



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-15

УДК 66.084.8:664(045)

Л. М. Крижак, к.т.н

ORCID: 0000-0002-4882-897X

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: liliakrizhak44@gmail.com

УЛЬТРАЗВУКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Анотація. Переробка харчових продуктів відіграє вирішальну роль у вирішенні проблем продовольчої безпеки за рахунок скорочення втрат та запобігання псуванню. Ультразвук – це нова перспективна технологія у харчовій промисловості, яка підвищує швидкість та ефективність декількох процесів одночасно.

Ультразвукова технологія внесла революцію в харчову промисловість завдяки її широкому застосуванню в різних процесах, та є гарною альтернативою в порівнянні з іншими. Саме така технологія має кілька переваг, таких як швидкість процесів, підвищена ефективність процесу, отримання високої якості продукту і збереження властивостей продукту (консистенції, харчової цінності, органолептичних властивостей), збільшення терміну придатності.

У оглядовій статті узагальнюються застосування ультразвуку в конкретних напрямках харчової промисловості, також розглядаються переваги і недоліки ультразвукової технології. Особливо обґрунтовується подальший розвиток застосування ультразвуку на промисловому рівні.

Ключові слова: ультразвук, ультразвукова обробка, технологічний процес, харчова промисловість, функціонально-технологічні властивості.

Постановка проблеми. На сьогодні в харчовій промисловості значна роль відводиться нетрадиційним способам обробки сировини, які виконують різноманітні функції що сприяють інтенсифікації виробництва, покращують функціональні властивості продовольчої сировини і отриманих на її основі харчових продуктів, подовжують їх термін придатності, дозволяють впроваджувати ресурсо- та енергозберігаючі технології. Різні традиційні методи обробки такі як: консервування, сушіння, смаження, копчення, соління, маринування, замочування і т. д., як і раніше, широко і ефективно використовуються для обробки нетермізованих харчових продуктів.



Основоположний принцип більшості традиційних методів обробки харчових продуктів заснований на використанні теплової обробки для зменшення розмноження та інгібування патогенних мікроорганізмів, що передаються через харчові продукти [1]. Для проведення термічної обробки потрібна велика кількість енергії, яка забезпечує низьку ефективність виробництва, і є операцією яка вимагає великих обсягів зовнішніх ресурсів.

Існує безліч харчових продуктів, що загрожують бактеріальною або вірусною інтоксикацією, для яких обробка нагріванням є небажаною. Такі харчові продукти при термічній обробці можуть зазнавати фізичних, хімічних та мікробіологічних змін, таких як модифікація смаку, кольору та консистенції. В результаті чого є потреба в дослідженнях та розробках для максимального використання існуючих технологій та появи інноваційних і ефективних альтернативних технологій [2].

Нові методи, використовувані в харчовій промисловості, включають обробку під високим тиском, холодну плазму, імпульсне електричне поле, екстракцію рідини, ультрафіолетове опромінення та ультразвук.

Звукові хвилі, що перевищують чутний діапазон частот, тобто більше 20 кГц, називаються «ультразвуком». Коли акустичні хвилі поширюються через середовище, вони викликають стискування та розрідження (декомпресії) у частках середовища. Це, у свою чергу, виробляє велику кількість енергії через турбулентність та збільшення масообміну. В основі лежить принцип відображення та розсіювання звукових хвиль, аналогічних світловим хвилям.

Ультразвук – це нова перспективна технологія у харчовій промисловості, яка підвищує швидкість та ефективність декількох процесів одночасно. Його можна застосовувати у поєднанні з температурою (термомеханічна обробка) та тиском (ультразвукова) для отримання синергетичного ефекту, що ще більше підвищує його ефективність [3, 4]. Залежно від інтенсивності та частоти, ультразвуківі хвилі що використовуються у харчовій промисловості, можна розділити на дві категорії: ультразвук низької та високої інтенсивності.

Ультразвукові хвилі низької інтенсивності або високої частоти також описуються як діагностичні хвилі та мають характерну частоту понад 100 кГц та інтенсивність нижче 1 Вт/см². Вплив таких хвиль може бути використано для оцінки структури (форми та розмірів) харчового продукту, визначення складу свіжості харчових продуктів, таких як м'ясних та рибних.

Принцип роботи низько енергетичного ультразвуку полягає в тому, що він ефективно використовує взаємодію між речовиною та



високочастотними звуковими хвилями для отримання детальної інформації про структуру, розміри та склад продукту, через який він поширюється.

