**Гуць В.С.**

д.т.н., професор

**Новгородська Н.В.**

к.с.-г.н., доцент

**Овсієнко С.М.**

к.с.-г.н., доцент

**Вінницький національний  
аграрний університет****Goots V.**Doctor of Technical Sciences,  
Professor**Novgorodska N.**

Ph.D., Associate Professor

**Ovsienko S.**

Ph.D., Associate Professor

**Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК 664.805: 547.458: 534.2****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-4-14****ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЇ УЛЬТРАЗВУКУ  
ТА ПЕКТИНУ В ТЕХНОЛОГІЇ  
ЯБЛУЧНОГО ПЮРЕ**

У статті наведено результати експериментального дослідження впливу ультразвукової обробки та внесення пектинових речовин на формування структурно-механічних, фізико-хімічних і органолептичних показників яблучного пюре. Метою дослідження було встановити характер змін у пюреподібній системі за умов окремої дії пектину та комбінованого впливу пектину й ультразвуку, а також визначити наявність синергічного ефекту.

Експериментальна схема передбачала дослідження трьох зразків: контрольного (без пектину та ультразвукової обробки), зразка з внесенням 0,3 % пектину та комбінованого зразка з пектином, обробленого ультразвуком частотою 20 кГц протягом 10 хв. Ультразвукову дію здійснювали в лабораторній ультразвуковій ванні з формуванням кавітаційних явищ, що супроводжувалися турбулізацією середовища та механічною деструкцією клітинної матриці яблучної м'якоти.

Встановлено, що внесення пектину сприяє підвищенню густини, в'язкості та однорідності яблучного пюре. Масова частка сухих речовин зросла з 11,2 % у контролі до 11,8 % у зразку з пектином і до 12,4 % у зразку «пектин + ультразвук», що свідчить про підвищення водоутримувальної здатності системи. В'язкість пюре збільшилася з 0,84 Па·с до 1,12 та 1,48 Па·с відповідно, що підтверджує інтенсифікацію структуроутворення. Зафіксовано незначне зниження рН та зростання титрованої кислотності, пов'язане з активізацією масообмінних процесів під дією кавітації.

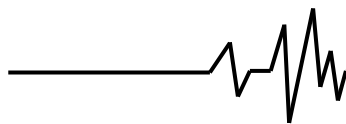
Органолептична оцінка показала, що комбінований зразок характеризується більш густою, кремоподібною текстурою, високою однорідністю, інтенсивнішим забарвленням і насиченим смако-ароматичним профілем. Отримані результати підтверджують доцільність застосування ультразвукової обробки в поєднанні з пектином для удосконалення технології виробництва яблучного пюре та отримання продуктів із підвищеною стабільністю й високими споживними властивостями.

**Ключові слова:** яблучне пюре; ультразвукова обробка; пектин; кавітація; реологічні властивості; текстура; органолептичні показники; структуроутворення; дисперсність; масообмінні процеси.

**Вступ.** Яблучне пюре є важливою складовою фруктопереробної галузі та широко використовується у виробництві дитячого харчування, кондитерських виробів, соків, нектарів та функціональних харчових продуктів. Зростання вимог до якості та харчової цінності готової продукції зумовлює необхідність удосконалення технологічних процесів перероблення фруктової сировини. Одним із перспективних напрямів є

застосування інноваційних фізико-технологічних методів, зокрема ультразвукової обробки, у поєднанні з харчовими гідроколоїдами, такими як пектинові речовини.

Ультразвук високої інтенсивності відіграє значну роль у модифікації структури рослинної сировини завдяки кавітаційним ефектам, що сприяють руйнуванню клітинних стінок, посиленню масообмінних процесів, покращенню однорідності



пюреподібних продуктів і збереженню біоактивних компонентів. На думку багатьох дослідників, ультразвукова кавітація може позитивно впливати на консистенційні характеристики фруктових пюре, знижувати в'язкість, підвищувати дисперсність та забезпечувати стабільність продукту без інтенсивного теплового впливу.

Пектин, як природний полісахарид рослинного походження, має високу гелеутворюючу, структуроутворюючу та стабілізуючу здатність. Уведення пектину у фруктові системи не лише сприяє формуванню бажаної текстури, а й підвищує харчову цінність продукту завдяки наявності розчинних харчових волокон. Крім того, пектин здатний взаємодіяти з натуральними компонентами яблучної сировини, змінювати реологічні характеристики та покращувати стійкість пюре до розшарування.

