

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІВАНОВА ІРИНА ЄВГЕНІВНА

УДК: 664.8.037.1:634

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДОВОЇ СИРОВИНИ
ПРИ ЗБЕРІГАННІ ТА ПЕРЕРОБЦІ**

05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних
та фармацевтичних виробництв»

Реферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2026

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
БЕЗБАХ Ігор Віталійович,
Одеський національний технологічний університет,
професор кафедри процесів, обладнання
та енергетичного менеджменту

доктор технічних наук, професор
ЗАМОРСЬКА Ірина Леонідівна,
Уманський національний університет,
професор кафедри харчових технологій

доктор технічних наук, професор
САМІЛИК Марина Михайлівна,
Сумський національний аграрний університет,
завідувач кафедри технологій
та безпеки харчових продуктів

Захист відбудеться «06» лютого 2026 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.13 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Вчений секретар докторської
спеціалізованої вченої ради

Наталія СЛОБОДЯНЮК

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні вимоги до забезпечення продовольчої безпеки зумовлюють необхідність функціонування стійких та адаптивних продовольчих систем, ключовим компонентом яких є плодова продукція як джерело біологічно активних речовин. Незважаючи на відносно низьку енергетичну цінність, плоди відіграють винятково важливу роль у формуванні здорового харчування завдяки високій концентрації вуглеводів, вітамінів, фенольних сполук, органічних кислот, мінералів, фітонутрієнтів та інших нутрацевтиків.

Проте, згідно з оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), щорічні втрати плодів у ланцюгах постачання коливаються в межах 40–50 % від загального обсягу виробництва. Високий рівень втрат зумовлений їх біологічною нестабільністю, чутливістю до температурного, мікробіологічного та механічного впливів, а також сезонною нерівномірністю логістичних потоків.

Одним із найефективніших напрямів мінімізації таких втрат є науково обґрунтоване застосування процесу охолодження як ключового етапу в системі зберігання сировини та виробництва функціонального харчового продукту. В умовах сучасного харчового виробництва особливого значення набуває не лише регулювання температурного режиму, а й системний підхід до охолодження, що включає фізико-математичне моделювання тепло-і масопереносу, адаптацію режимів до анатомо-фізіологічних характеристик об'єкту впливу штучного холоду та інтеграцію з подальшими стадіями виробництва готового продукту.

Науковим пошуком шляхів удосконалення існуючих способів охолодження та подальшого холодильного зберігання займалися українські вчені: І. Г. Чумак, Є. Ф. Балан, В. А. Колтунов, В. М. Найченко, О. В. Бендерська, О. С. Біліченко, О. П. Прісс, М. Є. Сердюк, Л. М. Шевчук, В. Ф. Ялпачик, І. П. Паламарчук, О. В. Василишина, М. М. Самілик, а також зарубіжні – G. D. Blanpied, D. R. Dilley, O. L. Lau, A. Zanella, A. H. Wright, V. A. Varat, F. A. Miller. Їхні праці присвячені формуванню біоенергетичних основ холодильної обробки, зберігання та транспортування рослинної сировини, вивченню механізмів дозрівання та старіння плодів, дії температурних чинників, регульованого газового середовища, впливу охолодження на ферментативну активність, фітогормональний баланс та мікробіологічну стабільність. Особливо цінними є дослідження щодо розроблення систем попереднього охолодження та наукове обґрунтування параметрів повітряного й гідроохолодження.

Проте, попри наявні досягнення, низка питань залишаються відкритими. Так, аналіз сучасного рівня наукової інформації щодо процесів холодильної обробки плодової продукції свідчить про фрагментарність підходів до вирішення проблеми збереження її якості. Сьогодні відчутною є нестача систематизованих наукових даних щодо термодинамічних, теплофізичних та масообмінних характеристик плодів при охолодженні, що ускладнює математичне моделювання та прогнозування змін якості у логістичному ланцюгу «поле – виробництво харчового продукту – споживач». Це ускладнює раціональне проєктування режимів охолодження з урахуванням типу сировини, цільового призначення та подальшого виробництва готового продукту із заданими функціональними властивостями.

Виходячи з вищенаведеного, дослідження наукових основ процесів охолодження плодової сировини при зберіганні та переробці є актуальним багатокомпонентним завданням, що дозволить скоротити втрати плодів при їх тривалому зберіганні, знайде нові підходи до одержання об'єктивних факторів, які впливають на процеси збереження якості й потенціал лежкості плодової продукції на всіх етапах – від поля до споживача та дозволить заздалегідь провести розподіл сировини для безвідходного ланцюга використання фруктів. Питання застосування інновацій в процесах зберігання та переробки плодової сировини є до кінця невирішеним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження було проведено впродовж 2007–2019 рр. у лабораторії харчових технологій відділу харчових і переробних технологій Науково-дослідного інституту агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Для експериментальних досліджень було задіяно матеріально-технічну базу навчально-наукової лабораторії біохімічних досліджень, лабораторії зберігання плодів та овочів, лабораторії мікробіологічних досліджень кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи, а також дослідження проведено у навчально-науковій лабораторії процесів і апаратів і лабораторії холодильного устаткування кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф. Ю. Ялпачика Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь). Дисертацію було виконано у рамках науково-дослідних програм: «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). Впровадження результатів досліджень в освітній та виробничий процес проводили з 2021 по 2025 роки.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертації є наукове обґрунтування доцільності застосування алгоритму, що характеризує функціонально-технологічний та якісний стан плодів черешні та вишні, розроблення параметрів процесів повітряного конвективного, рідинного та комбінованого способів холодильної обробки за дії захисної композиції з органічних кислот, обґрунтування технології виробництва цукатів із свіжої та замороженої сировини шляхом формування необхідної експериментальної бази характеристик плодів черешні та вишні, математичного моделювання при використанні методів головних компонент, LASSO, глобальної та багатокритеріальної оптимізації, теорії розмірностей, факторних просторів; сенсорної, соціальної та техніко-економічної оцінки.

У відповідності з поставленою метою було сформульовано такі завдання досліджень:

- провести науково-обґрунтований аналіз сучасного стану та перспектив розвитку технологічних процесів охолодження й зберігання плодової сировини, зокрема плодів черешні та вишні, з урахуванням тенденцій формування сировинної бази, вимог до якості продукції та техніко-економічних параметрів функціонування холодильних систем у харчовій промисловості;
- розробити математичні моделі залежностей функціонально-технологічних показників плодів черешні та вишні від абіотичних факторів, що дозволять встановити закономірності їх впливу на фізіолого-біохімічні процеси, прогнозувати збереження якості сировини в умовах холодильного зберігання та подальшого виробництва харчового продукту;
- розробити захисну органічну композицію, оптимізувати концентрацію компонентного складу та дослідити її вплив на динаміку масообмінних, фізіологічних і мікробіологічних процесів у плодах під час холодильного зберігання;
- дослідити та проаналізувати вплив різних способів попереднього охолодження на динаміку масообмінних, фізіологічних, мікробіологічних і функціонально-технологічних процесів у плодах під час холодильного зберігання;
- побудувати узагальнені фізико-математичні моделі охолодження плодів із використанням безрозмірних критеріїв, що описують динаміку тепломасообміну та дозволяють адаптувати режими зберігання до різних технологічних умов;
- провести математичне моделювання змін якісних показників плодів залежно від сукупності фізичних, фізіолого-біохімічних і мікробіологічних параметрів методом «факторного плоского поля» з подальшою візуалізацією багатфакторного впливу;
- сформулювати наукові принципи та технологічні підходи до використання процесів осмотичної дегідратації у переробці плодів черешні та вишні, встановити раціональні режими

обробки для різних типів сировини, ідентифікувати біохімічні маркери збереження якості та сенсорні критерії готового харчового продукту – цукатів зі стабільними структурними та органолептичними властивостями;

- проаналізувати техніко-економічні показники ефективності з позицій ресурсозбереження, зменшення післязбиральних втрат та підвищення доданої вартості інтегрованої технології зберігання плодів черешні та вишні в умовах штучного холоду і подальшого виробництва цукатів;

- здійснити промислову апробацію інтегрованої технології зберігання плодів черешні та вишні в умовах штучного холоду і подальшого виробництва цукатів, оцінити технологічну надійність та відтворюваність розроблених процесів у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження – процеси фізико-хімічної та біохімічної трансформації заморожування, осмотичної дегідратації плодів черешні та вишні; способи охолодження плодової сировини в умовах холодильного зберігання з використанням органічних композицій, технології переробки.

Предмет дослідження – технологія охолодження і зберігання плодової продукції з використанням органічних композицій, цукати з свіжих та заморожених плодів, режими реалізації осмотичної дегідратації, фізичні, біохімічні, товарні, технологічні та сенсорні показники плодів черешні і вишні та готового функціонального продукту – цукатів.

Методи дослідження. Загальнонаукові: аналізу літературних джерел та отриманих експериментальних даних; синтезу – для формування узагальнень та висновків; спостереження за процесами формування якості; експерименту – складання схеми лабораторних досліджень; моделювання – для побудови математичних моделей; індукції і дедукції – для співставлення результатів математичного моделювання отриманими експериментальними даними; органолептичні – для визначення якісних показників плодів протягом зберігання. Спеціальні: фізико-математичне моделювання досліджуваних процесів охолодження плодової продукції при застосуванні 2 теорем теорії подібності та теорії «розмірностей» – для визначення співвідношень між основними параметрами даних процесів; математичне моделювання методом «факторних площ» – для оцінки якісного стану досліджуваних сортів черешень та вишні; стохастичне математичне моделювання – для математичної обробки експериментальних даних; порівняльно-розрахунковий – для визначення економічної ефективності зберігання плодів за обробки органічними композиціями.

