визначається за застосування дискретної моделі для окремої бульбашки з подальшим штучним перенесенням на кавітаційний об'єм.

Домінуючий вплив на послідовність протікання кавітаційного процесу здійснюють наступні акустичні параметри та властивості середовища:

F- функціонал (інтегральний критерій оцінки процесу); A- амплітуда коливань контактної зони «акустичний апарат – середовище»; A_i – потокова амплітуда коливань середовища на відстані x_i від границі контактної зони

«акустичний апарат – середовище»; f – частота коливань акустичного апарату; v – швидкість коливань контактної зони «акустичний апарат – середовище»; W – енергія, P – потужність; L – інтенсивність; t – час; l – характерний розмір середовища у напрямку розповсюдження в ньому акустичної хвилі; p – тиск на середовище; σ – напруження в середовищі; c – швидкість розповсюдження акустичної хвилі в середовищі; E – модуль пружності середовища; ρ – щільність середовища; μ – коефіцієнт в'язкості середовища.

Інтегральними параметрами функції являються енергія, інтенсивність, потужність. Варто зазначити, що ультразвукова енергія від випромінюючої поверхні ультразвукового апарату до середовища має кілька стадій перетворення, здійснюючи звуковий тиск шару рідини. Таке множинне перетворення енергії ультразвукових коливань потребує системного підходу при встановленні оптимальних режимів обробки, який полягає у намаганнях дослідників встановити дійсну картину кавітаційного процесу.

Враховуючи перетворення ультразвукової енергії, можна виділити наступні основні етапи розгляду процесу:

- встановлення залежності амплітуди звукового тиску від товщини шару оброблювального середовища рідини з урахуванням в'язкості рідини, при незмінній амплітуді УЗ коливань;

- встановлення залежності радіуса кавітаційної бульбашки від амплітуди звукового тиску, а отже, і від товщини шару рідини, визначення максимального значення радіуса бульбашки;

- визначення амплітуди тиску, що виникає при сплескуванні кавітаційної бульбашки максимально можливого радіуса;

- порівняння отриманої амплітуди із граничним значенням, при якому починається інтенсивна обробка середовища.

Розроблений на цій основі алгоритм для побудови моделі передбачає поетапне застосування системного аналізу та синтезу. Послідовне осмислення фізичної суті та з'ясування механізму процесу кавітаційної обробки є передумовою обґрунтування вибору впливових параметрів для розробки моделі.

Визначені структурно-механічні та реологічні властивості технологічного середовища складають структурну модель.

Наступні три етапи алгоритму визначають розподіл зон і областей розвиненої кавітації з урахуванням зміни фізичних властивостей оброблюваного дисперсного середовища. Такий підхід дозволить більш системно та з меншою похибкою прийняти математичну модель для досліджуваних середовищ, розробити, або через необхідність удосконалити методологію досліджень, результати яких достеменно визначити рівні складності кавітаційного процесу, розподіл зон і областей розвиненої кавітації з урахуванням зміни фізичних властивостей оброблюваного дисперсного середовища, якими є щільність, хвильовий опір, коефіцієнт поглинання та ін.

Одним із шляхів вирішення проблеми є створення моделі та її дослідження на основі представлення акустичного апарату і технологічного середовища єдиною структурованою системою за урахування їхньої взаємодії та взаємовпливу у часі і просторі. При цьому, така модель має відображати в рівняннях руху пружні, інерційні та дисипативні параметри, за врахування законів їх зміни як в акустичному апараті, так і в технологічному середовищі.

Методологія дослідження опору технологічного середовища на рух акустичного апарату базується на наступній гіпотезі: ефективність формування кавітаційної енергії визначається структурою та взаємодією основних елементів ультразвукової технологічної системи.

Ефективність введення коливань від акустичного апарату в технологічне середовище залежить від ряду умов, які забезпечують:

- максимально можливий відбір енергії від джерела коливань;
- мінімальне розсіювання енергії в елементах конструкції технологічного апарату;
- найбільше використання введеної в оброблюване середовище акустичної енергії для забезпечення протікання даного технологічного процесу;
- максимальну стійкість параметрів акустичного апарату в наперед заданих технологією їхніх значень та режимів роботи акустичного апарату.

Проведені дослідження складових реологічних характеристик різних технологічних середовищ в умовах акустичної кавітації. Варто зазначити, що ультразвукова енергія від випромінюючої поверхні ультразвукового апарату до середовища перетерплює кілька стадій перетворення, здійснюючи звуковий тиск шару рідини:

- звуковий тиск обумовлює утворення кавітаційних порожнин (бульбашок) у рідині, і здійснюється запас енергії в кавітаційних бульбашках, викликаючи його розширення;

- при закриванні кавітаційної бульбашки, запасена в бульбашці енергія перетвориться в енергію ударної хвилі;

- енергія ударної хвилі витрачається на утворення на поверхні рідини капілярної хвилі;

- енергія капілярній хвилі витрачається на збільшення вільної поверхні рідини, тобто на утворення крапель рідини, що викликає її оброблення.