Поєднання ультразвукової обробки та пектинових речовин є перспективним інструментом оптимізації технології яблучного пюре, оскільки дозволяє підвищити якість продукту за рахунок поліпшення дисперсності, текстури, стабільності та органолептичних властивостей. Разом із тим існує потреба в поглибленому вивченні характеру впливу цих чинників на структурно-механічні та фізико-хімічні показники пюреподібних фруктових систем.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасні напрями переробки фруктової сировини дедалі частіше пов'язані із застосуванням нетермічних технологій, зокрема ультразвукової обробки. У низці оглядових робіт підкреслюється, що ультразвук високої інтенсивності дає змогу зменшити теплове навантаження, зберегти біоактивні компоненти та одночасно забезпечити мікробіологічну безпечність соків і пюреподібних продуктів.

Дослідження [1] узагальнили дані щодо впливу ультразвукової обробки на якість фруктових соків, відзначивши покращення збереження біоактивних речовин і сенсорних показників порівняно з традиційною пастеризацією. Встановлено, що ультразвукова обробка, завдяки кавітаційним процесам, здатна інтенсифікувати масообмін, підвищувати екстракцію біоактивних речовин та одночасно зменшувати теплове навантаження на продукт. Згідно з дослідженням, застосування ультразвуку забезпечує вищі показники збереження поліфенолів, флавоноїдів та антиоксидантної активності порівняно з традиційною пастеризацією, а також сприяє покращенню кольору, аромату та стабільності соків. Доведено, що ефективність ультразвукової дії визначається параметрами обробки (потужність, частота, тривалість) та фізико-хімічними властивостями сировини. Виявлено, що оптимально підібрані режими ультразвуку можуть бути використані як самостійна технологія або в поєднанні з іншими

нетермічними методами для досягнення необхідного рівня мікробіологічної безпеки та якості. Особливу увагу у публікації приділено механізмам впливу ультразвуку на клітинні структури, що зумовлює покращення екстрагування та збереження нутрієнтів. Автори зазначають, що кавітація сприяє руйнуванню клітинних стінок і вивільненню внутрішньоклітинних компонентів, що є підґрунтям для використання ультразвуку в технології продуктів із м'якоттю.

Встановлено, що ультразвукова технологія, завдяки здатності індукувати контрольовані термічні та хімічні зміни у харчових системах, може бути ефективно використана для удосконалення якості фруктових і овочевих соків. Це свідчить про значний прогрес у застосуванні ультразвуку в технологічних процесах переробки рослинної сировини, оскільки механізми дії ультразвуку та його вплив на структуру й властивості соків мають специфічний характер.

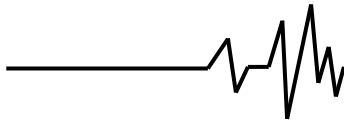
Разом із тим, встановлено, що ультразвук не забезпечує повної інактивації мікроорганізмів і ферментів. У зв'язку з цим для досягнення необхідного рівня мікробіологічної безпеки зазвичай застосовують комбіновані режими, які передбачають поєднання ультразвукової обробки з тепловим впливом [2].

Експериментально доведено, що фруктові суміші та продукти на їх основі набувають все більшої популярності завдяки високому вмісту вітамінів, мінеральних речовин, антиоксидантів, флавоноїдів, каротиноїдів та харчових волокон, що зумовлює їх здатність знижувати ризик розвитку певних захворювань. Водночас висока частка води у фруктових соках робить їх надзвичайно вразливими до мікробіологічного псування, що створює значні труднощі для харчової промисловості у збереженні як цілісності, так і біологічної цінності таких продуктів.

Традиційні теплові методи обробки, застосовувані з метою забезпечення мікробіологічної безпеки, можуть призводити до руйнування термолабільних сполук, зокрема вітамінів і антиоксидантів [3].

Окремий пласт досліджень присвячено впливу ультразвуку на якість фруктових пюре, зокрема яблучного. Дослідження показали, що термосонікація (поєднання ультразвуку з м'якою тепловою обробкою) є ефективною для інактивації поліфенолоксидази в яблучному пюре сорту «Royal Gala», що зменшує потемніння та подовжує термін зберігання продукту [4].

Наукові дані підтверджують, що ультразвукова обробка свіжого яблучного соку (тривалістю 0, 30, 60 та 90 хв за температури 20 °C і частоти 25 кГц) спричиняє суттєві зміни у його фізико-хімічних та якісних показниках. Виявлено, що ультразвук не впливає на основні фізико-хімічні параметри, такі як pH, загальний вміст розчинних



сухих речовин ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) та титровану кислотність, що свідчить про стабільність базових властивостей соку під час обробки. Водночас сонікація забезпечує достовірне покращення ряду важливих якісних характеристик, зокрема підвищує вміст аскорбінової кислоти, стабільність колоїдної фракції, концентрацію фенольних сполук, флавоноїдів та флавонолів, а також збільшує загальну антиоксидантну активність. Доведено підсилення здатності до нейтралізації вільних радикалів, що вказує на покращення функціональних властивостей продукту. Крім того, за результатами дослідження встановлено суттєве зниження мікробного обсіменіння, що підвищує безпечність соку та подовжує його потенційний термін зберігання [5].

