

ВІДГУК

опонента доктора технічних наук, професора **БЕЗБАХА Ігоря Віталійовича** на дисертацію **ІВАНОВОЇ Ірини Євгенівни** на тему: «**Наукові основи процесів охолодження плодової сировини при зберіганні та переробці**», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук з наукової спеціальності 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв»

Ступінь актуальності обраної теми докторської дисертації. У сучасних умовах післявоєнного відновлення держави питання зміцнення продовольчої безпеки набуває особливої ваги, оскільки безперебійне функціонування продовольчої системи є критичним чинником соціально-економічної стабільності. У структурі цієї системи провідне місце посідає плодова сировина, яка завдяки сукупності біологічно активних компонентів – вітамінів, харчових волокон, натуральних антиоксидантів та низки мінорних метаболітів – формує обов'язкову складову науково обґрунтованого раціону харчування. Плоди не лише забезпечують організм фізіологічно значущими нутрієнтами, а й виступають об'єктом цінних технологічних трансформацій, що визначають якість та безпечність продуктів переробки.

Водночас природна нестійкість плодової продукції, зумовлена високою інтенсивністю ферментативних процесів та сприятливими умовами для розвитку фітопатогенної й умовно-патогенної мікрофлори, спричиняє значні втрати на всіх етапах післязбирального обігу. У багатьох випадках вони сягають рівня, що наближається до 50 %, що створює суттєві ризики для ефективності продовольчих ланцюгів. Одним із найбільш результативних методів зменшення цих втрат є охолодження, яке забезпечує інгібування біохімічних реакцій та мікробіологічних процесів шляхом зниження температури до рівня, несумісного з активною життєдіяльністю ферментних систем та мікроорганізмів.

Попри значний обсяг світових і вітчизняних досліджень з технології охолодження, низка аспектів постзбиральної фізіології плодів досі потребує поглибленого опрацювання. Зокрема, недостатньо систематизовані дані щодо реакцій плодових культур на дію абіотичних чинників у процесі охолодження, а також не повною мірою сформовані наукові підходи до адаптації технологічних режимів з урахуванням анатомо-морфологічних та структурно-механічних характеристик конкретних видів кісточкових культур, зокрема черешні та вишні. Для таких кісточкових культур, як черешня та вишня, характерна комплексна відповідь на температурні впливи, що проявляється у зміні показників масоперенесення, вмісту основних метаболітів, інтенсивності дихальних процесів та стійкості до фізіологічних пошкоджень. Ці особливості формують наукову передумову для побудови математичних

моделей тепломасообміну та масообміну, а останні дають можливість прогнозувати поведінку плодів під час охолодження та визначати раціональні умови їхнього зберігання.

Не менш значущим напрямом дослідження є вивчення стабільності фізико-хімічних і структурних характеристик свіжих та заморожених плодів черешні та вишні у процесі осмотичної дегідратації – однієї з ключових операцій у технології виробництва цукатів. Розроблення оптимальних режимів осмотичного оброблення дозволить не лише підвищити вихід готової продукції та покращити її органолептичні властивості, але й глибше зрозуміти закономірності дифузійної взаємодії плодів із гіпертонічними середовищами.

Представлене дисертаційне дослідження інтегрується у структуру пріоритетних наукових напрямів Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного та виконується в межах низки фундаментальних і прикладних програм, а саме:

- «Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції» (номер державної реєстрації 0102U000680);

- «Розробка нових і вдосконалення існуючих технологій зберігання продукції рослинництва з використанням антиоксидантних препаратів» (номер державної реєстрації 0107U008969);

- «Розробка нових і вдосконалення існуючих технологій зберігання та первинної обробки продукції рослинництва в степовій зоні України за умов глобального потепління» (номер державної реєстрації 0111U002553);

- «Обґрунтування та розробка нових і вдосконалення існуючих технологій охолоджених та консервованих рослинних продуктів» (номер державної реєстрації 0116U002734);

- «Розроблення інноваційних технологій харчової та кулінарної продукції» (номер державної реєстрації 0121U110200).

Наукова координація цих програм забезпечує методологічну цілісність роботи та підтверджує її актуальність у контексті розвитку сучасних технологій зберігання та переробки плодової сировини.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у докторській дисертації, їх новизна і загальнонаціональне/світове значення. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані Іриною Івановою, ґрунтуються на коректно застосованих методах наукового дослідження, валідованих підходах до статистичного опрацювання матеріалу та отриманих експериментальних даних, що характеризуються високим рівнем достовірності. Комплекс використаних методик забезпечує повну верифікацію заявлених у дисертації наукових результатів.