Наукова новизна одержаних результатів. У результаті комплексу аналітичних, експериментальних і виробничих досліджень *вперше*:

- на основі розроблених математичних моделей формування якісного складу плодів черешні та вишні залежно від абіотичних факторів агроекологічного походження із використанням методу головних компонент і LASSO-регресії встановлено ключові предиктори варіації біохімічних і технологічних параметрів та створено аналітичну базу для прогнозування придатності сировини до тривалого зберігання та технологічної переробки;

- на основі фізико-хімічного аналізу та результатів стохастичного математичного аналізу проведено наукове обґрунтування можливості застосування біокомпозицій при застосуванні молочної та оцтової кислот для післязбиральної обробки плодів черешні та вишні з метою пригнічення мікробіологічної контамінації та стабілізації фізіолого-біохімічного стану сировини на етапах транспортування і холодильного зберігання;

- за результатами проведеного регресійного математичного моделювання із використанням методу найменших квадратів у межах досліджуваного факторного простору проведено оптимізацію складу біокомпозиції на основі органічних кислот; визначено оптимальні концентрації з урахуванням мінімізації втрат маси, інтенсивності дихання, мікробіологічної стабільності та збереження біохімічного складу;

- науково обґрунтовано доцільність інтеграції технологій охолодження з обробкою захисними біокомпозиціями як синергічного підходу до збереження біохімічного потенціалу, структурно-механічних, сенсорних властивостей плодів;

– досліджено та науково-обґрунтовано вплив різних способів охолодження на динаміку масообмінних, фізіологічних, мікробіологічних і функціонально-технологічних процесів у плодах черешні та вишні під час холодильного зберігання;

– на основі 2 теореми подібності Федермана-Букінгема та теорії розмірностей було складено критеріальні рівняння при використанні критеріїв Рейнольдса, Фур'є, Нуссельта; що дозволило отримати залежності основних параметрів процесів низькотемпературної обробки досліджуваних сортів вишні та черешні, сформувані рекомендований ряд параметрів робочого режиму за допомогою відповідної розрахункової програми для процесів повільного, інтенсивного, гідродинамічного та комбінованого охолодження з метою забезпечення ефективного перебігу конвективного теплообміну за контрольованої зміни досліджуваних характеристик;

– оцінку якості досліджуваних плодів проведено математичним моделюванням методом «факторних площ» на основі результатів експериментального визначення основних параметрів досліджуваних процесів повільного, інтенсивного, гідродинамічного та комбінованого охолодження за допомогою таких критеріїв оцінки як факторні площі негативних та позитивних параметрів якості, коефіцієнти зростання $k_{яз}$ та спадання якості, коефіцієнт відповідності нормативам якості $k_{вн}$, питомі коефіцієнти зростання $\varphi_{яз}$ та спадання якості $\varphi_{яс}$, які дозволяють провести ефективний порівняльний аналіз основних характеристик плодів з нормативними, прогнозувати зміну якісних характеристик у процесі зберігання та перспективність досліджуваних сортів черешні та вишні. За даного методу реалізується об'єктивний аналіз якості продукції при застосуванні необмеженої кількості експериментальних параметрів якості досліджуваних плодів, які у процесі математичного аналізу були представлені у безрозмірному вигляді.

Подальший розвиток отримали:

– наукові підходи до використання штучного холоду як ключового фактору забезпечення збереження якісних показників напівфабрикатів із черешні та вишні на етапах підготовки до виробництва цукатів;

– методологія багатокритеріального аналізу та вибору параметрів товарної якості, хімічного складу та сенсорних характеристик свіжих і заморожених напівфабрикатів, що забезпечують формування цукатів з високою харчовою та функціональною цінністю.

Наукова новизна технічних рішень підтверджена 8 патентами на корисні моделі.

Практичне значення одержаних результатів полягає у впровадженні інноваційного підходу до зберігання плодів черешні та вишні, що включає застосування біокомпозиції у поєднанні з гідроохолодженням – як комбінованого способу технологічної обробки. Вперше розроблено методичні підходи до прогнозування змін якісних показників та харчової цінності плодової продукції під час зберігання, що ґрунтуються на виявлених предикторах втрат маси, зниження біохімічної стабільності та функціональної цінності плодів.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень узагальнено отримані результати, розроблено та науково обґрунтовано процеси охолодження плодової сировини для подовження термінів зберігання та збереження якісного нутрієнтного складу плодів черешні та вишні. Розроблено та науково обґрунтовано інтегрований технологічний підхід до попереднього охолодження і подальшого зберігання плодів з використанням органічних композицій-антимікробної дії, що сприяють пролонгуванню строків зберігання. Обґрунтовано раціональні технологічні параметри осмотичної дегідратації як методу отримання функціонального харчового продукту з високим ступенем збереженості біологічно активних речовин, фітонутрієнтів та структурно-механічної стабільності у свіжих, заморожених плодах та цукатах з черешні та вишні.

Запропоновані моделі та регламентовані параметри комбінованого охолодження дозволяють виробникам харчового продукту завчасно оцінювати придатність плодів до тривалого зберігання або технологічної переробки, оптимізувати логістику сировинних потоків, зменшити післязбиральні втрати та забезпечити стабільну якість продукції. Виробничі випробування розробленої технології у реальних умовах холодильних і харчових

підприємств підтвердили її ефективність у подовженні термінів зберігання плодів з мінімізацією втрат сенсорних властивостей та збереженням високої біологічної цінності.

Науково обґрунтовано та розроблено комплексну технологію охолодження й зберігання плодів черешні та вишні, що забезпечує максимальне збереження їхнього нутрієнтного складу. Запропоновано інтегрований підхід до подовження термінів зберігання шляхом поєднання попереднього охолодження з використанням органічних антимікробних композицій. Визначено раціональні параметри осмотичної дегідратації, що дозволяють стабілізувати структуру та зберегти біологічно активні речовини у свіжих, заморожених плодах і цукатах.

На базі Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь, м. Запоріжжя) апробацію результатів досліджень у виробничий процес було проведено на підприємствах ТОВ МЖК «Південний» (2020–2021 рр.), ТОВ «Мошурівський консервний завод» (2023–2024 рр.), ПрАТ «Київський Маргариновий Завод» (2024–2025 рр.).

Особистий внесок здобувачки. Всі результати, які наведені в дисертації, отримано авторкою самостійно. Здобувачкою здійснено теоретичне обґрунтування, формулювання наукової проблеми, робочої гіпотези, мети, завдань, програми досліджень, розроблено методику їх проведення. За безпосередньою участю авторки виконано експериментальні дослідження в лабораторних та виробничих умовах, здійснено аналіз та узагальнення отриманих результатів, розраховано економічну ефективність впровадження запропонованої технології, сформульовано висновки та практичні рекомендації. Підготовлено до друку статті, оформлено патенти. Формування складу варіантів концентрацій органічних композицій, способів попереднього охолодження плодів, формулювання технологічних аспектів переробки плодів черешні і вишні на цукати, обговорення та узагальнення результатів досліджень проведено за наукового консультування доктора технічних наук, професора М. Є. Сердюк. Математичну інтерпретацію експериментальних даних було виконано сумісно з професором В. М. Малкіною.

Здобувачка безпосередньо здійснювала наукове керівництво аспірантами Я. І. Пендрак та С. В. Басянець. У спільних роботах авторкою заплановано експеримент, взято участь у проведенні досліджень, здійснено аналіз експериментальних даних, інтерпретовано та узагальнено отримані результати, представлено наукові доповіді і підготовлено публікації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на: щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь, м. Запоріжжя, 2007–2025 рр.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні агротехнології в умовах глобального потепління» (м. Мелітополь, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Практичне природне землеробство: якість продукції, ефективність, перспектив» (м. Мелітополь, 2013 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні агротехнології за умов зміни клімату» (м. Мелітополь, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК» (м. Мелітополь, 2016 р., 2015 р.); VIII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини» (м. Прага, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Агроекологічні аспекти виробництва та переробки продукції сільського господарства» (м. Мелітополь, 2018 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Perspectives of world science and education» (м. Осака, Японія, 2019 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційний розвиток АПК України: проблеми та їх вирішення» (м. Житомир, 2022 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва» (м. Запоріжжя, 2023 р.); X Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини» (м. Прага, Чехія, 2023 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової

індустрії» (м. Черкаси, 2023 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції «Органічне виробництво і продовольча безпека» (м. Житомир, 2024 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в рослинництві та землеробстві» (м. Житомир, 2025 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано 72 наукові праці, з яких розділ в колективній монографії, проіндексований у міжнародній наукометричній 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 міжнародних наукометричних 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, 8 патентів України на корисні моделі, 14 тез наукових доповідей. Також за результатами досліджень було отримано свідоцтво на торговельну марку CHERRY & SWEETS.