Проведені дослідження дають підстави стверджувати, що ультразвукова обробка розглядається як перспективний метод підвищення харчової цінності фруктових соків, зокрема за рахунок збереження та підсилення біологічно активних компонентів. Виявлено, що ультразвукова дія сприяла достовірному підвищенню загального вмісту фенольних сполук та антиоксидантної здатності отриманих зразків. Разом із тим зміни вмісту окремих фенольних компонентів не спостерігалися, що свідчить про вибіркочну дію ультразвуку на поліфенольний комплекс. Не зафіксовано істотного впливу ультразвукової обробки на концентрацію аскорбінової кислоти у більшості зразків, за винятком білого різновиду смородини, де зареєстровано її зростання. Колірні характеристики соків залишалися подібними до контрольних зразків, що вказує на стабільність пігментного комплексу за умов ультразвукової та ферментативної обробки. Показано, що комбінована дія ферментів та ультразвуку на фруктову м'якоть не має негативного впливу на якість продукту та може навіть покращувати окремі показники, зокрема антиоксидантну активність і вміст фенольних речовин [6].

Паралельно активно вивчається роль пектинових речовин у формуванні структури й реологічних властивостей фруктових пюре. Встановлено, що структурні характеристики пектину, притаманні різним сортам яблук, суттєво впливають на в'язкість, дисперсність та текстуру яблучного пюре, що дозволяє розглядати пектин як ключовий фактор формування функціональних властивостей продукту [7].

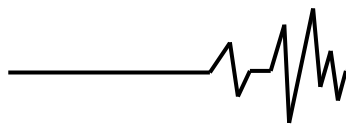
Аналіз наукових джерел свідчить, що пектинові речовини відіграють ключову роль у формуванні структури фруктових пюреподібних систем. Дослідженнями встановлено, що введення пектину здатне суттєво змінювати реологічну поведінку продукту, підвищувати в'язкість та стабільність без негативного впливу на смакові характеристики, що є важливим для отримання однорідних і стійких систем. Такі висновки

отримано при вивченні різних фруктових матриць, де пектин розглядається як ефективний стабілізатор і структуроутворювач. У роботах, присвячених яблучно-пектиновим системам, підкреслено, що властивості кінцевого продукту визначаються як походженням пектину, так і правильним добром його концентрації та ступеня етерифікації. Встановлено, що оптимальні композиції пектину забезпечують керовані текстурні характеристики, що дозволяє формувати пюреподібні продукти із заданими реологічними показниками. Українські дослідження також підтверджують високу ефективність високоестерифікованого яблучного пектину як загущувача та стабілізатора у фруктових пюре і джемах, що розширює можливості його застосування у переробці плодоовочевої сировини.

Значну увагу приділено також технологічним аспектам отримання пектину, зокрема його екстракції з відходів переробки яблук. Дослідженнями встановлено, що ультразвукова екстракція забезпечує підвищений вихід пектину, збагаченого галактуроновою кислотою, а також впливає на ступінь етерифікації, який визначає гелеутворювальні властивості полімеру. Показано, що застосування ультразвуку та мікрохвильової обробки дозволяє отримати пектин із покращеними функціонально-технологічними характеристиками, який може бути ефективно використаний у складі різноманітних продуктів рослинного походження, включно з фруктовими батончиками та концентрованими пюре. Окремий напрям досліджень присвячено впливу технологічних режимів переробки яблучного пюре на його якість. Встановлено, що інтенсивність та тривалість теплового впливу здатні суттєво змінювати фізико-хімічні та сенсорні показники продукту, що актуалізує потребу оптимізації технологічних параметрів. Отримані дані підкреслюють важливість розроблення альтернативних або комбінованих методів обробки, які дозволять мінімізувати деградацію біоактивних компонентів і зберегти природну структуру пюре [8, 9].

Таким чином, проаналізовані джерела свідчать про високу наукову й практичну зацікавленість проблематикою використання ультразвукової обробки та пектинових речовин у технології фруктових продуктів, у тому числі яблучного пюре. Водночас більшість робіт розглядає вплив ультразвуку та пектину окремо, тоді як комплексна дія цих чинників на формування якісних показників яблучного пюре вивчена недостатньо, що й зумовлює актуальність та спрямованість даного дослідження.

**Мета дослідження.** Вивчення впливу ультразвукової обробки та пектинових речовин на процес формування якісних показників яблучного пюре з подальшим обґрунтуванням можливостей



їх використання для удосконалення технології виробництва фруктових пюреподібних продуктів.