Дисертанткою здійснено критичний аналіз сучасного стану теоретичних і практичних напрацювань у сфері технології зберігання та переробки плодової сировини, що дало змогу чітко сформулювати наукову проблему, яка потребувала вирішення. Ця проблема полягає у встановленні закономірностей впливу абіотичних факторів на якість плодів черешні та вишні, а також у науковому обґрунтуванні оптимальних режимів їх охолодження в умовах зберігання та переробки. Узагальнення літературних даних підтвердило актуальність зазначеного напрямку роботи та обґрунтувало необхідність проведення комплексних досліджень.

Для вирішення поставленої наукової проблеми дисертанткою було сформульовано та реалізовано систему взаємопов'язаних наукових завдань, яка включала: розроблення математичних моделей, що описують залежність ключових функціонально-технологічних характеристик плодів черешні та вишні від дії абіотичних чинників; створення органічних композицій захисного спрямування та оцінку їх ефективності; дослідження впливу різних методів попереднього охолодження на інтенсивність масообмінних, фізіологічних, мікробіологічних та структурно-механічних процесів під час холодильного зберігання; моделювання кінетики тепломасообміну у плодах за різних схем охолодження; наукове обґрунтування параметрів осмотичної дегідратації та встановлення оптимальних режимів для виробництва цукатів із черешні та вишні з прогнозованими властивостями.

Сформульовані у дисертації висновки є логічним продовженням та узагальненням отриманих авторкою експериментальних результатів. Подані дані, а також побудовані на їх основі фізико-математичні моделі, вирізняються адекватністю, статистичною підтвердженістю та відтворюваністю, що свідчить про повну відповідність висунутих у дисертації положень фактичним дослідним матеріалам та підтверджує наукову новизну роботи.

Результати дисертаційного дослідження характеризуються значним обсягом наукової новизни та розширюють сучасні уявлення про закономірності зберігання та переробки плодів кісточкових культур.

Уперше створено комплекс математичних моделей, що описують формування якісного профілю плодів черешні та вишні під впливом абіотичних чинників агроекологічного середовища. На основі широкого масиву аналітичних даних і регресійного моделювання ідентифіковано ключові предиктори варіабельності біохімічних, структурно-механічних та технологічних показників, що дозволило сформулювати науково обґрунтовану систему прогнозування придатності плодів до тривалого зберігання та подальших технологічних операцій.

Вперше доведено доцільність інтеграції низькотемпературних технологій із застосуванням біокомпозицій на основі молочної та оцтової кислот як ефективного інструменту післязбиральної стабілізації якості плодів черешні та вишні. Побудовано оптимізаційні регресійні моделі, які визначають раціональні концентраційні параметри зазначених композицій для забезпечення пролонгованої дії антибактеріальних та антиоксидантних механізмів.

Науково обґрунтовано вплив різних схем охолодження на кінетику фізико-хімічних трансформацій, мікробіологічних процесів, швидкість масоперенесення та інтенсивність метаболічних змін у плодах під час холодового зберігання. Уперше встановлено базові параметри перебігу процесів низькотемпературної обробки для досліджуваних сортів черешні та вишні та визначено їхню роль у стабілізації товарної якості.

Подальшого розвитку набули теоретичні засади застосування штучного холоду в післязбиральній технології плодів, а також методологія багатокритеріального аналізу при виборі оптимальних характеристик товарної якості, хімічного складу та сенсорних властивостей свіжих та заморожених напівфабрикатів, призначених для виробництва цукатів. Отримані результати розширюють наукові положення щодо регулювання тепломасообмінних процесів у плодах у контексті цукатової технології.

Наукову новизну проведених досліджень підтверджено восьми патентами на корисні моделі, що засвідчує їх практичну значущість та потенціал для впровадження у харчову промисловість.

Матеріали дисертаційного дослідження мають суттєву прикладну цінність та спрямовані на вдосконалення сучасних технологій післязбиральної обробки та зберігання плодів черешні та вишні. Запропонований інноваційний підхід ґрунтується на поєднанні гідроохолодження з використанням біокомпозицій регуляторної дії, що забезпечує пролонговане збереження структурно-механічних, біохімічних та мікробіологічних характеристик плодів у процесі їх зберігання та підготовки до переробки.