Структура дисертації. Дисертація викладена у 2 томах: Том 1. Результати досліджень (обсягом 546 сторінок); Том 2. Додатки (обсягом 267 сторінок). Дисертація (Том 1) містить 78 таблиць, 104 рисунки та складається з анотації, вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел, що налічує 484 найменувань, з них 377 латиницею. Том 2 дисертації представлено 11 додатками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір теми дисертації, її актуальність, сформульовано мету та завдання дослідження, відображено результати апробації, визначено особистий внесок здобувачки у проведених дослідженнях і публікаціях за темою дисертації. Визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі «**Теоретичні основи технологічних процесів охолодження та зберігання плодів черешні та вишні**» розглянуто науково-технічні передумови формування сировинної бази та розвиток технологій охолодження і зберігання кісточкових плодів та основні напрями використання плодів черешні та вишні. Надано загальну характеристику плодів черешні та вишні як об'єкта охолодження та зберігання. Проаналізовано теоретичні основи і проблеми охолодження плодової сировини та сучасні підходи і проблеми зберігання плодів черешні та вишні. Розглянуто питання розроблення математичних моделей, які дозволяють кількісно описати закономірності впливу дії штучного холоду на збереження структурно-механічних, мікробіологічних та органолептичних властивостей плодів упродовж холодильної обробки та зберігання. Порівняльний аналіз існуючих способів охолодження свідчить про переваги інтенсивних технологій, які забезпечують швидке зниження температури до оптимального рівня з мінімальними втратами якості. Однак, інформація в літературних джерелах констатує, що існуючі дослідження зосереджені переважно на окремих аспектах зберігання, але відсутній інтегрований науковий підхід, що поєднує моделювання процесів охолодження, аналіз впливу абіотичних стресорів та розроблення технологій мінімізації втрат. Водночас застосування комбінованих способів із одночасною обробкою біологічно активними речовинами розглядається як перспективний напрям. Одним із актуальних підходів до підвищення зберігання та стабілізації функціонально-технологічних властивостей плодів є обробка органічними кислотами, зокрема оцтовою та молочною. Ці сполуки володіють антимікробною дією, здатні знижувати рН поверхні плодів, пригнічувати ріст пліснявих грибів і дріжджів, а також позитивно впливати на збереження товарної якості, біологічної цінності та сенсорних показників.

Доцільність проведення подальших досліджень процесів охолодження плодів черешні та вишні обумовлена сукупністю технологічних, біохімічних та економічних чинників, а також необхідністю наукового обґрунтування режимів реалізації цього процесу. Особливої уваги заслуговує розроблення математичних моделей, які дозволяють кількісно описати закономірності впливу дії штучного холоду на збереження структурно-механічних,

мікробіологічних та органолептичних властивостей плодів упродовж холодильної обробки та зберігання.

У другому розділі «Програма та методика проведення досліджень» проведено узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень, які представлено в програмі досліджень (рис. 1).



Рис. 1. Структурно-логічна схема напрямів та етапів аналітичних та експериментальних досліджень

Для вирішення зазначених наукових проблем при виконанні досліджень та проведенні математичного моделювання було використано наступні концептуальні технологічну та процесну наукові гіпотези (рис 2).

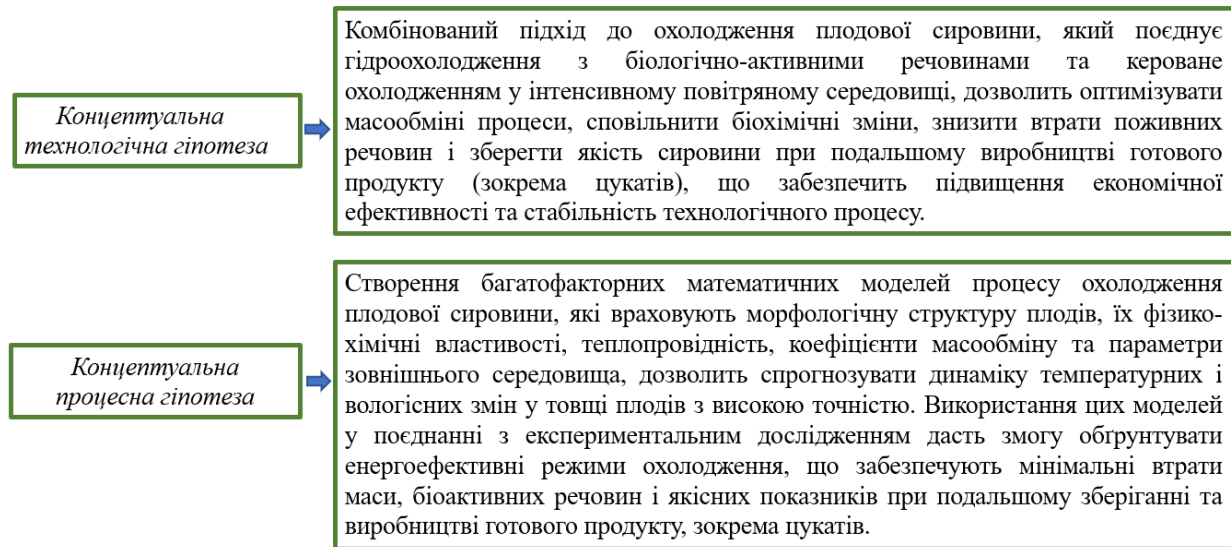


Рис. 2. Наукові гіпотези для виконання досліджень та проведення математичного моделювання

Наукові гіпотези для реалізації математичного моделювання якісного стану плодової продукції за реалізації досліджуваних процесів низькотемпературної обробки мають наступний вигляд (рис 3).

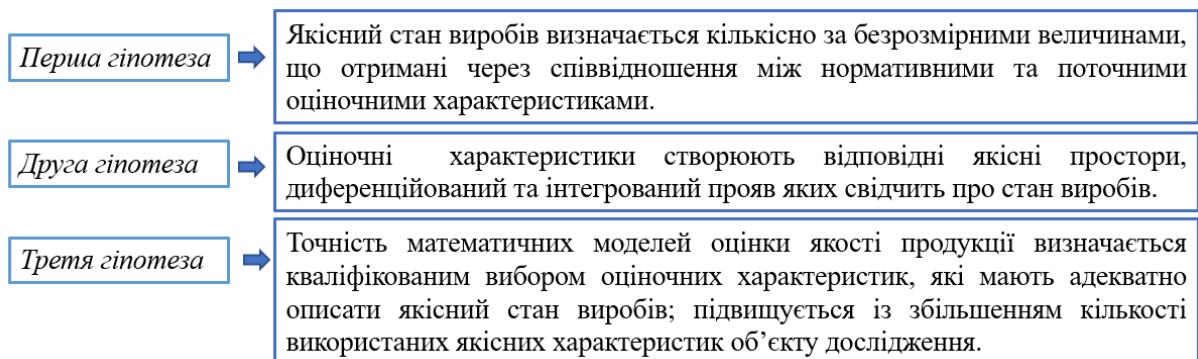


Рис. 3. Наукові гіпотези для реалізації математичного моделювання якісного стану плодової продукції

Експериментальні дослідження проведено впродовж 2007–2019 рр. в лабораторії технології первинної переробки і зберігання продуктів рослинництва Науково-дослідного інституту агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь). Вони склалися з п'яти дослідів.

Дослід 1. Обґрунтування функціонально-технологічних показників плодів вишні та черешні. З метою дослідження функціонально-технологічних показників плодів вишні та черешні впродовж 2007–2019 рр. було використано плоди модельних сортів, які вирощені в умовах господарств Запорізького південного регіону (науково-дослідний саду ТДАТУ, ДПДГ «Мелітопольське» ДСС ім. М. Ф. Сидоренка, ТОВ «БЛЕКСІ ФРУТ КОМПАНІ», ГК «Мелітопольська ЧЕРЕШНЯ»). Щоденні метеорологічні дані за аналізований період було зібрано на Мелітопольській метеостанції, а також надано Головним управлінням статистики в Запорізькій області.

Проби плодів черешні та вишні було відібрано для дослідження у стані споживчої стиглості в умовах садівничих господарств півдня Степової зони України (46°46'N, 35°17'E) згідно до ДСТУ ISO 874-2002. Якість плодів відповідала стандартним вимогам на плоди черешні та вишні згідно ДСТУ 8153:2015 та ДСТУ 8325:2015. У межах експериментальних досліджень проведено систематизований аналіз морфометричних та якісних характеристик плодової сировини з метою визначення її відповідності класифікаційним ознакам першого та другого товарних сортів згідно з нормативно-технічною документацією. Оцінювання здійснювали за комплексом параметрів, що включав визначення лінійних розмірів плодів за значенням найбільшого поперечного діаметра, а також кількісну оцінку допустимих відхилень від регламентованих показників якості у відсотковому вираженні. До групи контрольованих дефектів віднесено: відсутність плодоніжки, наявність макро- та мікро-тріщин епідермісу, прояви фізіологічного перезрівання або недозрілості, механічні пошкодження різної етіології, фітосанітарні ураження ентомошкідниками, локальні та дифузні прояви побуріння паренхіми, а також ознаки мікробіологічного псування.