Ультразвукові хвилі високої інтенсивності та низької частоти характеризуються руйнівною дією і, таким чином, значно впливають на фізичні, біохімічні та механічні властивості харчових продуктів на відміну від ультразвуку малої потужності. Їхня частота коливається від 20 до 100 кГц, а інтенсивність знаходиться в діапазоні від 10 до 1000 Вт/см². Це має широке застосування в емульгуванні, регулюванні мікроструктури та модифікації текстурних властивостей жировмісних продуктів, кристалізації та функціональних властивостей харчових білків. Він також має важливе застосування в численних поодиноких операціях: заморожування, сушіння, концентрування, розморожування [5, 6].

Тому, літературний огляд присвячений застосуванню ультразвуку в харчовій промисловості для обробки харчових продуктів з метою покращення функціонально-технологічних властивостей, пов'язаної з подальшими перспективами комерціалізації. Узагальнюються різні застосування ультразвуку в різних технологічних процесах та конкретних напрямках харчової промисловості (м'ясомолочної, плодоовочевої, тощо), виявлення переваг та недоліків технології.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження впливу ультразвуку на біотехнологічні системи харчової промисловості відображені в роботах багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених: як Кнепп Р., Флінн Г., Розенберг Л. Д., Пернік О. Д., Рой М. О., Екнадіосянц О. К., Сіротюк М. Г., Приходько М. А., Новицький Б. Г., Кратиш Г. С., Агранат Б. А., Башкіров В. І., Philipp A., Lauterborn W., Lindau O., Mettin R., Luther S., Koch P., Lang R, Shirley C. Tsai, Luu P., Childs P., Chen S. Tsai та ін.

Автори наведених публікацій довели наступне: в полі ультразвукових хвиль розподіл часточок за розмірами залежить від використання акустичних параметрів ультразвукової обробки (частоти, питомої енергії, тривалості обробки).

Формування цілей статті (постановка завдання). В роботі було вивчено світовий досвід та наукові результати досліджень провідних науковців по використанню ультразвуку в харчовій промисловості.

Основна частина. Ультразвук (УЗ) досить широко використовується в харчовій промисловості. Встановлено, що ультразвукові коливання здатні змінювати агрегатний стан речовини, диспергувати, емульгувати його, змінювати швидкість дифузії, кристалізації і розчинення речовин, активізувати реакції, інтенсифікувати технологічні процеси. Вплив УЗ коливань на фізико-хімічні процеси в харчовій промисловості дає можливість підвищити



продуктивність праці, скоротити енерговитрати, покращити якість готової продукції, продовжити терміни зберігання, а також створити нові продукти з новими споживчими властивостями.

Застосування ультразвуку у харчовій промисловості. На основі проведених наукових досліджень було відмічено, що застосування ультразвукової обробки є ефективним при обробці сировини для виробництва різних харчових продуктів (таблиця 1).

М'ясопереробна промисловість. Використання ультразвуку в м'ясній промисловості розпочалося з оцінки сировини великої рогатої худоби приблизно ще у 1950-х роках. Ультразвук низької інтенсивності зазвичай використовується для покращення органолептичних показників таких як смак, ніжність та якість, які важливі для досягнення прийнятності для споживача. Недавні дослідження вказують на перспективне застосування високоінтенсивного ультразвуку на свіжому м'ясі [7], в основному для розм'якшення [8], засолювання м'яса [9], приготування їжі [10], заморожування [11] та інгібування бактерій [12]. Останні дослідження, спрямовані на пояснення впливу на м'ясні продукти застосування високоінтенсивного ультразвуку, зосереджені на м'язах великої рогатої худоби, переважно на напівсухожильних і найдовших м'язах [13].

Проведені дослідження зосереджені переважно на мікроскопічних змінах, змінах динаміки солі, води та текстури м'ясної тканини, на застосуванні високоінтенсивного ультразвуку. Крім того, окисна стабільність, органолептичні характеристики та колір є важливими характеристиками м'яса, на які впливає ультразвук. Існує чудовий ефект ультразвуку на ніжність та водну динаміку тканини [14].