**Матеріали і методи досліджень.** Для проведення експериментальних досліджень використовували яблучне пюре, до якого

застосовували різні технологічні режими обробки з метою оцінювання впливу ультразвуку та пектину на якісні показники продукту. Дослідження виконували за такою схемою, табл. 1.

Таблиця 1 – Схема проведення дослідження

| Зразок      | Характеристика зразка               | Умови обробки            | Внесення пектину |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------|
| Контрольний | без пектину та обробки ультразвуком | Без ультразвуку          | -                |
| Дослідний 1 | зразок із пектином                  | Без ультразвуку          | 0,3 %            |
| Дослідний 2 | пектин + ультразвук                 | Ультразвук 20 кГц, 10 хв | 0,3 %            |

Ультразвукову обробку яблучного пюре здійснювали в лабораторній ультразвуковій ванні прямокутної форми, обладнаній трьома п'єзоелектричними випромінювачами, розташованими на нижній поверхні камери. Робоча камера ванни забезпечувала рівномірне поширення ультразвукових хвиль у середовищі пюре за рахунок горизонтального напрямку коливальних із подальшим їх відбиттям від стінок. Під дією ультразвукових хвиль у середовищі формувалися кавітаційні бульбашки, схлопування яких сприяло механічній деструкції клітинної структури та активації масообмінних процесів.

Ультразвукову обробку зразків проводили на частоті **20 кГц**, що відповідає номінальному режиму роботи генератора та перебуває в межах допустимого частотного діапазону ультразвукової ванни ( $18 \pm 1,2$  кГц). Тривалість обробки становила **10 хв**. Умови обробки були підібрані з урахуванням забезпечення інтенсивної кавітації без надмірного нагрівання середовища.

Схему ультразвукової ванни та напрямки поширення ультразвукових хвиль подано на рис. 1.

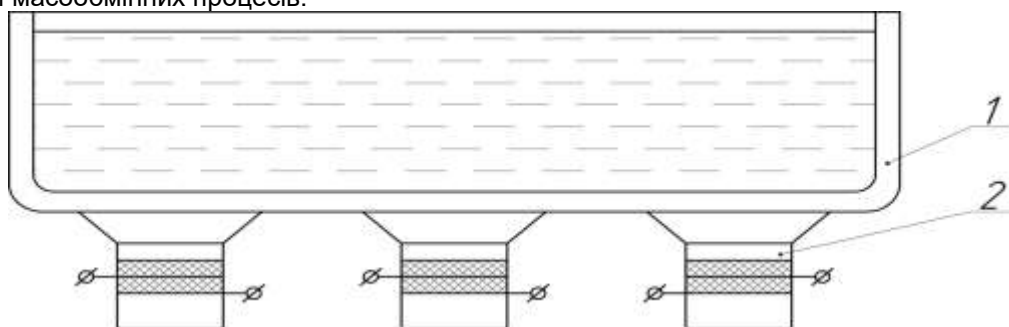


Рис. 1. Схема ультразвукової ванни: 1 – робоча камера; 2 – ультразвуковий випромінювач

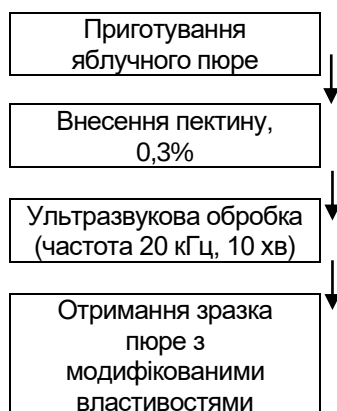
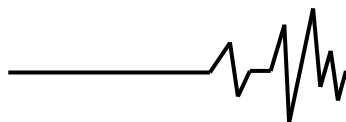
Після отримання зразків визначали фізико-хімічні та органолептичні показники згідно з чинними методиками.

**Викладення основного матеріалу.** У процесі дослідження було проведено оцінювання впливу внесення пектину та ультразвукової обробки на фізико-хімічні, та органолептичні показники яблучного пюре. Роботу виконували на трьох експериментальних зразках: контрольному (без обробки), дослідному 1 (внесення 0,3 % пектину) та дослідному 2 (поєднання внесення пектину з ультразвуковою обробкою частотою 20 кГц протягом 10 хвилин).

У межах дослідження було реалізовано технологічну схему ультразвукової обробки яблучного пюре, яка передбачає поєднання внесення пектину та кавітаційного впливу ультразвукових хвиль. На поданій схемі

представлено послідовність етапів: підготовка модельної системи, внесення 0,3 % пектину, ультразвукова обробка (20 кГц, 10 хв), формування модифікованого зразка та подальше визначення його властивостей. Такий підхід дає змогу комплексно оцінити структурні та функціональні зміни у пюреподібній системі під впливом різних чинників (рис. 2).