Календарну дату знімання визначали за наступними показниками якості свіжих плодів черешні та вишні: зовнішній вигляд (аналіз плодів за формою та забарвленням, що повинні бути типовими для даного помологічного сорту, визначення наявності або відсутності плодоніжки, визначення ступеня механічних пошкоджень як шкірки, так і пошкодження шкідниками, ураження грибними хворобами) розмір плодів за найбільшим поперечним діаметром. Відразу після збирання плоди пакували насипом у пластикові ящики (розмір тари 600×400×116 мм) по 10 кг у кожному. Дослідження фізіологічних і мікробіологічних показників проводили у лабораторіях Науково-дослідного інституту агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь).

Для дослідження було обрано плоди 33 модельних сортів черешні трьох термінів досягання врожаю 2008–2019 років: 1 група – сорти раннього терміну досягання – Sweet Early, Merchant, Biharro Burlat, Rubinova Rannia, Valerii Chkalov, Kazka, Zabuta; 2 група – сорти середнього терміну досягання – Kordia, Oktavia, Vynka, Pervystok, Temp, Liubymytsia Turovtseva, Talisman, Dilema, Melitopolska chorna, Orion, Chervneva Rannia, Dachnytsia, Prostir; 3 група – сорти пізнього терміну досягання – Karina, Regina, Mirazh, Krupnoplidna, Udivitiel'na, Zodiak, Surpryz, Kolhoznytsia, Kosmichna, Prazdnichna, Anons, Temporian, Meotyda.

Для дослідження було обрано плоди 10 модельних сортів вишні трьох термінів досягання врожаю 2007–2019 рр.: ранній – Ozhydaniye; середній – Vstriecha, Shalunia, Siyanets Turovtsovoi, Griot Melitopolskyu, Modnytsia, Expromt; пізній – Melitopolska purpurna, Solidarnist, Ighrushka.

У ході досліджень було вивчено вплив абіотичних чинників на формування якісних, технічних, сенсорних показників свіжих плодів черешні трьох термінів досягання та вишні у аспекті їх конкурентоспроможності та придатності до зберігання і технічної переробки.

На даному етапі досліджень було визначено функціональні показники плодів: сухі розчинні речовини, цукри, титровані кислоти, фенольні речовини, вітамін С; технологічні показники плодів черешні та вишні: маса плоду, маса кісточки, співвідношення маси плоду до маси кісточки та проведено сенсорну і комерційну оцінку плодів. За результатами дослідів було вибрано критерії ідентифікації та отримано моделі для прогнозування вмісту компонентів хімічного складу та показників товарної якості плодів черешні трьох термінів досягання та вишні залежно від абіотичних чинників.

З метою прогнозування формування показників якості плодів та підбору модельних сортів для безвідходного ланцюга використання плодової продукції на етапах реалізація-зберігання-переробка черешні та вишні досліджено частку участі абіотичних чинників та сорту. Математичну інтерпретацію експериментальних даних було виконано за методами «головних компонент» та «LASSO».

Дослід 2. Експериментальна оцінка параметрів процесів холодильної обробки та зберігання плодів черешні та вишні. Дослід 2.1. Оптимізація концентрацій органічних

кислот для обробки. В дослідженнях було досліджено дію комбінованого способу охолодження за обробки природними органічними композиціями на зберігання плодів черешні та вишні модельних сортів. До складу органічної композиції входили кислоти – оцтова (ОК) та молочна (МК) розчинені у дистильованій воді (ДВ). Співвідношеннями кислот МК:ОК складало від 0,00 до 2,25 %.

Молочна кислота ($\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$) – α -оксіпропіонова одноосновна оксикарбонова кислота. Харчова добавка Е 270. Вона використовується в продуктах харчування в якості консерванту. На вигляд за фізичними властивостями добавка Е 270 – це прозора чиста рідина з кислим смаком і характерним запахом. Характеризується антисептичною дією та перешкоджає бродінню продуктів. Має антиоксидантні властивості та детоксикаційну функцію, регулює кислотність та надає продуктам певний смак та аромат. У силу свого природного походження і утворення в організмі людини природним шляхом використання молочної кислоти в якості харчової добавки Е 270 дозволено у всіх країнах. Гранично-допустимі норми використання консерванту Е 270 не встановлювалися як для природної, не шкідливої речовини. Застосовується у виробництві сирів (в силу своєї малої кислотності), майонезів, йогуртів, кефірів та інших молочно-кислих продуктів. Також зустрічається в безалкогольних напоях, кондитерських виробках і інших виробках.

Оцтова кислота (CH_3COOH) – харчова добавка Е 260. Добавка Е 260 використовується в харчовій промисловості в якості регулятора кислотності. В основному оцтова кислота застосовується у вигляді водних розчинів в пропорції 3–9 % (оцет) і 70–80 % (оцтова есенція). Добавка Е 260 має характерний різкий запах. У водних розчинах регулятор кислотності Е 260 є досить слабкою кислотою. У чистому ж вигляді оцтова кислота є безбарвною їдкою рідиною, яка поглинає вологу з навколишнього середовища. Рідина замерзає вже при температурі 16,5 °С і утворює тверді безбарвні кристали. Токсична дія добавки Е 260 на організм людини залежить від ступеня розбавлення оцтової кислоти водою. Небезпечним для здоров'я і життя вважаються розчини, в яких концентрація оцтової кислоти вище 30 %. Висококонцентрована оцтова кислота при зіткненні зі шкірою та слизовими оболонками може викликати сильні хімічні опіки. У харчовій промисловості добавка Е 260 застосовується в кондитерській, консервній галузі, при виробництві майонезів та інших продуктів харчування. Регулятор кислотності Е 260 дозволений для використання у харчових продуктах у всіх країнах як добавка, безпечна для здоров'я людини. Оцтова кислота – харчовий консервант, що має антимікробний потенціал. Оцтова кислота є похідною речовиною після розкладу перуксусної кислоти. Її як похідну перуксусної кислоти застосовують проти боротьби з післязбиральною гниллю кісточкових культур.

Охолодження плодів комбінованим способом проводили у два етапи впродовж 40 ± 2 хв до температури в центрі плоду $2 \pm 0,5$ °С. Обробку плодів розчином молочної та оцтової кислот проводили на першому етапі. Варіанти органічних композицій МК:ОК додавали до льодяної води ($1,0 \pm 0,5$ °С), якою проводили охолодження плодової продукції. На другому етапі проводили доохолодження плодів у камерах інтенсивного охолодження холодним повітрям. Повторність кожного варіанту п'ятиразова. Розмір повторності – один ящик. В якості модельних сортів було використано сорт черешні Valerii Chkalov, вишні – Vstriecha. Вимірювання температури всередині плоду проводили цифровим термометром ТМ-902 СР з термопарою К-типу. Діапазон вимірювання термометра від мінус 50 °С до 1300 °С, дискретність – 0,1 °С у діапазоні температур мінус 50–200 °С. Для встановлення оптимальної концентрації МК:ОК за комбінованим способом охолодження в плодах черешні та вишні визначали такі показники за стандартними методиками: втрати плодів від мікробіологічних захворювань та фізіологічних розладів, природні втрати маси при зберіганні, середній рівень щодобових втрат при зберіганні плодів черешні з використанням захисної композиції.

Дослід 2.2. Обґрунтування режимів та способів попереднього охолодження плодів черешні та вишні. Обґрунтування режимів та способів попереднього охолодження досліджуваної продукції проводили шляхом дослідження впливу 4-х способів попереднього охолодження плодів черешні та вишні на якісні показники. У якості модельних сортів було

використано плоди черешні різних строків досягання Valerii Chkalov (ранній), Melitopol's'ka chorna (середній), Krupnoplidna (пізній) і сорт вишні Vstriecha.

Умови способів попереднього охолодження представлено такими варіантами:

***Варіант 1.** Процес охолодження плодів пасивним повітряним способом.* Попереднє охолодження плодів проводили повітрям із швидкістю руху 0,5 м/с (кратність повітрообміну 30 об'ємів за годину). Температура у камерах зберігання охолоджених вантажі становила 5 ± 1 °C. Відносна вологість повітря – 90 ± 1 %.

***Варіант 2.** Процес охолодження плодів інтенсивним повітряним способом.* Попереднє охолодження плодів проводили холодним повітрям із швидкістю руху 3,0 м/с (кратність повітрообміну 90 об'ємів за годину). Температура у камерах інтенсивного охолодження становила 0 ± 1 °C. Відносна вологість повітря була 90 ± 1 %.

***Варіант 3.** Процес гідроохолодження плодів.* Охолодження здійснювали в стаціонарному палетному гідрокулері MAS-NC-2000-PAL-ST з продуктивністю 2 т/год. Охолодження виконували льодяною водою ($1,0 \pm 0,5$ °C) з додаванням молочної і оцтової кислот.

***Варіант 4.** Комбінований процес охолодження плодів.* Попереднє охолодження плодів проводили у два етапи:

Етап 1. Плоди охолоджували льодяною водою ($1,0 \pm 0,5$ °C) з додаванням молочної і оцтової кислот протягом 10 ± 2 хв до температури всередині плоду 4 ± 1 °C.