Було проаналізовано вплив ультразвуку на рН та відмічено, що рН м'яса може збільшуватися порівняно з вихідним значенням до посмертного задублення при обробці ультразвуком (10 Вт/см^2 , 2,6 МГц). Це може бути пов'язане з вивільненням іона в цитоплазму з клітин або зі змінами в структурі білка, що призводить до варіацій у розташуванні іонних функцій, що призводить до зміни рН м'язів. Ультразвук сприяє підвищенню ніжності м'яса та скорочення періоду дозрівання, не впливаючи на інші параметри якості [23, 24]. Це пов'язано з розривом міофібрилярної структури білка, фрагментацією макромолекул колагену, міграцією білка та ін., що прискорює протеоліз, та супроводжується посиленням деградації тропоніну-Т та десміну при ультразвуковій обробці м'яса [25].

Кавітація генерує ударні хвилі, що ушкоджують м'язову структуру. Ультразвук високої інтенсивності збільшує поглинання води та NaCl у в'яленому м'ясі. Простір між волокнами прямо пропорційний інтенсивності ультразвуку, а високі концентрації солі тісно пов'язані з розривом міофібрил [26].



Таблиця 1

Застосування ультразвуку у харчовій промисловості

Категорія	Продукти харчування	Переваги	Джерело
М'ясопереробна промисловість	М'ясо курки, кролика, яловичина, свинина,	Підсилює ніжність; збільшення волоутримуючої здатності; поліпшує колір; підвищення рН та антимікробний ефект; зменшує період старіння	[12, 14]
Плодоовочева промисловість	Свіжі та мінімально оброблені фрукти і овочі, соки, пюре, рафінована олія	Зниження мікробного забруднення; зміна кольору; інактивація ферментів; покращує процес сушіння; оцінка ступеня чистоти і якості олії	[15, 17]
Переробка зерна	Борошняне тісто, хлібобулочні вироби	Оцінка якості тіста і опари: консистенція і реологія, щільність, об'єм; підвищує стійкість, покращує структуру, колір, сенсорні та візуальні аспекти	[17, 18]
Молочна промисловість	Молоко, йогурт, сир, морозиво	Мікробна інактивація; гомогенізація; зменшення жирових шариків; покращення органолептичних показників та якості продукту, скорочує термін дозрівання сирів	[19, 20]
Олієжирова промисловість	Майонези, заправки, креми, емульсії	Збільшення індексу стабільності, об'єм емульсії, індекс активності емульсії	[21, 22]

Маринади для м'яса складаються із солей у двох формах, тобто



вологій та сухій. Було помічено, що інтенсивність ультразвуку, що застосовується, визначає його вплив на свинину під час маринування. Ультразвук призводить до утворення бульбашок, потрапляючи у тканини, що призводить до мікроін'єкцій розчину розсолу у продукт. Цим пояснюється збільшення вмісту солі у м'ясі, обробленому ультразвуком [27].

Ультразвукова обробка сприяє антимікробному ефекту, а також збільшує термін зберігання м'ясних продуктів за рахунок кавітації в рідких середовищах [26]. Антимікробний ефект також залежить від часу контакту з мікроорганізмами, виду мікроорганізмів, кількості їжі та її складу, температури обробки.

УЗ також знаходить своє застосування при заморожуванні м'ясних продуктів, де він може викликати індукцію утворення зародків кристалів при підвищених температурах під час процесу. Це може бути використане для контролю розподілу кристалів льоду, їх розміру, а також вимог часу у заморожених продуктах [11].

Ультразвук може викликати фрагментацію кристалів льоду, збільшуючи кількість ядер і зменшуючи розмір кристалів.

Флодоовочева промисловість. Свіжі фрукти та овочі схильні до прискореної псування, і підтримання їх якості в харчовій промисловості є дуже складним завданням. Ультразвук вважається новою технологією у зниженні рівня до збиральних та після збиральних втрат. Ультразвукові дані у фруктах і овочах інтерпретувати складно, тому що наявні в них пори та порожнечі викликають розсіювання ультразвуку і, таким чином, надають на них послаблюючий ефект. Дослідження показують, що на твердість свіжих фруктів та овочів може впливати застосування ультразвуку, інтенсивність якого варіюється. Крім того, в деяких випадках спостерігалися зміни забарвлення, які можна пояснити ймовірною інактивацією ферментів фенолпероксидази і поліфенолоксидази. Ці ферменти відповідальні за зміну кольору заморожених та термічно необроблених овочів, а також за реакції потемніння.

Обробка ультразвуком також має протимікробну дію, яка може бути пов'язана з утворенням вільних радикалів та кавітацією [28], фізико-хімічні зміни пов'язані з дозріванням і зростанням, збиранням урожаю та терміном зберігання. Крім того, як час збирання врожаю та термін придатності можна побічно оцінити, пов'язавши результати фізіологічних вимірювань, таких як відсоткове співвідношення сухої речовини, щільність, загальна кількість розчинних твердих речовин, борошністість, кислотність, вміст олії з використанням ультразвуку.