Ультразвуковий вплив забезпечує виникнення кавітаційних процесів, що супроводжуються локальними мікроструменями, турбулізацією рідкого середовища, частковим руйнуванням клітинної матриці яблучної м'якоті та зменшенням розміру частинок. Це, у свою чергу, підсилює взаємодію пектину з природними полісахаридами сировини, сприяє набухання та рівномірному розподілу гідроколоїду в об'ємі пюре.



**Рис. 2. Схема ультразвукової обробки яблучного пюре**

У результаті формується більш стабільна дисперсна система з покращеною консистенцією та підвищеними функціональними характеристиками.

Порівняння зразків демонструє суттєві відмінності між ними. Контрольний зразок, який не зазнавав жодної модифікації, характеризувався типовою для натурального яблучного пюре неоднорідністю, нижчою в'язкістю та менш стабільною колоїдною структурою. У зразку з пектином спостерігалось підвищення в'язкості та покращення структурованості завдяки гідратації та гелеутворювальній здатності пектину. Однак рівень дисперсності та однорідності залишався нижчим, ніж у зразка з ультразвуковою обробкою.

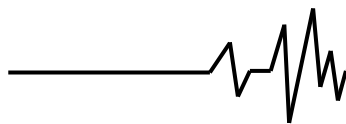
Найсуттєвіші зміни зафіксовано у комбінованому зразку (пектин + ультразвук). Унаслідок дії ультразвукових хвиль структура пюре ставала більш однорідною, частинки м'якоті – дрібнішими, а взаємодія пектинових ланцюгів із клітинними компонентами – більш ефективною. Це забезпечило вищу стабільність системи, покращення реологічних властивостей та підвищення антиоксидантного потенціалу, що узгоджується з літературними даними про позитивний вплив ультразвуку на вивільнення поліфенолів і аскорбінової кислоти.

Таким чином, реалізована схема ультразвукової обробки забезпечує комплексну модифікацію яблучного пюре, яка є неможливою за окремого внесення пектину або відсутності фізичного впливу. Поєднання ультразвуку та пектину призводить до формування продукту з покращеними структурно-механічними, фізико-хімічними та функціональними характеристиками, що підтверджує ефективність даного технологічного підходу.

Для всебічної характеристики впливу пектину та ультразвукової обробки на якість яблучного пюре було проведено порівняльну органолептичну оцінку контрольного та дослідних зразків. Органолептичний аналіз дозволив встановити специфічні відмінності у зовнішньому вигляді, кольорі, запаху, смаку та консистенції, які відображають структурно-функціональні зміни в продукті під впливом різних технологічних чинників. Узагальнені результати наведено в таблиці 2.

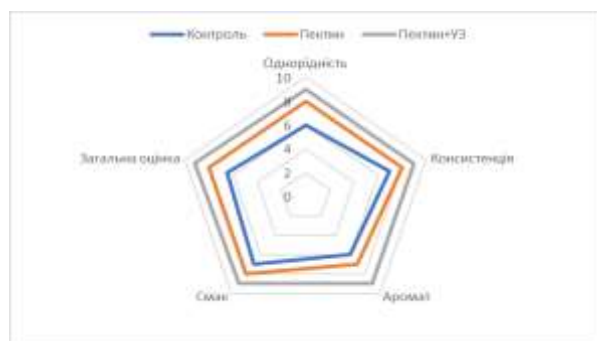
**Таблиця 2 – Органолептична характеристика контрольного та дослідних зразків яблучного пюре**

| Показник                | Контрольний зразок                                                                             | Дослідний 1<br>(0,3 % пектину)                                                        | Дослідний 2<br>(пектин + ультразвук)                                                                                  |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Зовнішній вигляд        | Злегка неоднорідне пюре, помітні частинки м'якоті, незначна водяниста фракція                  | Більш однорідна структура, щільніше тіло пюре, слабке розшарування відсутнє           | Однорідна гомогенна маса без видимих частинок, блискуча поверхня, висока стабільність                                 |
| Колір                   | Світло-жовтий, нерівномірний відтінок                                                          | Жовтий, рівномірніший тон                                                             | Інтенсивніший жовтий колір, рівномірний, без темних включень                                                          |
| Запах                   | Слабко виражений аромат свіжого яблука                                                         | Натуральний яблучний аромат, помірної інтенсивності                                   | Насичений фруктовий аромат, без сторонніх запахів                                                                     |
| Смак                    | Приємний, але дещо плоский, із слабко вираженою кислотністю                                    | Гармонійніший, округліший смак, з м'якою кислинкою                                    | Насичений, збалансований, більш яскравий смако-ароматичний профіль                                                    |
| Консистенція            | Напіврідка, недостатньо зв'язана, відчутні окремі частинки                                     | Більш густа й в'язка, пластична, добре сформована                                     | Густа, рівномірна, кремоподібна; дисперсність значно вища                                                             |
| Однорідність            | Середня, помітні фрагменти клітинної структури                                                 | Добра, частинки менш помітні                                                          | Висока однорідність, дрібнодисперсна структура, ефект «полірованої» маси                                              |
| Загальна характеристика | Натуральне пюре із середніми органолептичними властивостями; недостатня текстурна стабільність | Покращена структура та смак за рахунок дії пектину; підвищена густина та однорідність | Найкращі показники: однорідність, смак, аромат і текстура значно виражені; ефективне поєднання пектину та ультразвуку |