Етап 2. Доохолодження плодів проводили у камерах інтенсивного охолодження холодним повітрям із швидкістю руху 3,0 м/с (кратність повітрообміну 90 об'ємів за годину) протягом 30 ± 2 хв до температури $2 \pm 0,5$ °C. Температура у камерах інтенсивного охолодження становила 0 ± 1 °C. Відносна вологість повітря була 90 ± 1 %. Загальна тривалість попереднього охолодження плодів комбінованим способом до температури $2 \pm 0,5$ °C становила 40 ± 2 хв.

Повторність кожного варіанту п'ятиразова. Розмір повторності – один ящик. Для встановлення та обґрунтування ефективного способу охолодження визначали такі показники за стандартними методиками: інтенсивність дихання, дихального теплогенезу, втрата маси плодів під час попереднього охолодження; кількісний склад епіфітної мікрофлори на поверхні плодів через 30 діб зберігання.

За результатами дослідів 3 було розроблено оптимальний спосіб попереднього охолодження плодів черешні і вишні для збереження їх якості і продовження строку зберігання.

Дослід 3. Фізико-математичне моделювання процесів охолодження плодів черешні та вишні. Моделювання проводилося на основі експериментальних досліджень процесів повільного, інтенсивного, комбінованого охолодження та гідроохолодження плодів черешні трьох строків досягання. Плоди черешні та вишні було відібрано для дослідження у споживчій стиглості в умовах садівничих господарств півдня Степової зони України. Якість плодів відповідала стандартним вимогам. Відразу після збирання плоди пакували насипом у пластикові ящики по 10 кг в кожному. З метою подовження строків зберігання плодової сировини і збереження її якості було досліджено способи і режими попереднього охолодження. Дослідження фізіологічних і мікробіологічних показників проводили у лабораторіях Науково-дослідного інституту агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь). У якості модельних сортів було використано плоди різних строків досягання: ранній сорт черешні Valerii Chkalov, середній сорт черешні Melitopol's'ka chorna, пізній сорт черешні Krupnoplidna, а також сорт вишні Vstriecha. Було визначено наступні фізико-механічні характеристики досліджуваних сортів плодів: маса плоду, поперечний діаметр плодів, площа поверхні плоду, об'єм плоду. Розрахована коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К), коефіцієнт температуропровідності a , 10^{-8} м²/с, теплоємність c , Дж/(кг·К).

У ході досліджень було визначено залежності для безрозмірних параметрів, що використовуються у створенні математичної моделі. Було складено критеріальні рівняння процесу. Застосовано графоаналітичний метод визначення степеневих коефіцієнтів.

У ході проведення досліджень було отримано критеріальні рівняння та розроблено програму, знайдено рекомендований ряд параметрів робочого режиму для відповідного низькотемпературного процесу обробки плодів вишні та черешні. Було виведено математичні алгоритми, які дозволять визначати співвідношення між основними параметрами теплообміну за умов дії означених факторів у досліджуваному процесі, а також прогнозувати перебіг конвекції у них.

Дослід 4. Оцінка якісного стану плодової продукції за використання моделей «плоского факторного поля». Оцінка параметрів якості плодової продукції за використання моделі «плоского факторного поля» проводилася на плодах модельних сортів різних строків досягання: ранній сорт черешні Valerii Chkalov, середній сорт черешні Melitopol's'ka chorna, пізній сорт черешні Krupnoplidna, а також сорт вишні Vstriecha в два етапи:

Етап 1. Оцінка динаміки зміни параметрів якості плодів черешні та вишні за результатами моделювання. На підставі даних математичного моделювання методом факторних просторів буде отримано параметри якості плодів черешні та вишні після попереднього охолодження. Було здійснено порівняльний графоаналітичний аналіз процесів охолодження досліджуваних плодів черешні та вишні.

Етап 2. Розроблення моделі зміни якісних характеристик плодів у процесі охолодження. При розробленні математичної моделі оцінки якості досліджуваних плодів черешні та вишні у процесі повільного, інтенсивного, гідроохолодження, комбінованого охолодження було використано параметри якості плодів черешні та вишні після попереднього охолодження.

Для встановлення та обґрунтування ефективного способу охолодження за потенціалом збереження якості досліджуваних плодів було використано такі показники: втрата маси, %; інтенсивність дихання, $\text{мг CO}_2/\text{кг} \cdot \text{год}$; інтенсивність тепловиділення, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{°C}$; бактерії $\times 10^3$, КУО/г; гриби $\times 10^3$, КУО/г; активність поліфенолоксидази та пероксидази, $\text{мкмоль}/\text{г}$ за хв; ФР/ПФО, ЦКІ, твердість м'якоті плодів, $\text{кг}/\text{см}^2$, вміст сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот, %; аскорбінової кислоти, фенольних речовин, мг на 100 г.

Дослід 5. Технологічні аспекти процесів виробництва цукатів з плодів черешні та вишні. У ході проведення досліджень було виготовлено цукати з свіжої сировини, а також було виготовлено продукти переробки з заморожених плодових напівфабрикатів черешні та вишні.

У ході дослідження буде розроблено способи виробництва цукатів із темнозабарвлених плодів черешні та вишні та виробництва цукатів із світлозабарвлених свіжих напівфабрикатів. Вибір модельних сортів для виробництва цукатів з свіжої сировини буде проведено на підставі варіації функціонально-технологічних параметрів та оцінки якості плодів за наступними показниками: сухі розчинні речовини, цукри, титровані кислоти, фенольні речовини, вітамін С, співвідношення маси кісточки до маси плоду, сенсорна оцінка плодів.

Предметом досліджень була плодова продукція. Плоди черешні 33 сортів трьох термінів стиглості: Sweet Early, Merchant, Biharro Burlat, Rubinova Rannia, Valerii Chkalov, Kazka, Zabuta (сорти раннього терміну досягання); Kordia, Oktavia, Vynka, Pervystok, Temp, Liubymysia Turovtseva, Talisman, Dilema, Melitopolska chorna, Orion, Chervneva Rannia, Dachnytsia, Prostir (сорти середнього терміну досягання); Karina, Regina, Mirazh, Krupnoplidna, Udivitielna, Zodiak, Surpryz, Kolhoznytsia, Kosmichna, Prazdnichna, Anons, Temporion, Meotyda (сорти пізнього терміну досягання) Обрані для дослідження сім інтродукованих сортів іноземної селекції, а також 26 сортів селекції СС імені М. Ф. Сидоренка УААН. З 33 досліджуваних сортів 29 – включені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, та є районованими для південної степової підзони України, чотири сорти мають статус перспективних сортів.

Плоди вишні 10 сортів селекції СС імені М. Ф. Сидоренка УААН трьох термінів стиглості: ранностиглий – Ozhydaniye; середньостиглі – Vstriecha, Shalunia, Siyanets Turovtsovoi, Griot Melitopolskyu, Modnytsia, Expromt; пізньостиглі – Melitopolska purpurna, Solidarnist, Ighrushka. З 10 досліджуваних сортів вишні 7 – включені до Державного реєстру

сортів рослин, придатних для поширення в Україні, та є районованими для південної степової підзони України, 3 сорти мають статус перспективних сортів.

За допомогою застосування методу багатокритеріальної оптимізації було отримано ранжувальний ряд сортів за показниками якості плодів та рекомендовано оптимальну свіжу сировину для подальшої переробки на цукати в розрізі раннього, середнього та пізнього термінів досягання плодів черешні та вишні.

Для оптимізації способу виробництва цукатів було проведено дослідження впливу властивостей осмотичного агенту на кінетику осмотичної дегідратації. Для цього було досліджено вплив різних концентрацій осмотичного агенту (30 %, 40, 50, 60 та 70 % сахарози) за різних температур (20 °C, 40, 60, 80, 100 °C) на якість цукатів. Основними експериментальними показниками були: маса плодів, масова частка цукрів, частка сухих розчинних речовин, масова частка води визначена відповідно до стандартних методик та сенсорна оцінка продуктів переробки. На основі отриманих та науково-обґрунтованих результатів було розроблено технологічні схеми процесів виробництва цукатів із свіжих темно забарвлених плодів черешні, вишні та світло забарвлених плодів черешні.

Дослідженнями було передбачене обґрунтування процесів виробництва цукатів із попередньо заморожених плодів черешні та вишні. На цьому етапі було проведено оцінку якості заморожених напівфабрикатів 33 сортів черешні трьох термінів досягання та 10 сортів вишні за величиною втрати соку, біохімічними показниками (вміст сухих розчинних речовин, цукрів, вітаміну С, титрованих кислот, фенольних речовин), сенсорною оцінкою плодів.

Оцінка параметрів якості проводилася в свіжих плодах, одразу після заморожування, через 3 та 6 місяців зберігання заморожених варіантів досліду. На підставі аналізу якості замороженої продукції було проведено обґрунтування оптимального періоду зберігання сировини для подальшого вибору модельних сортів та переробки на цукати плодів вишні і черешні.