У роботі сформовано та апробовано методичні засади прогнозування змін якісних параметрів та харчової цінності плодової продукції під впливом температурних та абіотичних факторів. Розроблені предиктивні моделі дозволяють оцінювати можливі втрати маси, темпи зниження біохімічної стабільності та рівень функціональної цінності плодів, що створює науково обґрунтовані передумови для оптимізації режимів зберігання.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується їх впровадженням у виробничу діяльність підприємств харчової галузі, зокрема: ТОВ МЖК «Південний»; ПрАТ «Київський маргариновий завод»; ТОВ «Мошурівський консервний завод».

Крім того, основні положення та методичні матеріали дослідження інтегровано в освітній процес Таврійського державного агротехнологічного університету, що сприяє підготовці фахівців за сучасними технологічними стандартами та актуалізує науково-практичні компетентності студентів.

Повнота викладення основних результатів докторської дисертації в наукових публікаціях зарахованих за темою дисертації. Основні положення та результати, отримані в дисертації, знайшли всебічне відображення у значному масиві наукових праць. Загалом за темою дисертації опубліковано розділ в колективній монографії, проіндексованій у базі даних Scopus, 20 статей у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 20 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 9 статей в інших наукових виданнях, 14 тез наукових доповідей. Крім того, результати дослідження підтверджено 8 деклараційними патентами України на корисні моделі, що засвідчує практичну значущість і прикладний потенціал виконаної роботи.

Оцінка змістовного наповнення дисертації. Дисертаційне дослідження представлене двома томами: основна частина та додатки. Робота вирізняється цілісністю, логічною структурованістю та послідовним викладом матеріалу.

У **вступі** чітко окреслено наукову проблему, аргументовано актуальність теми, сформульовано мету й завдання дослідження, наведено характеристику використаних методів, розкрито елементи наукової новизни та обґрунтовано практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** дисертації систематизовано науково-технічні засади формування сировинного потенціалу та розвитку технологій післязбиральної обробки кісточкових плодів. Розглянуто морфолого-фізіологічні особливості черешні та вишні як об'єктів охолодження і короткострокового та довготривалого зберігання. Узагальнено теоретичні положення, що стосуються тепломасообмінних процесів у плодовій сировині, окреслено основні проблеми, пов'язані зі збереженням її біохімічної стабільності, та проаналізовано сучасні технологічні рішення щодо мінімізації втрат якості під час охолодження. На підставі проведеного огляду визначено коло наукових завдань, які потребують подальших досліджень.

У **другому розділі** дисертації окреслено наукову проблему, що стала основою дисертаційного пошуку, сформульовано концептуальну технологічну та процесну гіпотези, відповідно до яких побудовано експериментальну програму. Детально описано методичні

підходи та алгоритм проведення дослідних робіт. У межах математичного моделювання якісного стану плодової сировини запропоновано три наукові гіпотези, що визначають логіку побудови моделі та забезпечують можливість формування системи предикторів для оцінювання технологічної придатності плодів.

У **третьому розділі** дисертації викладено методологію побудови математичних моделей залежностей біохімічних та якісних характеристик плодів від комплексу абіотичних чинників. З метою ідентифікації ключових факторів варіації застосовано метод головних компонент, а також алгоритм регресійної селекції «LASSO». На основі аналізу масиву метеорологічних даних встановлено статистично значущі кореляційні взаємозв'язки ($|r| \geq 0,55$) між 17–19 погодними параметрами та вмістом сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот, аскорбінової кислоти й фенольних сполук у плодах різних строків досягання. Визначено абіотичні предиктори, що здійснюють найбільш істотний вплив на формування компонентного складу та функціонально-технологічних властивостей плодів. На основі отриманих результатів побудовано регресійні моделі прогнозування хімічного складу, які можуть бути використані для оптимізації сортового добору та управління технологічною якістю плодової сировини на етапі післязбиральної підготовки.

У **четвертому розділі** дисертації представлено результати експериментальних досліджень щодо впливу різних способів попереднього охолодження та умов холодowego зберігання на якісний стан плодів кісточкових культур. Проаналізовано ефективність застосування біокомпозицій на основі молочної та оцтової кислот у поєднанні з гідроохолодженням. Визначено раціональні режими попереднього охолодження, що забезпечують пролонговане збереження структурних, біохімічних і мікробіологічних показників черешні та вишні.

Запропоновано комбінований метод підготовки плодів, який дозволяє зберігати їх до 40 діб при збереженні виходу стандартної продукції на рівні 98 %. Доведено його переваги порівняно з пасивним та інтенсивним повітряним охолодженням: зменшення втрат маси у 11,3–22,9 раз, вповільнення розвитку епіфітної мікрофлори та забезпечення високих товарних та технологічних характеристик протягом усього строку зберігання.