Отже, проведена органолептична оцінка засвідчила, що внесення пектину покращує структурні характеристики яблучного пюре, тоді як поєднання пектину з ультразвуковою обробкою забезпечує найбільш виражене підвищення однорідності, консистенції та інтенсивності смако-ароматичного профілю. Комбінований вплив чинників формує продукт з оптимальними органолептичними властивостями, що свідчить про ефективність застосованої технології.

З метою кількісного підтвердження встановлених тенденцій проведено бальну оцінку органолептичних показників, результати якої наведено у таблиці та відображено у вигляді профілограми (рис. 3). Такий підхід дає змогу порівняти інтенсивність прояву ключових сенсорних характеристик між контрольним та дослідними зразками.



**Рис. 3. Профілограма органолептичних показників яблучного пюре контрольного та дослідних зразків.**

Отримані результати органолептичної та бальної оцінки свідчать, що використання пектину сприяє покращенню консистенції та однорідності яблучного пюре, проте найвищу ефективність забезпечує комбіноване застосування пектину та ультразвукової обробки. Комбінований зразок характеризується максимальними значеннями сенсорних показників, гармонійнішим смако-ароматичним профілем та підвищеною структурною стабільністю. Побудована профілограма підтверджує суттєве розширення сенсорного профілю такого зразка порівняно з контролем і варіантом із пектином, що вказує на синергійний ефект дії ультразвуку та функціонального інгредієнта. Таким чином, запропонована технологія може бути рекомендована для отримання пюреподібних продуктів із покращеними споживними властивостями.

З метою підтвердження встановлених органолептичних відмінностей та кількісної оцінки впливу пектину й ультразвукової обробки на властивості яблучного пюре було проведено визначення ключових фізико-хімічних параметрів, що характеризують кислотність, вміст сухих

речовин та реологічну поведінку продукту. Отримані результати узагальнено у таблиці 3.

**Таблиця 3 – Фізико-хімічні показники яблучного пюре контрольного та дослідних зразків**

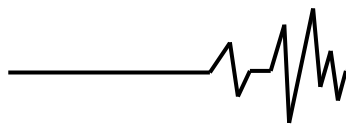
| Показник                       | Контрольний зразок | Зразок з пектином | Зразок «пектин + УЗ» |
|--------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| рН                             | 3,65               | 3,62              | 3,60                 |
| Титрована кислотність, %       | 0,42               | 0,45              | 0,47                 |
| Масова частка сухих речовин, % | 11,2               | 11,8              | 12,4                 |
| В'язкість, Па·с                | 0,84               | 1,12              | 1,48                 |

Проведені дослідження підтвердили суттєвий вплив пектину та ультразвукової обробки на формування структурно-функціональних і сенсорних властивостей яблучного пюре. Фізико-хімічні дослідження підтвердили ці закономірності. Масова частка сухих речовин зросла з 11,2 % у контролі до 11,8 % у зразку з пектином та до 12,4 % у комбінованому варіанті, що свідчить про підвищення водоутримувальної здатності системи. В'язкість пюре збільшилася з 0,84 Па·с у контролі до 1,12 Па·с при внесенні пектину та до 1,48 Па·с після поєднання пектину з ультразвуковою обробкою, що забезпечило формування більш густої, структурованої та стабільної гелеподібної системи. Невелике зниження рН (з 3,65 до 3,60) супроводжувалося збільшенням титрованої кислотності з 0,42 % до 0,47 %, що пов'язано з активізацією масообмінних процесів під дією кавітації.

Отримані результати доводять наявність синергійного ефекту пектину та ультразвуку, який забезпечує найбільш збалансований комплекс структурно-механічних та сенсорних характеристик. Таким чином, комбінована технологія може бути рекомендована для виробництва пюреподібних продуктів із підвищеною стабільністю, покращеною текстурою та високими органолептичними властивостями.