Модельні сорти черешні в розрізі раннього, середнього та пізнього термінів досягання та вишні було обрано шляхом використання методу багатокритеріальної оптимізації із застосуванням геометричної згортки критеріїв. Було розроблено методику вибору сортів для виробництва цукатів із заморожених плодів черешні та вишні на основі критеріальних показників (величина втрати соку, сухі розчинні речовини, цукри, титровані кислоти, фенольні речовини, вітамін С, сенсорна оцінка плодів). Основними експериментальними показниками в цукатах з заморожених напівфабрикатах були: маса плодів, масова частка цукрів, частка сухих розчинних речовин, масова частка води визначена відповідно до стандартних методик та сенсорна оцінка продуктів переробки. На підставі отриманих даних у досліді 5 було представлено технологічний процес виробництва цукатів з свіжої та замороженої сировини у вигляді технологічної та структурно-апаратної схем виробництва цукатів із свіжих та заморожених плодів черешні та вишні. Для дослідження впливу властивостей осмотичного агенту на кінетику осмотичної дегідратації при виробництві цукатів із заморожених плодів було проведено науковий експеримент, в ході якого вивчено вплив різних концентрацій осмотичного агенту за різних температур.

Формування необхідної експериментальної бази характеристик плодів черешні та вишні та обґрунтування технології виробництва цукатів із свіжої та замороженої сировини проводили шляхом математичного моделювання при використанні методів головних компонент, LASSO, глобальної та багатокритеріальної оптимізації, теорії розмірностей, факторних просторів; сенсорної, соціальної та техніко-економічної оцінки.

Завершальним етапом була практична реалізація результатів досліджень та їх економіко-соціальне обґрунтування. Проведено впровадження розробленої технології зберігання плодів за обробки органічною композицією у виробництво (2020–2025 рр.) і визначено економічний та соціальний ефекти від її впровадження.

Для забезпечення достовірності, об'єктивності, відтворюваності і надійності результатів експерименту було використано методи математичної статистики, зокрема дисперсійний (ANOVA) і кореляційно-регресійний аналізи. Розрахунок основних

статистичних величин експерименту було виконано за допомогою програмного забезпечення Statistica (версія 10.0) та Excel. Дані спочатку перевіряли на нормальність та однорідність дисперсії за допомогою критеріїв Шапіро-Вілکا та Левена відповідно. Середні значення та стандартні відхилення було розраховано для усіх рядів даних (змінних). Рівень значущості було встановлено на $p < 0,05$.

У третьому розділі «Математичне моделювання функціонально-технологічних і якісних показників плодів черешні та вишні» розроблено методику математичного моделювання залежності біохімічних та товарних показників якості плодів черешні та вишні від комплексу абіотичних чинників із застосуванням методу головних компонент та «LASSO». Побудовані математичні моделі кількісно описують вплив кліматичних умов на акумуляцію сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот, вітаміну С, фенольних речовин та ключових показників технологічної якості сировини в плодах черешні та вишні.

Установлено достовірні кореляційні залежності ($|r| \geq 0,55$) між 17–19 погодними факторами та вмістом сухих розчинних речовин у плодах черешні й вишні різних термінів досягання. Побудовані математичні моделі кількісно описують вплив кліматичних умов на акумуляцію сухих розчинних речовин як ключового показника технологічної якості сировини (табл. 1). Найбільший вплив мають температурні та вологісні показники (питома частка $\geq 9,5\%$). Виявлено фазову специфіку дії метеофакторів: для черешні критичним є останній місяць формування плодів, для вишні – період від кінця цвітіння до досягання. Отримані моделі придатні до інтеграції в системи прогнозування якості врожаю та оптимізації технологічних процесів у харчових виробництвах.

Таблиця 1

Регресійні моделі залежності показника сухих розчинних речовин від погодних факторів у стандартизованій формі ($\tilde{x}_i$) для плодів черешні раннього, середнього, пізнього термінів досягання та вишні

Група плодів	Регресійна модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
Сорти черешні раннього терміну досягання	$\hat{Y} = 11,9533 + 0,30626\tilde{x}_1 + 0,1346\tilde{x}_3 + 0,37\tilde{x}_4 + 0,05\tilde{x}_5 + 0,34\tilde{x}_7 + 0,34\tilde{x}_8 + 0,12\tilde{x}_{10} - 0,02\tilde{x}_{12} + 0,09\tilde{x}_{14} - 0,38\tilde{x}_{15} - 0,03\tilde{x}_{16} + 0,11\tilde{x}_{18} + 0,01\tilde{x}_{19} - 0,03\tilde{x}_{21} - 0,02\tilde{x}_{22} - 0,35\tilde{x}_{15} - 0,21\tilde{x}_{24} - 0,22\tilde{x}_{25}$	0,90
Сорти черешні середнього терміну досягання	$\hat{Y}_2 = 12,85 + 0,24\tilde{x}_1 + 0,18\tilde{x}_3 + 0,02\tilde{x}_4 + 0,24\tilde{x}_5 + 0,15\tilde{x}_7 + 0,26\tilde{x}_8 + 0,26\tilde{x}_{10} + 0,08\tilde{x}_{12} - 0,02\tilde{x}_{14} + 0,03\tilde{x}_{15} + 0,07\tilde{x}_{16} - 0,61\tilde{x}_{18} - 0,03\tilde{x}_{19} - 0,01\tilde{x}_{21} - 0,39\tilde{x}_{22} + 0,09\tilde{x}_{15} - 0,19\tilde{x}_{24} - 0,19\tilde{x}_{25}$	0,82
Сорти черешні пізнього терміну досягання	$\hat{Y}_3 = 13,11 + 0,06\tilde{x}_1 + 0,31\tilde{x}_2 + 0,08\tilde{x}_3 + 0,18\tilde{x}_6 - 0,05\tilde{x}_7 + 0,09\tilde{x}_8 + 0,32\tilde{x}_9 + 0,08\tilde{x}_{10} - 0,25\tilde{x}_{11} + 0,14\tilde{x}_{13} + 0,13\tilde{x}_{17} - 0,03\tilde{x}_{18} - 0,23\tilde{x}_{20} - 0,29\tilde{x}_{23} - 0,39\tilde{x}_{22} + 0,09\tilde{x}_{15} - 0,22\tilde{x}_{24} - 0,25\tilde{x}_{25}$	0,79
Сорти вишні	$\hat{Y}_1 = 0,05\tilde{x}_1 + 0,21\tilde{x}_2 - 0,08\tilde{x}_3 + 0,34\tilde{x}_4 + 0,25\tilde{x}_5 - 0,12\tilde{x}_6 + 0,23\tilde{x}_7 - 0,08\tilde{x}_8 + 0,04\tilde{x}_9 - 0,15\tilde{x}_{10} + 0,11\tilde{x}_{11} - 0,11\tilde{x}_{12} + 0,24\tilde{x}_{13} + 0,29\tilde{x}_{14} + 0,01\tilde{x}_{15} + 0,24\tilde{x}_{16} + 0,27\tilde{x}_{17} + 0,35\tilde{x}_{18} + 0,33\tilde{x}_{19}$	0,91

Встановлено високу чутливість процесів накопичення цукрів у плодах черешні й вишні різних термінів досягання до комплексу метеорологічних чинників. Побудовані регресійні моделі методом головних компонент (табл. 2) забезпечили кількісну оцінку впливу 14–19 погодних параметрів, з переважним значенням температури та вологості ($\Delta i = 9,5\text{--}30,99\%$). Визначено фазову специфіку впливу: для черешні – цвітіння, завершальне дозрівання і збирання; для вишні – погодні умови червня.

Науково обґрунтовано вплив погодних факторів на біосинтез титрованих кислот і формування цукрово-кислотного індексу у плодах черешні та вишні. За результатами кореляційно-регресійного аналізу побудовано математичні моделі залежності вмісту кислот від комплексу погодних факторів (11 – для черешні, 19 – для вишні), із застосуванням методів головних компонент (табл. 3). Моделі дозволяють прогнозувати вміст титрованих кислот та смакових якостей сировини за метеоумовами, що відповідає завданням інтелектуалізації

процесів у харчовій галузі. Визначено домінантні фактори впливу: для черешні – сума опадів травня (до 34,06 % варіації), для вишні – кількість днів з опадами в червні ($\Delta = 18,62$ %). Встановлено оптимальні технологічні межі титрованих кислот (0,53–1,00 %) і цукрово-кислотного індексу, а також ідентифіковано сорт черешні Solidarnist' як найбільш придатний для виробництва харчового продукту.