У **п'ятому розділі** дисертації представлено технологічні засади та параметричні особливості процесів повільного, інтенсивного, гідроохолодження та комбінованого охолодження плодів кісточкових культур. На основі експериментальних даних розроблено комплекс математичних моделей, що описують тепломасообмінні процеси під час різних режимів охолодження. Використання критеріїв Рейнольдса, Фур'є та Нусельта дало змогу сформулювати критеріальні залежності та побудувати рекомендовані ряди режимних параметрів для кожного з досліджуваних способів охолодження. Встановлено,

що максимальні значення коефіцієнта теплопередачі спостерігаються за комбінованого охолодження, тоді як мінімальні – у процесі повільного охолодження, що підтверджує ефективність інтегрованого підходу до післязбиральної підготовки плодів.

У **шостому розділі** дисертації наведено результати розроблення моделей прогнозування якісних характеристик плодів у процесах охолодження черешні та вишні. Моделювання динаміки змін якісних параметрів дозволило встановити закономірності трансформації їх функціонально-технологічних властивостей упродовж зберігання. Виявлено загальну тенденцію до зниження коефіцієнта відповідності нормативним вимогам k_{pn} за всіх досліджуваних способів охолодження, зокрема – для повільного та комбінованого охолодження протягом 30 діб. Показано сталість коефіцієнтів зростання якості $k_{\gamma Az}$ та $\phi_{\gamma Az}$, що свідчить про стабільність їх впливу на характеристику процесів охолодження.

Визначено, що питомий коефіцієнт зростання якості різко зменшується після 30 діб зберігання незалежно від режиму охолодження, тоді як коефіцієнт зростання якості демонструє стабільну тенденцію до підвищення на 32–35 %, що вказує на загальний потенціал збереження якості плодів у досліджуваних умовах.

Найвищі показники якості за даними моделювання продемонстрували плоди черешні сорту ‘Melitopol’s’ka chorna’, для яких зафіксовано зростання площ негативних параметрів після 30 діб у межах $S_n=1,03\dots2,19$, а величина коефіцієнта відповідності нормативам якості становила 0,44...0,83 відразу після обробки та 0,46...1,29 після 30 діб зберігання. Для вишні сорту ‘Vstriecha’ встановлено зменшення площі позитивних параметрів після 30 діб зберігання у межах $S_p=1,274\dots2,136$, що свідчить про високу чутливість цього сорту до тривалої холодової дії.

У **сьомому розділі** дисертації викладено теоретичні засади та практичні підходи до застосування осмотичної дегідратації при переробці свіжих плодів. Проаналізовано придатність різних сортів черешні та вишні до технології виробництва цукатів, встановлено вплив фізико-хімічних властивостей осмотичного середовища на кінетичні характеристики масообмінних процесів. За результатами досліджень розроблено оптимізовані технологічні схеми одержання цукатів зі свіжої та замороженої темнозабарвленої черешні й вишні, а також зі світлозабарвлених плодів черешні.

Встановлено, що досягнення осмотичної рівноваги залежить від температури та концентрації осмотичного агента: за умов нагрівання до 80–100 °C рівновага встановлювалася протягом 12–21 год, тоді як за низьких температур та зменшеної концентрації розчину до 42 год. Найнижчу інтенсивність масоперенесення зафіксовано за режимів 20–40 °C та концентрацій 30–40 %, при цьому найбільш активна фаза дегідратації припадала на перші три години процесу. Доведено, що максимальні значення осмотичних

коефіцієнтів спостерігаються при використанні 30 % цукрового розчину, що визначає його як найбільш ефективний осмотичний агент для черешні та вишні.

У **восьмому розділі** дисертації наведено результати оцінювання економічної ефективності та соціального впливу впровадження розроблених технологічних рішень у виробничу практику підприємств харчової промисловості. Показано, що застосування комбінованого режиму охолодження для 1 тонни плодів черешні та вишні є економічно доцільним, оскільки забезпечує зростання доходу від реалізації продукції на 15,6 % для черешні та 15,9 % для вишні, одночасно зменшуючи собівартість одиниці продукції на 3 % та 2,7 % відповідно.