В інших дослідженнях вміст цукру та зрілість плодів сливи оцінювали шляхом вимірювання згасання ультразвуку в тканинах плодів, пов'язаного з твердістю сливи [29]. В'язкість та вміст цукру у



відновленому апельсиновому соку вимірювали за допомогою безконтактного ультразвукового процесу, який працював або в режимі наскрізного пропускання, або в режимі ехо-імпульсу [15].

Акустична енергія також значно допомагає у вилученні залишків пестицидів завдяки своїм хімічним та фізичним ефектам. Цей метод очищення ефективний для свіжих фруктів і овочів, так як вимагає менше часу, зберігає колір і поживні речовини, зберігає текстуру і безпечний для використання в харчовій промисловості [30].

Хлібобулочні та макаронні вироби. Існує безліч продуктів на основі злакових, це печиво, сухі сніданки та батончики, хлібобулочні вироби, у тому числі хліб який є основним продуктом. Росс та ін. [31], продемонстрували тісний взаємозв'язок між реологією, згасанням і швидкістю ультразвуку. Це було зроблено шляхом вивчення ступеня змішування трьох видів тіста з борошна з використанням звичайної реології та ультразвукових методів, що забезпечило доказ застосування ультразвуку для контролю якості тіста. В іншому дослідженні показано застосування ультразвуку для характеристики фази бродіння під час випікання хліба [32-33].

Для оцінки текстурних властивостей хлібобулочних виробів підходить низькочастотний процес прямого ультразвукового виміру, який є неруйнівним та швидким. Ультразвук також може покращити твердість тіста, консистенцію хліба та його колір. Це також призводить до чудової якості продуктів з відмінними візуальними та органолептичними властивостями [34].

Українськими науковцями досліджено процес пресування макаронних виробів в полі ультразвуку. На основі проведених досліджень встановлено позитивний вплив ультразвуку на тиск і швидкість пресування макаронного тіста різної вологості, підвищення міцності макаронних виробів, запропоновано механізм застосування ультразвукового впливу для підвищення щільності і якості макаронних виробів. Застосування ультразвуку з амплітудою $A=30\pm 0,5$ мкм, за тиску $6\pm 0,5$ МПа і за температури пресування макаронного тіста $45\pm 2^\circ\text{C}$ сприяє підвищенню адгезійної міцності макаронного тіста та підвищенню швидкості пресування, а отже збільшенню продуктивності преса. Аналізом експериментальних даних встановлено, що використання ультразвуку істотно зменшує тиск при формуванні в'язко-пластичних матеріалів, підвищує продуктивність обладнання, покращує якість виробів і знижує витрати енергії [35].

Проведення додаткових досліджень щодо ідентифікації технологічних процесів приготування тіста з лікувально-профілактичними інгредієнтами та м'ясними додатками в технологічному кавітаційному полі ультразвукових коливань низької і



високої частоти. Ультразвукові коливання, утворюючи кавітаційно-диспергуючий ефект, забезпечують рівномірний розподіл вологи між частинками борошна, більш швидке зволоження частинок дисперсної фази – утворюється розслаблення клейковини, що викликає адгезійний та когезійний ефекти борошна з частинками м'ясних продуктів.

Перемішування диспергованих частинок м'яса з частинками борошна під дією ультразвукових коливань призводить до утворення однорідного гетерогенного середовища. У процесі кавітаційного диспергування частинок борошна і м'ясних частинок в потужному полі ультразвукових хвиль з частотою 22 кГц волога з розчиненими білками, цукром, іншими інгредієнтами будуть утворювати на поверхні тонку плівку, яка покращує не лише зовнішній вид виробів, але й позитивно впливає на терміни збереження інноваційної продукції [36].

Ультразвук також можна використовувати для оцінки властивостей рідкого тіста (в'язкість, реологія, щільність), та властивостей кондитерського виробу (таких як симетрія, висота, щільність, індекс обсягу), які можна використовувати в таких продуктах, як вафлі, пончики, млинці та кекси [37]. При подальших ультразвукових вимірах було встановлено суттєві залежності між консистенцією тіста та акустичним імпедансом.