Таблиця 2

Регресійні моделі залежності показника цукрів від погодних факторів у стандартизованій формі ($\tilde{x}_i$) для плодів черешні раннього, середнього, пізнього термінів досягання та вишні

Група плодів	Регресійна модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
Сорти черешні раннього терміну досягання	$\hat{Y}_1 = 11,95 - 0,28\tilde{x}_1 - 0,002\tilde{x}_2 + 0,36\tilde{x}_3 + 0,09\tilde{x}_4 - 0,52\tilde{x}_5 + 0,15\tilde{x}_6 + 0,29\tilde{x}_7 + 0,29\tilde{x}_8 + 0,12\tilde{x}_9 + 0,28\tilde{x}_{10} + 0,03\tilde{x}_{11} + 0,01\tilde{x}_{12} - 0,11\tilde{x}_{13} - 0,06\tilde{x}_{14}$	0,92
Сорти черешні середнього терміну досягання	$\hat{Y}_2 = 12,85 - 0,25\tilde{x}_1 - 0,01\tilde{x}_2 + 0,29\tilde{x}_3 + 0,13\tilde{x}_4 - 0,36\tilde{x}_5 + 0,17\tilde{x}_6 + 0,25\tilde{x}_7 + 0,25\tilde{x}_8 + 0,19\tilde{x}_9 + 0,29\tilde{x}_{10} + 0,11\tilde{x}_{11} + 0,006\tilde{x}_{12} - 0,13\tilde{x}_{13} - 0,09\tilde{x}_{14}$	0,81
Сорти черешні пізнього терміну досягання	$\hat{Y}_3 = 13,11 - 0,40\tilde{x}_1 - 0,03\tilde{x}_2 + 0,12\tilde{x}_3 + 0,64\tilde{x}_4 - 0,06\tilde{x}_5 + 0,14\tilde{x}_6 + 0,09\tilde{x}_7 - 0,001\tilde{x}_8 + 0,19\tilde{x}_9 + 0,44\tilde{x}_{10} - 0,05\tilde{x}_{11} - 0,41\tilde{x}_{12} - 0,21\tilde{x}_{13} - 0,23\tilde{x}_{14}$	0,85
Сорти вишні	$\hat{Y}_1 = 0,19\tilde{x}_1 - 0,22\tilde{x}_2 + 0,29\tilde{x}_3 - 0,15\tilde{x}_4 - 0,18\tilde{x}_5 + 0,27\tilde{x}_6 - 0,24\tilde{x}_7 + 0,28\tilde{x}_8 + 0,21\tilde{x}_9 + 0,18\tilde{x}_{10} + 0,25\tilde{x}_{11} + 0,27\tilde{x}_{12} - 0,19\tilde{x}_{13} + 0,15\tilde{x}_{14} + 0,21\tilde{x}_{15} - 0,23\tilde{x}_{16} - 0,25\tilde{x}_{17} - 0,18\tilde{x}_{18} - 0,21\tilde{x}_{19}$	0,86

Таблиця 3

Регресійні моделі залежності показника титрованих кислот від погодних факторів у стандартизованій формі ($\tilde{x}_i$) для плодів черешні раннього, середнього, пізнього термінів досягання та вишні

Група плодів	Регресійна модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
Сорти черешні раннього терміну досягання	$\hat{Y}_1 = 0,63\tilde{x}_1 + 0,18\tilde{x}_2 + 0,26\tilde{x}_3 + 0,13\tilde{x}_4 + 0,49\tilde{x}_5 - 0,18\tilde{x}_6 - 0,05\tilde{x}_7 + 0,19\tilde{x}_8 + 0,06\tilde{x}_9 + 0,27\tilde{x}_{10} + 0,13\tilde{x}_{11}$	0,90
Сорти черешні середнього терміну досягання	$\hat{Y}_2 = 0,49\tilde{x}_1 + 0,31\tilde{x}_2 + 0,34\tilde{x}_3 - 0,04\tilde{x}_4 + 0,34\tilde{x}_5 - 0,19\tilde{x}_6 + 0,07\tilde{x}_7 + 0,23\tilde{x}_8 - 0,23\tilde{x}_9 + 0,35\tilde{x}_{10} + 0,30\tilde{x}_{11}$	0,87
Сорти черешні пізнього терміну досягання	$\hat{Y}_3 = 0,45\tilde{x}_1 + 0,12\tilde{x}_2 + 0,22\tilde{x}_3 + 0,29\tilde{x}_4 + 0,43\tilde{x}_5 - 0,26\tilde{x}_6 - 0,27\tilde{x}_7 + 0,09\tilde{x}_8 + 0,06\tilde{x}_9 + 0,18\tilde{x}_{10} + 0,05\tilde{x}_{11}$	0,88
Сорти вишні	$\hat{Y}_1 = 0,35\tilde{x}_1 + 0,25\tilde{x}_2 + 0,34\tilde{x}_3 - 0,27\tilde{x}_4 + 0,36\tilde{x}_5 + 0,35\tilde{x}_6 + 0,38\tilde{x}_7$	0,81

Встановлено домінуючий вплив погодних умов і сортових особливостей на біосинтез аскорбінової кислоти у плодах черешні та вишні різних термінів досягання. Побудовано математичні моделі залежності вмісту вітаміну С від комплексу погодних чинників із застосуванням методів головних компонент і *ridge*-регресії (табл. 4). Моделі забезпечують кількісну оцінку впливу 7–11 метеопараметрів, з виявленням провідних факторів: середньомісячної суми опадів травня ($\Delta X_1 = 30,64$ % – черешня; 37,11 % – вишня) та параметрів вологості (до 6 чинників – вишня). Дисперсійний аналіз підтвердив переважну роль погодних чинників (до 80,2 %) у формуванні вітамінного профілю плодів.

Ідентифіковано сорти з високим та стабільним вмістом вітаміну С, рекомендовані для охолодження, зберігання й виробництва готового продукту.

Таблиця 4

**Регресійні моделі залежності показника вітамін С
від погодних факторів в стандартизованій формі ($\tilde{x}_i$) для плодів черешні раннього,
середнього, пізнього термінів досягання та вишні (нормований вигляд)**

Група плодів	Регресійна модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
Сорти черешні раннього терміну досягання	$\hat{Y}_1 = 7,11 - 0,53\tilde{x}_1 - 0,13\tilde{x}_2 - 0,21\tilde{x}_3 - 0,07\tilde{x}_4 - 0,23\tilde{x}_5 - 0,28\tilde{x}_6 - 0,38\tilde{x}_7 - 0,06\tilde{x}_8 - 0,02\tilde{x}_9 - 0,23\tilde{x}_{10} - 0,18\tilde{x}_{11} - 0,1\tilde{x}_{12}$	0,90
Сорти черешні середнього терміну досягання	$\hat{Y}_2 = 8,91 - 0,42\tilde{x}_1 - 0,17\tilde{x}_2 - 0,23\tilde{x}_3 - 0,08\tilde{x}_4 - 0,17\tilde{x}_5 - 0,26\tilde{x}_6 - 0,32\tilde{x}_7 - 0,13\tilde{x}_8 + 0,06\tilde{x}_9 - 0,18\tilde{x}_{10} - 0,09\tilde{x}_{11} - 0,06\tilde{x}_{12}$	0,72
Сорти черешні пізнього терміну досягання	$\hat{Y}_3 = 8,49 - 0,36\tilde{x}_1 - 0,44\tilde{x}_2 - 0,48\tilde{x}_3 + 0,07\tilde{x}_4 - 0,31\tilde{x}_5 - 0,12\tilde{x}_6 - 0,17\tilde{x}_7 + 0,48\tilde{x}_8 + 0,15\tilde{x}_9 + 0,004\tilde{x}_{10} + 0,38\tilde{x}_{11} + 0,071\tilde{x}_{12}$	0,70
Сорти вишні	$\hat{Y}_1 = 0,013\tilde{x}_1 + 0,009\tilde{x}_2 + 0,001\tilde{x}_3 + 0,0004\tilde{x}_4 - 0,004\tilde{x}_5 + 0,01\tilde{x}_6 + 0,0006\tilde{x}_7$	0,70

Проведене моделювання підтвердило визначальний вплив сортових ознак і погодних чинників на варіацію вмісту фенольних сполук у плодах черешні та вишні. Побудовані регресійні моделі методом *ridge*-регресії дозволили кількісно оцінити вплив погодних факторів, серед яких провідну роль відіграє вологість, зокрема сума опадів останнього місяця формування плодів ($\Delta X = 35\text{--}69\%$). Встановлено сорти з максимальним (Kazka, Siyanets Turovtsovoi) та стабільним (Merchant, Biharro Burlat, Ighrushka) вмістом фенольних речовин (табл. 5). Розроблені моделі є основою для прогнозування фенольного профілю плодів, оптимізації сортового добору та керування технологічною якістю сировини у харчовій промисловості.

Таблиця 5

**Регресійні моделі залежності показника фенольних речовин
від погодних факторів для плодів черешні раннього, середнього,
пізнього термінів досягання та вишні**

Група плодів	Регресійна модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
Сорти черешні раннього терміну досягання	$\hat{Y}_1 = 82,87 + 0,61\tilde{x}_1 + 0,14\tilde{x}_2 + 0,07\tilde{x}_4 + 2,65\tilde{x}_6 + 0,61\tilde{x}_7 + 1,94\tilde{x}_8 + 0,03\tilde{x}_{10}$	0,79
Сорти черешні середнього терміну досягання	$\hat{Y}_2 = 69,75 + 0,41\tilde{x}_1 - 0,65\tilde{x}_2 - 0,35\tilde{x}_4 + 2,14\tilde{x}_6 + 0,01\tilde{x}_{10} + 0,07\tilde{x}_{11} + 0,07\tilde{x}_{12} + 5,88\tilde{x}_{13}$	0,72
Сорти черешні пізнього терміну досягання	$\hat{Y}_3 = 154,05 + 0,67\tilde{x}_1 - 0,34\tilde{x}_3 + 0,24\tilde{x}_5 + 1,91\tilde{x}_7 + 0,56\tilde{x}_9 + 0,01\tilde{x}_{11} + 2,26\tilde{x}_{12} + 0,08\tilde{x}_{13}$	0,79
Сорти вишні	$\hat{Y}_1 = 0,11\tilde{x}_1 + 0,22\tilde{x}_2 + 0,03\tilde{x}_3 + 0,02\tilde{x}_4 - 0,11\tilde{x}_5 + 0,16\tilde{x}_6 + 0,02\tilde{x}_7$	0,79

Математичне моделювання підтвердило провідний вплив кліматичних чинників і сортових особливостей на формування маси плодів і кісточки черешні та вишні (табл. 6, 7).