Економічні розрахунки довели, що впровадження технології виробництва цукатів із свіжих плодів черешні забезпечує прибуток у розмірі 133,9 тис. грн, а для вишні – 171,16 тис. грн. При використанні заморожених плодів очікуваний прибуток становить 111,26 тис. грн для черешні та 148,5 тис. грн для вишні. Рівень рентабельності при цьому досягає 42,09 % для черешні та 67,85 % для вишні, що свідчить про високу економічну привабливість та конкурентоспроможність запропонованої технології.

Висновки дослідження спрямовані на вирішення комплексної науково-прикладної проблеми – встановлення закономірностей та наукове обґрунтування раціональних режимів охолодження плодів черешні та вишні під час їх зберігання та переробки. Отримані результати підтверджують практичну значущість та економічну ефективність запропонованих технологічних рішень.

Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Дисертація Ірини Іванової є самостійним, оригінальним науковим дослідженням. У представленій роботі та відповідних наукових публікаціях авторки не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації даних, а також будь-яких порушень принципів академічної доброчесності. Всі результати отримані коректними науковими методами та належно підтверджені експериментальними матеріалами.

Зауваження та дискусійні питання щодо положень докторської дисертації. Незважаючи на загалом високу оцінку дисертаційного дослідження, його теоретичну глибину та прикладну значущість, окремі положення, на мою думку, потребують уточнення й можуть стати підґрунтям для подальшого розвитку наукової тематики. До таких зауваг належать:

1. Мета дослідження сформульована авторкою надто об'ємно.

2. У розділі 3 використано методи головних компонент та LASSO, однак не достатньо зрозуміло, якими критеріями вибору параметрів моделей, користувалася здобувачка при виборі методу.

3. Які переваги має запропонований спосіб обробки плодів черешні та вишні порівняно з відомими, які застосовуються у промисловості?

4. У розроблених функціонально-технологічних схемах відсутні операції підготовки розчинів органічних композицій.

5. У методиці не зазначено витрати препаратів при обробці плодів.

6. Досліджені здобувачкою види мікроорганізмів на плодовій сировині (розділ 4) є більше загальною характеристикою контамінантів. Не чітко сформульовано їх конкретні зміни при застосуванні рекомендованого способу зберігання. Вказано тільки, що загальна кількість зменшилася. Яка гниль переважно залишилася?

7. За яким принципом було підібрано функціонально-технологічні показники плодів черешні та вишні свіжих та заморожених напівфабрикатів при використанні багатокритеріального методу в розділі 7 дисертації.

8. У чому різниця щодо застосування методу багатокритеріальної оптимізації для відбору сировини при виробництві цукатів з свіжої та замороженої сировини?

9. При відборі замороженої сировини для виробництва цукатів скільки вони зберігалися в замороженому вигляді як сировина? Який термін заморожування доцільно рекомендувати як критерій придатності плодів для виробництва цукатів з замороженої сировини?

10. За яким принципом було обрано модельні сорти при моделювання математичних моделей залежності якісних параметрів плодів черешні та вишні за дії абіотичних факторів?

11. У рівнянні 2.27 використано безрозмірну температуру. Розглядається процес тепловіддачі від поверхні продукту до холодоносія. У такому випадку потрібно використовувати різницю температур на поверхні продукту і холодоносія.

12. Отримані рівняння 2.35, 2.36 вважаю не досить коректними, тому що одночасно використані числа Рейнольдса, Нусельта, що використовуються при описі стаціонарних процесів та число Фур'є, що має відношення до нестаціонарних процесів.

13. У результаті узагальнення експериментальних даних отримані рівняння 5.50, 5.51. Не зрозуміло, яка точність цих рівнянь, чи було порівняння розрахункових коефіцієнтів теплообміну та отриманих експериментально.

14. Присутні деякі орфографічні помилки: с. 189 «холодонія», с. 191 «низькоТемп'єратурного».

Водночас зазначені зауваження носять дискусійний та рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації Ірини Іванової, а також не зменшують її наукової та прикладної значущості.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам. Дисертація Іванової Ірини Євгенівни на тему: «Наукові основи процесів охолодження плодової сировини при зберіганні та переробці» є завершеним науковим дослідженням, що містить нові теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені наукові результати. За рівнем актуальності тематики, ступенем наукової новизни, значущістю теоретичних положень, практичною цінністю та результатами впровадження у виробничу діяльність робота відповідає вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її авторка Іванова Ірина Євгенівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв».

Опонент
професор кафедри процесів, обладнання
та енергетичного менеджменту
Одеського національного
технологічного університету,
доктор технічних наук, професор



Ігор БЕЗБАХ

Підпис Безбаха І. В. засвідчую
Вчений секретар



Наталя ДОЦЕНКО