



**СТАЛИЙ ЛАНЦЮГ ХАРЧУВАННЯ
ТА БЕЗПЕКА КРІЗЬ НАУКУ,
ЗНАННЯ ТА БІЗНЕС**

**SUSTAINABLE FOOD CHAIN
AND SAFETY THROUGH SCIENCE,
KNOWLEDGE AND BUSINESS**

**Тези доповідей
II Міжнародної науково-практичної конференції**

15 травня 2025 року

Харків

ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

**Чорненький В.В., асп.,
Шутюк В.В., д-р техн. наук, доц.
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна**

Нині у харчовій промисловості заморожування є одним з основних способів збереження якості продукції, особливо для харчових продуктів рослинного походження. Якість заморожених продуктів значною мірою залежить від розміру та форми кристалів льоду, які утворюються в результаті процесу заморожування. Великі кристали пошкоджують клітинну структуру продукту, що призводить до погіршення текстури, зовнішнього вигляду та втрат соку в результаті розморожування.

Сучасні дослідження провідних науковців засвідчили ефективність застосування ультразвуку в процесах заморожування харчових продуктів і сировини як інноваційного фізичного методу, здатного покращити як тепло- і масоперенесення, так і значно інтенсифікувати кристалізацію води. Ультразвукові хвилі частотою понад 20 кГц створюють ефект акустичної кавітації – утворення та схлопування мікробульбашок у рідкому середовищі. Саме кавітація безпосередньо сприяє утворенню дрібних кристалів льоду за рахунок значного збільшення числа центрів кристалізації. Встановлено, що такі кристали мають значно менші розміри (менше 15 мкм), що дозволяє краще зберігати мікроструктуру тканин і покращити органолептичні характеристики готового продукту.

У лабораторних умовах дослідниками встановлено, що застосування ультразвуку під час заморожування різних структурованих мас, часто призводить до значного скорочення тривалості заморожування (до 30...35 %) та зниження еквівалентного діаметру кристалів. Найменший діаметр ($\approx 9...12$ мкм) досягнуто при частоті 21,5 кГц у режимі імпульсного впливу. Саме такий режим дозволяє забезпечити кращий контроль температурних коливань і запобігає надмірному локальному нагріванню, що є небажаним при заморожуванні.

Переваги застосування ультразвуку під час заморожування також полягають у запобіганні процесу рекристалізації під час холодильного зберігання — тобто повторному зростанню кристалів льоду, що зазвичай відбувається під час тривалого зберігання харчових продуктів при нестабільній температурі. Значно збільшена однорідність кристалічної структури у дослідних зразках, оброблених ультразвуком, підтверджена мікроскопічним аналізом харчових продуктів і рослинної сировини.

Результати досліджень дають змогу стверджувати, що УЗ-технології потенційно перспективні для інтегрування у сучасні системи промислового заморожування з метою покращення якості заморожених плодів, ягід, десертів і напівфабрикатів.

Водночас, одним із недоліків безперервного УЗ-опромінення є підвищення температури в зоні дії, що може значно загальмувати загальну швидкість процесу заморожування. Тому вибір оптимальної частоти, тривалості та режиму впливу (імпульсний або безперервний) є надзвичайно відповідальним фактором. Для плодово-ягідної та овочевої сировини особливо важливо забезпечити рівномірне утворення дрібних кристалів льоду, щоб зменшити механічне руйнування клітин і зберегти природну соковитість і текстуру сировини після розморожування. Використання ультразвуку дає змогу досягти цих результатів без необхідності введення додаткових структуроутворювачів чи добавок.

Із технічної точки зору, впровадження ультразвукових технологій у холодильне обладнання передбачається встановлення генераторів УЗ-хвиль із регульованою частотою. Частота та амплітуда хвиль обираються залежно від типу конкретного продукту та його помологічних особливостей, об'єму та форми упаковки, а також типу охолоджувального середовища (повітря, розсіл, рідкий азот тощо). В промислових масштабах такі системи потребують точного енергетичного балансу, оскільки надмірна енергія може призвести до зворотного ефекту – локального підвищення температури. Також перспективним напрямом є комбінація ультразвуку з іншими технологіями – вакуумним заморожуванням, іммерсійним охолодженням або навіть застосуванням антифризних харчових добавок (кріопротекторів). Такі комбінації заморожування дозволяють забезпечити ще вищу якість продукту, зберігаючи не тільки текстуру, а й і біологічно активні речовини, вітаміни, поліфеноли тощо.

У майбутньому актуальним є розробка математичних моделей прогнозування утворення кристалів під дією ультразвуку, що дозволить більш адекватно автоматизувати керування заморожуванням в режимі реального часу. Це дасть змогу значно підвищити ефективність виробництва та і масштабувати УЗ-технології для широкого спектру харчових продуктів.

Отже, ультразвукове супроводження процесів заморожування є перспективним напрямом удосконалення традиційних технологій консервування харчових продуктів. Подальші дослідження мають бути зосереджені на масштабуванні процесу, енергетичних витратах та адаптації до різних типів сировини.