Молочна промисловість. Ультразвук – це ефективна технологія, яка дозволяє утримувати поживні речовини, що призводить до збільшення терміну придатності та підвищення якості молочних продуктів. У молочній промисловості це було корисно для мікробної інактивації. Внутрішньоклітинна кавітація викликає пошкодження клітинної мембрани мікроорганізмів, утворення вільних радикалів та пошкодження ДНК [20].

Ультразвук високої інтенсивності здатний підвищувати життєздатність пробіотичних штамів для заквашувальних культур, що використовуються у виробництві кисломолочних напоїв та продуктів. Він здатний прискорювати гідроліз лактози за рахунок вивільнення ферменту, лактази та стимуляції вироблення кислоти, тим самим скорочуючи час ферментації. Ультразвукова обробка підвищує органолептичні властивості кисломолочних продуктів поряд з їх поживними якостями за рахунок збільшення біоактивних пептидів та олігосахаридів, зниження вмісту лактози [38].

УЗ також викликає скорочення часу, необхідного для дозрівання сиру, за рахунок вивільнення внутрішньоклітинних ферментів, прискорення руйнування білкової структури та покращення текстурних, органолептичних властивостей та поживних характеристик [39].

Було помічено, що застосування високоінтенсивного ультразвуку зменшує розмір жирових кульок при виробництві йогурту, покращує



в'язкість, зменшує синерезис, збільшує міцність гелю та прискорює ферментацію. Він також сприяє міцному і стабільному утворенню гелю за рахунок денатурації білків молочної сироватки, поділу міцел казеїну та рекомбінації білкової фракції для отримання більш щільної консистенції йогурту [19].

Олієжирова промисловість. Емульсії та жири, такі як майонез, заправки, вершки тощо, можна охарактеризувати ультразвуком низької інтенсивності. Ультразвук низької інтенсивності діє як потужний аналітичний метод для оцінки хімічних та фізичних властивостей, таких як вміст твердого жиру, вміст олії, твердість, кристалізація, склад олії та кристалізація [21, 40].

Ультразвук є ефективною альтернативою підвищення здатності емульгування. В даний час застосування ультразвуку є цікавою альтернативою для поліпшення емульгуючої здатності. Егорова та ін. [41], припустили, що індекси активності, стабільності та розчинність емульгування збільшуються після обробки ультразвуком.

Таким чином, представляючи ультразвук як інструмент покращення технофункціональних властивостей білків гороху. З іншого боку, [42] припустили, що емульгуюча активність і піноутворююча здатність підвищуються, проте швидкість адсорбції знижується через збільшення розміру частинок, що негативно впливає на емульгуючу активність. Альбано і Ніколетті [43] повідомили, що емульсія гірчичної олії, приготовлена за допомогою ультразвуку, показала постійну стабільність в умовах навколишнього середовища навіть після періоду зберігання 3 місяців без будь-якої помітної зміни поділу фракцій. Найменший розмір крапель та більша стабільність емульсії спостерігалися при амплітуді 40 % проти кремації порівняно з емульсіями, приготованими при амплітуді 20% та 30%.

При застосуванні ультразвуку частотою 20 кГц і потужністю 80 Вт/см² [21] повідомлялося про зміну показника емульгуючої активності та підвищення показника стабільності емульсії. Альбано та Ніколетті [43] помітили, що стабільність емульсії пектинової суміші та концентрату сироваткового білка підвищується при обробці ультразвуком і, таким чином, може застосовуватися в системах з низьким вмістом жиру.

Таким чином, загальна стабільність емульсії може бути підвищена за допомогою ультразвукової обробки.

Переваги і недоліки. Ультразвук — це технологія, яка успішно вдосконалила різні процеси в харчовій промисловості. Крім того, він є відмінною заміною деяким традиційним технологіям, заснованим з використанням тепла, які погіршують якість продукції. Ультразвук ефективно сприяє розм'якшенню та солінню м'яса, підвищенню щільності фруктів та овочів, кращому перемішуванню тіста, інактивації



мікробів, гомогенізації, стерилізації, пастеризації та емульгуванню.

УЗ призводить до отримання продукту вищої якості за більш низьких температур з покращеною швидкістю тепло- і масообміну. Ультразвук прискорює процес фільтрації, збільшує термін служби фільтра, прискорює заморожування і призводить до зменшення розміру кристалів, більш швидкого сушіння та розтавання. УЗ забезпечує швидко технологічну обробку з обмеженням собівартості продукції. Це підвищує ефективність процесу, усуваючи необхідність у етапах процесу та збільшуючи вихід продукту.