**Висновки.** У ході дослідження встановлено, що внесення пектину у концентрації 0,3 % та ультразвукова обробка при частоті 20 кГц протягом 10 хвилин суттєво змінюють структурно-функціональні та сенсорні характеристики яблучного пюре. Доведено, що обидва чинники мають позитивний вплив, а їх поєднання формує виражений синергійний ефект, що забезпечує покращення текстурних, сенсорних та фізико-хімічних характеристик яблучного пюре.



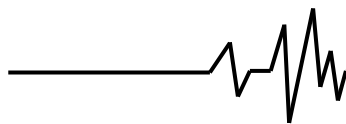
**Список використаних джерел**

1. Roobab Ume, Abida Afeera, Madni Ghulam Muhammad, Ranjha Muhammad Modassar Ali Nawaz, Zeng Xin-An, Khaneghah Amin Mousavi, Aadil Rana Muhammad. (2023). An updated overview of ultrasound-based interventions on bioactive compounds and quality of fruit juices. *Journal of Agriculture and Food Research*. 14. 100864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100864>
2. Mahmoud Mustafa, Alelyani Magbool, Ahmed Amna Mohamed, Fagiry Moram A., Alonazi Batil, Abdelbasset Walid Kamal, Davidson Rob, HamidOsman, Mayeen Uddin Khandaker, Mohammed A. Musa and Ali Bahny Alhailiy. (2023). Ultrasonic technology as a non-thermal approach for processing offruit and vegetable juices: a review. *International journal of food properties*. Vol. 26, No. 1, 1114–1121. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2202356>
3. Pathania N., Dubey P.K. (2025). A review on high-frequency sound waves and nutrients: influence of ultra-sonication on nutritional aspect of fruit juice blends. *International Journal of Food Science and Technology*. 60(1), vvae086. DOI: <https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae086>
4. Zawawi N.A.F., Hazmi N.A.M., How M.S., Kantono K., Silva F.V.M., Sulaiman A. (2022). Thermal, High Pressure, and Ultrasound Inactivation of Various Fruit Cultivars' Polyphenol Oxidase: Kinetic Inactivation Models and Estimation of Treatment Energy Requirement. *Appl. Sci*. 12, 1864. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12041864>
5. Muhammad Abid, Saqib Jabbar, Tao Wu, Malik Muhammad Hashim, Bing Hu, Shicheng Lei, Xin Zhang, Xiaoxiong Zeng. (2013). Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. 20(5). 1182-1187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.02.010>
6. Kidoń M., Narasimhan G. (2022). Effect of Ultrasound and Enzymatic Mash Treatment on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Black, Red and White Currant Juices. *Molecules*. 27(1):318. DOI: [10.3390/molecules27010318](https://doi.org/10.3390/molecules27010318)
7. Dazhi Liu, Jinfeng Bi, Xuan Liu, Jianing Liu, Henk.A. Schols. (2025). Apple cultivar-specific pectin properties impact apple puree functionality. *Food Chemistry: X*. Vol. 32. 103289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103289>
8. Espinosa-Muñoz L., Renard C.M.G.C., Symoneaux R., Biau N., Cuvelier G. (2013). Structural parameters that determine the rheological properties of apple puree. *Journal of Food Engineering*. 119(3). 619-626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.014>
9. Yang by Huaiwen, Tsai Chai-Chun, Jung-Shiun Jiang and Chi-Chung Hua. (2021). Rheological and Textural Properties of Apple Pectin-Based Composite Formula with Xanthan Gum

Modification for Preparation of Thickened Matrices with Dysphagia-Friendly Potential. *Polymers*. 13(6). 873. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13060873>