Таке множинне перетворення енергії ультразвукових коливань потребує системного підходу при встановленні оптимальних режимів обробки, що і було здійснено в даній роботі. Визначення зміни реологічних властивостей технологічного середовища, якими є в'язкість, пластичність і пружність здійснено саме на основі використання залежності контактного тиску від зазначених параметрів. Розглянута загальна методологія визначення тисків, як домінуючих параметрів кавітаційного процесу, виходячи із наступної умови. В будь-який довільний момент часу сума всіх діючих тисків на будь-який елементарний обсяг рідини, утримуючий кавітаційну бульбашку, дорівнює нулю, тобто бульбашка перебуває в стані динамічної рівноваги в кожний розглянутий момент часу. А такими тисками є: рівнодіючий, динамічний, парогазовий та зовнішній. Саме ці тиски і враховані в роботі.

Знання коефіцієнта в'язкості технологічного середовища в роботі прийнята як необхідна умова для визначення рівня енергії, що витрачається на складові процесу зародження та розвитку кавітації. При цьому в'язкість впливає і на утворення, і розвиток форми бульбашки, що сприяло уточненню фізичної та

математичної моделі кавітаційного процесу. Математичну модель представлено, як систему з розподіленими параметрами. Визначення коефіцієнта в'язкості технологічного середовища здійснено на основі розгляду контактної задачі взаємодії поверхні випромінювання кавітаційного апарату і середовища.

Дослідження в'язких та пружних властивостей технологічного середовища дозволило встановити числові значення параметрів, які оцінюють в'язкі та пружні властивості технологічного середовища та визначити закони їх зміни для розробки фізичної та математичної моделі досліджуваної системи «кавітатор – технологічне середовище»; з'ясувати ступінь впливу в'язких та пружних властивостей на стадіях зародження, розвитку та сплескування ансамблю бульбашок технологічного середовища; визначити необхідні значення параметрів акустичного апарату(частоту, інтенсивність та необхідну потужність для конкретного середовища).

Для обробки рідин обладнання використовує фізичні процеси, що супроводжують явище ультразвукової кавітації, при якій в рідині у фазі розрідження ультразвукової хвилі деформації утворюються парогазові кавітаційні бульбашки, які схлопуються у фазі стиснення. Для утворення в рідині області з розвиненою кавітацією в обладнанні використаний принцип фокусування ультразвукових коливань до високого рівня інтенсивності в області поздовжньої осі трубчастого вібратора, який збуджується на радіальній моді резонансних коливань. Для збудження трубчастого вібратора на його зовнішній поверхні вздовж твірних ліній встановлені ультразвукові п'єзоелектричні $1/2$ - хвильові приводи поздовжніх переміщень з ножевидними трансформаторами коливальної швидкості.

Інактивація мікроорганізмів у середовищі, де збуджена кавітація, відбувається за рахунок:

- механічного руйнування мікроорганізмів ударними сферичними хвилями та кумулятивними струменями, що виникають при сплескуванні кавітаційних бульбашок;

- локального підвищення тиску до 1000 МПа та температури до 1000⁰С при сплескуванні кавітаційних бульбашок;
- інтенсифікації окислювальних процесів у зоні кавітації.

Гомогенізація складових рідини відбувається за рахунок турбулентного перемішування на молекулярному рівні інтенсивними мікротечіями, що виникають при коливаннях та сплескуванні кавітаційних бульбашок.

Активація рідин відбувається за рахунок створення в мікрооб'ємах кавітаційних бульбашок, що сплескуються, умов для виникнення електричних зарядів, багатих на енергію дисоційованих та іонізованих молекул, а також атомів та вільних радикалів, що сприяють інтенсифікації хімічних процесів.

Підвищення споживчої якості молока досягається за рахунок кавітаційного диспергування жирових кульок, що входять до складу молока, до дуже малого розміру.

Кавітаційна обробка рідини відбувається незалежно від її прозорості та механічної забрудненості.

Ефекти, що супроводжують явище ультразвукової кавітації, не тільки впливають на рідинне середовище, що прокачується крізь кавітатор. Поступовому руйнуванню за рахунок кавітаційної ерозії піддаються і поверхні, що випромінюють в рідину ультразвукові коливання. Двофазний кавітаційний прошарок, що виникає на випромінюючій поверхні, по-перше, знижує ефективність уведення ультразвукової енергії в рідину внаслідок розсіювання та поглинання енергії пружних коливань, а, по-друге, унаслідок кавітаційної ерозії руйнує поверхню, що випромінює. У конструкціях кавітаційного обладнання з трубчастим вібратором, що збуджується на радіальній моді коливань, завдяки введенню в рідину ультразвукових коливань з малою інтенсивністю та подальшим її підвищенням за рахунок фокусуючих властивостей поверхні випромінювання вдалося уникнути появи кавітаційного прошарку та суттєво підвищити ефективність уведення в рідину ультразвукових коливань. При цьому значно зменшена і кавітаційна ерозія внутрішньої поверхні трубчастого

вібратора. Але ретельні хімічні аналізи все ж таки виявляють в отриманих екстрактах наслідки кавітаційного руйнування поверхні випромінювання.

Таким чином, виконаними дослідженнями встановлено, що опис протікання кавітаційного процесу має базуватися на представленні системи «кавітатор – оброблювальне середовище» як єдиної системи, яка враховує в спільному русі пружно-інерційні та дисипативні властивості кожної із підсистем. На цій основі розроблено алгоритм та методику розрахунку, що реалізує забезпечення ефективного протікання кавітаційного процесу.