Крім того, покращується якість та чистота кінцевого продукту за рахунок покращення його органолептичних властивостей, твердості та текстури, що сприяє збереженню поживних властивостей продукту та збільшенню терміну придатності продукту.

Ультразвук за високої інтенсивності може виділяти тепло, що негативно впливає на органолептичні та поживні характеристики харчового продукту.

Крім того, ефективність ультразвуку проти мікробної та ферментативної інактивації не є повністю успішною. Однак синергетичний ефект поряд з температурою та тиском може спричинити інактивацію. Також, ультразвук високої потужності може надавати несприятливий фізичний та хімічний вплив на харчові продукти. Вільні радикали, що утворюються в результаті кавітації, призводять до окислення ліпідів, що супроводжується появою сторонніх присмаків та запахів, денатурації білків та зниження загального вмісту фенолів внаслідок розкладання аскорбінової кислоти. Синергетичне застосування ультразвуку з температурою та тиском також призводить до утворення вільних радикалів, що каталізують реакції, які можуть пошкодити структуру білка і тим самим несприятливо вплинути на текстуру харчового продукту. Таким чином, перед застосуванням необхідно оптимізувати інтенсивність та синергію ультразвуку.

Майбутні перспективи. За минулі роки кількістю проведених досліджень, науковцями доведено ефективність ультразвуку в заміні та покращенні різних традиційних методів обробки сировини в харчовій промисловості. Однак поєднання ультразвуку з іншими методами дає кращі результати щодо загальної якості кінцевого продукту та може стати предметом подальших досліджень.

Подальший розвиток застосування ультразвуку на промисловому рівні потребує оптимізації параметрів та більш глибоких досліджень аналізу впливу акустичної обробки на масове виробництво продуктів харчування. Дослідження у ширшому масштабі повинні також враховувати аспекти безпеки та несприятливий вплив ультразвуку на людину.



Також для комерціалізації та індустріалізації ультразвуку потрібна величезна кількість енергії, що перешкоджає його застосуванню в харчовій промисловості. Тому дослідження з впровадження та використання ультразвуку мають бути спеціально орієнтовані на реалізацію у промислових масштабах.

Висновки. Основна ідея реалізації ефектів, які спостерігаються при ультразвуковому впливі в харчовій промисловості, полягає в тому, що ефекти кавітації викликають зміни функціонально-технологічних властивостей рідких харчових систем (хімічних, технологічних, фізичних, органолептичних і т. д.), що сприяє досягненню певного технологічного ефекту.

Ультразвук довів свої можливості у харчовій промисловості для збереження, вилучення та обробки. УЗ все частіше використовується для поліпшення різних процесів у харчовій промисловості та став надзвичайно багатообіцяючою технологією в галузі обробки. Він стає потужнішим при використанні у поєднанні з іншими методами збереження продуктів харчування та має низку переваг у порівнянні з іншими раніше існуючими або традиційними технологіями. УЗ з його властивостями підвищувати ефективність та скорочувати час, необхідний для різних операцій обробки та обіцяє прогресивне майбутнє.

Список використаних джерел

1. Мирошник Д. и др. Вплив ультразвукової кавітації на життєдіяльність мікроорганізмів. Інновації молоді в машинобудуванні. 2020. №. 2. С. 366–370.

2. Misra N. N., Schlüter O., Cullen P. J. (ed.). Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications. Academic Press, 2016.

3. Льїн С. В., Іванісова А. П. До питання про вплив ультразвуку на теплообмін. Альманах науки. № 6/1 (27) червень 2019 р. С. 36–38.

4. Condón-Abanto S., Arroyo C., Álvarez I., Condón S., Lyng J. G. Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab (*Cancer pagurus*). Int. J. Food Microbiol., 223. 2016. Pp. 9–16.

5. Arvanitoyannis I. S., Kotsanopoulos K. V., Savva A. G. Use of ultrasounds in the food industry—methods and effects on quality, safety, and organoleptic characteristics of foods: a review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 57 (1). 2017. Pp. 109–128.

6. Belwal T., Cravotto G., Luo Z. Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. Ultrason. Sonochem. 60. 2020. p. 104726.

7. Alarcon-Rojo A. D., Carrillo-Lopez L. M., Reyes-Villagrana R., Huerta-Jiménez M., Garcia-Galicia I.A. Ultrasound and meat quality: a



review. *Ultrason. Sonochem.* 55. 2019. Pp. 369–382.