**References**

1. Roobab Ume, Abida Afeera, Madni Ghulam Muhammad, Ranjha Muhammad Modassar Ali Nawaz, Zeng Xin-An, Khaneghah Amin Mousavi, Aadil Rana Muhammad. (2023). An updated overview of ultrasound-based interventions on bioactive compounds and quality of fruit juices. *Journal of Agriculture and Food Research*. 14. 100864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100864>
2. Mahmoud Mustafa, Alelyani Magbool, Ahmed Amna Mohamed, Fagiry Moram A., Alonazi Batil, Abdelbasset Walid Kamal, Davidson Rob, HamidOsman, Mayeen Uddin Khandaker, Mohammed A. Musa and Ali Bahny Alhailiy. (2023). Ultrasonic technology as a non-thermal approach for processing offruit and vegetable juices: a review. *International journal of food properties*. Vol. 26, No. 1, 1114–1121. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2202356>
3. Pathania N., Dubey P.K. (2025). A review on high-frequency sound waves and nutrients: influence of ultra-sonication on nutritional aspect of fruit juice blends. *International Journal of Food Science and Technology*. 60(1), vvae086. DOI: <https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae086>
4. Zawawi N.A.F., Hazmi N.A.M., How M.S., Kantono K., Silva F.V.M., Sulaiman A. (2022). Thermal, High Pressure, and Ultrasound Inactivation of Various Fruit Cultivars' Polyphenol Oxidase: Kinetic Inactivation Models and Estimation of Treatment Energy Requirement. *Appl. Sci*. 12, 1864. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12041864>
5. Muhammad Abid, Saqib Jabbar, Tao Wu, Malik Muhammad Hashim, Bing Hu, Shicheng Lei, Xin Zhang, Xiaoxiong Zeng. (2013). Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. 20(5). 1182-1187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.02.010>
6. Kidoń M., Narasimhan G. (2022). Effect of Ultrasound and Enzymatic Mash Treatment on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Black, Red and White Currant Juices. *Molecules*. 27(1):318. DOI: [10.3390/molecules27010318](https://doi.org/10.3390/molecules27010318)
7. Dazhi Liu, Jinfeng Bi, Xuan Liu, Jianing Liu, Henk.A. Schols. (2025). Apple cultivar-specific pectin properties impact apple puree functionality. *Food Chemistry: X*. Vol. 32. 103289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103289>
8. Espinosa-Muñoz L., Renard C.M.G.C., Symoneaux R., Biau N., Cuvelier G. (2013). Structural parameters that determine the rheological properties of apple puree. *Journal of Food Engineering*. 119(3). 619-626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.014>



9. Yang by Huaiwen, Tsai Chai-Chun, Jung-Shiun Jiang and Chi-Chung Hua. (2021). Rheological and Textural Properties of Apple Pectin-Based Composite Formula with Xanthan Gum Modification for Preparation of Thickened Matrices with Dysphagia-Friendly Potential. *Polymers*. 13(6). 873. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13060873>

#### INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ULTRASOUND AND PECTIN IN APPLE PURÉE TECHNOLOGY

*The article presents the results of an experimental study on the effects of ultrasonic treatment and the addition of pectic substances on the formation of structural-mechanical, physicochemical, and sensory properties of apple purée. The aim of the study was to determine the nature of changes in the purée system under conditions of individual pectin application and the combined effect of pectin and ultrasound, as well as to identify the presence and manifestation of a synergistic effect.*

*The experimental design included three samples: a control sample (without pectin and ultrasonic treatment), a sample with the addition of 0.3% pectin, and a combined sample containing pectin and treated with ultrasound at a frequency of 20 kHz for 10 minutes. Ultrasonic processing was carried out in a laboratory ultrasonic bath, resulting in cavitation phenomena accompanied by medium*

*turbulence and mechanical disruption of the cellular matrix of apple pulp.*

*It was established that pectin addition promotes an increase in density, viscosity, and homogeneity of apple purée. The mass fraction of dry matter increased from 11.2% in the control sample to 11.8% in the pectin-containing sample and to 12.4% in the "pectin + ultrasound" sample, indicating enhanced water-holding capacity of the system. Purée viscosity increased from 0.84 Pa·s to 1.12 and 1.48 Pa·s, respectively, confirming the intensification of structure formation. A slight decrease in pH and an increase in titratable acidity were observed, which is associated with the activation of mass transfer processes under cavitation effects.*

*Sensory evaluation demonstrated that the combined sample was characterized by a denser, cream-like texture, high homogeneity, more intense coloration, and a richer flavor–aroma profile. The obtained results confirm the feasibility of using ultrasonic treatment in combination with pectin to improve apple purée production technology and to obtain products with enhanced stability and high consumer properties.*

**Keywords:** apple purée; ultrasound treatment; pectin; cavitation; rheological properties; texture; sensory characteristics; structure formation; dispersibility; mass transfer processes.

#### Відомості про авторів

**Гуць Віктор Степанович** – доктор технічних наук, професор кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [Goots@ukr.net](mailto:Goots@ukr.net)).

**Новгородська Надія Володимирівна** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [nadia.novgorodska@gmail.com](mailto:nadia.novgorodska@gmail.com)).

**Овсієнко Світлана Миколаївна** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [ovsienko@gmail.com](mailto:ovsienko@gmail.com)).

**Huts Victor** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [Goots@ukr.net](mailto:Goots@ukr.net)).

**Novgorodska Nadia** – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [nadia.novgorodska@gmail.com](mailto:nadia.novgorodska@gmail.com)).

**Ovsienko Svitlana** – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [ovsienko@gmail.com](mailto:ovsienko@gmail.com)).

Стаття надійшла 11.12.2025

Стаття прийнята 19.12.2025

Опубліковано 25.12.2025