8. Peña-González M., Alarcón-Rojo A.D., Rentería A., García I., Santellano E., Quintero A., Luna L. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef *Ital. J. Food Sci.* 2017. 29 (3).

9. Cárcel J. A., Benedito J., Bon J., Mulet A. High intensity ultrasound effects on meat brining *Meat Sci.*,76(4). 2007. Pp. 611–619.

10. Кононенко А. О., Бородай А. Б. Удосконалення технології виробів із м'яса за рахунок використання ультразвуку. Полтава: ПУЕТ. 2020, С. 467–469.

11. Коренець Ю. М., Петрушина Ю. М. Хорольський В. П. Удосконалення систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників. *Хмельницького національного університету.* 2022. С. 247–255.

12. Caraveo O., Alarcon-Rojo A. D., Renteria A., Santellano E., Paniwnyk L. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4°C *J. Sci. Food Agric.*, 95 (12). 2015. Pp. 2487–2493.

13. Wang A., Kang D., Zhang W., Zhang C., Zou Y., Zhou G. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound *Food Chem.*, 245. 2018. Pp.724–730.

14. Ojha K. S., Aznar R., Donnell C. O., Tiwari B. K. Ultrasound technology for the extraction of biologically active molecules from plant, animal and marine sources *TrAC, Trends Anal. Chem.* 122. 2020., p. 115663.

15. Kuo F. J., Sheng C. T., Ting C. H. Evaluation of ultrasonic propagation to measure sugar content and viscosity of reconstituted orange juice. *J. Food Eng.* 86 (1). 2008. Pp. 84–90.

16. Chen F., Zhang M., Yang C. H. Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: a review. *Ultrason. Sonochem.* 104953. 2019.

17. Zhu F., Li H. Modification of quinoa flour functionality using ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 52. 2019. Pp. 305–310.

18. Fox P., Smith P. P., Sahi S. Ultrasound measurements to monitor the specific gravity of food batters. *J. Food Eng.* 65. (3). 2004. Pp. 317–324.

19. Akdeniz A. S. Akalın. New approach for yoghurt and ice cream production: high-intensity ultrasound. *Trends Food Sci. Technol.* 86. 2019. Pp. 392–398.

20. Guimarães J. T., Balthazar C. F., Scudino H., Pimentel T. C., Esmerino E. A., Ashokkumar M., et al. High-intensity ultrasound: A novel technology for the development of probiotic and prebiotic dairy products. *Ultrason. Sonochem.* 57. 2019. Pp.12–21.



21. Zhu Z., Zhu W., Yi J., Liu N., Cao Y., Lu J., McClements D.J. Effects of sonication on the physicochemical and functional properties of walnut protein isolate. *Food Res. Int.* 106. 2018., Pp. 853–861.
22. Carpenter J., Saharan V. K. Ultrasonic assisted formation and stability of mustard oil in water nanoemulsion: effect of process parameters and their optimization. *Ultrason. Sonochem.* 35. 2017. Pp. 422–430.
23. González E. M., Alarcón-Rojo A. D., Rentería A., García I., Santellano E., Quintero A., Luna L. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef Ital. *J. Food Sci.* 29 (3). 2017.
24. Chang H. J., Wang Q., Tang C. H., Zhou G. H. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle. *J. Food Qual.* 38 (4). 2015. Pp. 256–267.
25. Barekat S., Soltanizadeh N. Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef longissimus lumborum muscle *Food Bioprocess Technol.* 11 (3). 2018. Pp. 680–693.
26. Kang D. C., Wang A. R., Zhou G. H., Zhang W. G., Xu S. M., Guo G.P. Power ultrasonic on mass transport of beef: Effects of ultrasound intensity and NaCl concentration *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, 35. 2016. Pp. 36–44.
27. Li D., Zhao H., Muhammad A. I., Song L., Guo M., Liu D. The comparison of ultrasound-assisted thawing, air thawing and water immersion thawing on the quality of slow/fast freezing bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets. *Food Chem.* 126614. 2020.
28. Nicolau-Lapeña I., Lafarga T., Viñas I., Abadias M., Bobo G., Aguiló-Aguayo I. Ultrasound processing alone or in combination with other chemical or physical treatments as a safety and quality preservation strategy of fresh and processed fruits and vegetables: a review. *Food Bioprocess Technol.* 2019. Pp. 1–20.
29. Mizrach A. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre-and postharvest processes *Postharvest Biol. Technol.* 48 (3). 2008. Pp. 315–330.
30. Azam R., Ma H., Xu B., Devi S., Siddique M. A. B., Stanley S.L., et al. Efficacy of ultrasound treatment in the removal of pesticide residues from fresh vegetables: a review *Trends Food Sci. Technol.* 97. 2020. Pp. 417–432.
31. Ross K. A., Pyrak-Nolte L. J., Campanella O. H. The use of ultrasound and shear oscillatory tests to characterize the effect of mixing time on the rheological properties of dough *Food Res. Int.* 37. (6). 2004. Pp. 567–577.
32. Elmehdi H. M., Page J. H., Scanlon M. G. Using ultrasound to investigate the cellular structure of bread crumb *J. Cereal Sci.* 38. (1). 2003. Pp. 33–42.
33. Мирошник Ю. А., Доценко В. Ф., Гончарова Н. Е. Дослідження



можливості використання ультразвуку в технології борошняних кондитерських виробів для закладів ресторанного господарства. 2019.

34. Jalali Z., Sheikholeslami A. H., Elhamirad M. H. H., Khodaparast M., Karimi. The effect of the ultrasound process and pre-gelatinization of the corn flour on the textural, visual, and sensory properties in gluten-free pan bread. *J. Food Sci. Technol.*, 57 (3), 2020, Pp. 993–1002.

35. Богомолів О. В., Гурський П. В., Іващенко С. Г., Токолов Ю. І. Дослідження впливу ультразвуку на тиск пресування макаронного тіста. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*, Вип. 207 «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». 2019. С. 80–87.

36. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Шеїна А. В. Ідентифікація процесу приготування тіста в полі ультразвукових коливань. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 2018. С. 115–123.

37. Salazar J., Turó A., Chávez J.A., García M. J. Ultrasonic inspection of batters for on-line process monitoring *Ultrasonics*, 42. (1–9). 2004. Pp. 155–159.

38. Яремчук О. С., Новгородська Н. В. Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів // *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 4 (103). С. 90–98.

39. Хорольський В. П. и др. Ультразвуковые технологии в системе интеллектуального управления производством сыра. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2019. №. 1 (38). С. 67–78.

40. Запорожан Е. А., Егорова Е. Ю., Цыганок С. Н. Влияние параметров ультразвуковой обработки на дисперсность жировых капель в эмульсиях типа "растительное молоко". *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности*. 2019. С. 614–618.

41. Егорова Е. Ю., Цыганок С. Н., Акинфеева А. В. Эффективность применения ультразвука при получении "кедрового молока" и "кедровых сливок". *Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях*. 2019. С. 118–123.

42. Xiong W., Xiong Ge M., Xia J., Li B., Chen Y. Effect of high intensity ultrasound on structure and foaming properties of pea protein isolate. *Food Res. Int.* 109. 2018. Pp. 260–267.

43. Albano K. M., Nicoletti V. R. Ultrasound impact on whey protein concentrate-pectin complexes and in the O/W emulsions with low oil soybean content stabilization. *Ultrason. Sonochem.* 41. 2018. Pp. 562–571.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2022 р.

L. Kryzhak

**Vinnytsia Trade and Economic Institute of DTEU****ULTRASONIC TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY***Summary*

Food processing plays a crucial role in solving food security problems by reducing losses and preventing spoilage. Ultrasound is a new promising technology in the food industry that increases the speed and efficiency of several processes simultaneously.

Ultrasonic technology has revolutionized the food industry due to its widespread use in various processes, and is a good alternative compared to others. This technology has several advantages, such as process speed, increased process efficiency, obtaining high product quality and preserving the properties of the product (consistency, nutritional value, organoleptic properties), increasing the shelf life.

The main idea of the effects observed in the ultrasonic industry in the food industry is that the effects of cavitation cause changes in the functional and technological properties of liquid food systems (chemical, technological, physical, organoleptic, etc.), which contributes to a certain technological effect.

Ultrasonic has proven its potential in the food industry for storage, extraction and processing. It is being used to improve various processes in the food industry increasingly and has become an extremely promising processing technology. It becomes more powerful when it used in combination with other food preservation methods and has a number of advantages over other pre-existing or traditional technologies. UZ with its properties to increase efficiency and reduce the time is required for various processing operations and promises a progressive future.

The review article summarizes the use of ultrasonic in specific areas of the food industry, as well as the advantages and disadvantages of ultrasonic technology. Further scales of industrial application of ultrasonic are also substantiated.

Key words: ultrasonic, ultrasonic processing, technological process, food industry, functional-technological properties.