Таблиця 6

**Регресійні моделі залежності маси плоду
від погодних факторів для плодів черешні раннього, середнього,
пізнього термінів досягання та вишні**

Група плодів	Регресійна модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
Сорти черешні раннього терміну досягання	$\hat{Y}_1 = 0,032455X_1 - 0,02735X_3 + 0,6597X_5 + 0,7736X_8 - 0,5087X_9 + 0,6691X_{10} + 0,7213X_{12}$	0,88
Сорти черешні середнього терміну досягання	$\hat{Y}_2 = 0,00141X_2 - 0,0000698X_4 - 8,4341 \cdot 10^{-5}X_6 + 1,3633 \cdot 10^{-4}X_7 + 1,9166 \cdot 10^{-3}X_{10} + 8,7028 \cdot 10^{-3}X_{11} + 2,2799 \cdot 10^{-3}X_{12}$	0,87
Сорти черешні пізнього терміну досягання	$\hat{Y}_3 = 0,00192X_2 - 1,7666 \cdot 10^{-3}X_4 - 5,1931 \cdot 10^{-3}X_6 + 6,3535 \cdot 10^{-3}X_{10} + 2,5183 \cdot 10^{-5}X_{11} + 4,7780 \cdot 10^{-3}X_{12}$	0,75
Сорти вишні	$\hat{Y}_1 = 2,41 \cdot 10^{-2}X_1 + 0,32 \cdot 10^{-2}X_2 - 0,14 \cdot 10^{-2}X_3 + 0,56 \cdot 10^{-2}X_4 - 3,05 \cdot 10^{-2}X_5$	0,94

Таблиця 7

**Регресійні моделі залежності показника маси кісточки
від погодних факторів для плодів черешні раннього, середнього,
пізнього термінів досягання та вишні**

Група плодів	Регресійна модель	Коефіцієнт детермінації, R^2
Сорти черешні раннього терміну досягання	$\hat{Z}^1 = 9,8473 \cdot 10^{-4}X^1 + 2,7925 \cdot 10^{-4}X^4 + 1,4253 \cdot 10^{-5}X^6 + 5,63382 \cdot 10^{-5}X^{14} + 5,4247 \cdot 10^{-5}X^{20}$	0,92
Сорти черешні середнього терміну досягання	$\hat{Z}^2 = 3,7073 \cdot 10^{-4}X_1 + 1,2553 \cdot 10^{-3}X_2 - 1,2780 \cdot 10^{-5}X_3 + 1,2107 \cdot 10^{-4}X_4 + 2,5821 \cdot 10^{-5}X_5 + 2,0657 \cdot 10^{-5}X_6 + 1,4705 \cdot 10^{-4}X_7 - 6,6863 \cdot 10^{-8}X_{17} + 1,5693 \cdot 10^{-4}X_9$	0,92
Сорти черешні пізнього терміну досягання	$\hat{Z}^3 = 0,00038X_1 + 0,00128X_2 + 0,003198X_3 - 0,0024X_4 + 0,0032X_5 - 0,00047X_6 + 0,0085X_7 - 0,0059X_8 - 0,00029X_9$	0,90
Сорти вишні	$\hat{Y}^2 = 3,15 \cdot 10^{-4}X_1 + 1,60 \cdot 10^{-4}X_2 - 1,83 \cdot 10^{-5}X_3 - 8,48 \cdot 10^{-5}X_4 - 8,24 \cdot 10^{-4}X_5$	0,78

Побудовані регресійні моделі виявили домінування погодних факторів у варіації маси плодів (до 52 %) і сортового чинника – у формуванні маси кісточки (до 61 %).

Найвищу сенсорну оцінку (9,0) отримали сорти черешні Kazka, Vynka та Krupnoplidna; серед вишні – Griot Melitopolskyu і Modnytsia (8,7 бала). На основі класифікації плодів черешні трьох термінів досягання та плодів вишні за комерційними ознаками встановлено закономірність: зі зростанням строку досягання підвищується частка плодів I класу (до 93,0 % – сорт Anons). Ідентифіковано сорти з мінімальним відсотком нестандартної продукції (Kazka, Temp, Anons) і з максимальним виходом продукції I класу (Solidarnist).

Проведене в даному розділі моделювання дозволяє прогнозувати доцільність напрямів використання сировини – для охолодження та транспортування, споживання у свіжому вигляді або виробництва харчового продукту – та є інструментом оптимізації післязбиральних технологічних процесів у харчовій промисловості.

У четвертому розділі «Експериментальна оцінка параметрів процесів холодильної обробки та зберігання плодів черешні та вишні» на основі багатофакторного моделювання та експериментальних досліджень встановлено оптимальні умови гідроохолодження

з використанням захисних композицій на основі молочної та оцтової кислот для подовження терміну зберігання черешні та вишні. Згідно даних рис. 4 для плодів черешні сорту Valerii Chkalov оптимальне значення середньодобових втрат маси (0,0642 %) досягнуто при концентраціях органічних кислот $x_1 = 2,161$ % (молочна) та $x_2 = 1,705$ % (оцтова).

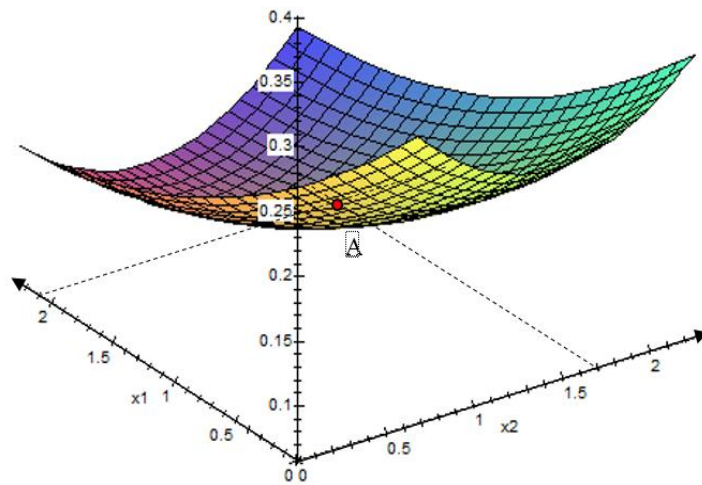


Рис. 4. Поверхня відгуку залежності рівня середніх щодобових втрат плодів вишні у від концентрацій молочної кислоти x_1 та оцтової кислоти x_2

Для плодів вишні сорту Vstriecha оптимальне значення середньодобових втрат (0,106 %) забезпечено при $x_1 = 2,217$ % та $x_2 = 1,966$ % (рис. 5).

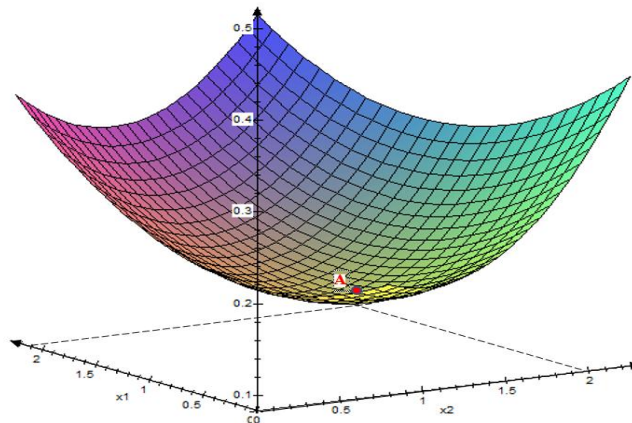


Рис. 5. Поверхня відгуку залежності рівня середніх щодобових втрат плодів черешні у від концентрацій молочної кислоти x_1 та оцтової кислоти x_2 .

Адекватність регресійних моделей підтверджена високими коефіцієнтами детермінації, що свідчить про достовірність впливу досліджуваних чинників на рівень втрат (табл. 8).

Таблиця 8

Результати оптимізації концентрацій діючих речовин у органічних композиціях

Вид плоду	Обмеження оптимізації	Модель оптимізації	Координати точки оптимуму	ЩВ _{опт} , %
Плоди черешні	$[0,00; 2,25] \times [0,00; 2,25]$	$\hat{y} = 0,3935 - 0,2023x_1 - 0,1299x_2 + 0,0445x_1^2 + 0,0344x_2^2 + 0,0058x_1x_2$	$\{x_1 = 1,705 \text{ %}; x_2 = 2,161 \text{ %}\}$	0,0642
Плоди вишні	$[0,00; 2,25] \times [0,00; 2,25]$	$\hat{y} = 0,5154 - 0,2079x_1 - 0,2033x_2 + 0,0606x_1^2 + 0,0679x_2^2 - 0,0281x_1x_2$	$\{x_1 = 1,966 \text{ %}; x_2 = 2,217 \text{ %}\}$	0,1064

Застосування цих оптимізованих режимів сприяє зниженню природних втрат від мікробіологічних захворювань і фізіологічних розладів (до 1,01 % для черешні та 2,27 % для вишні) та масових втрат плодів (до 1,68–1,99 %).

Аналітичні та експериментальні дослідження підтвердили ефективність розробленого комбінованого способу попереднього охолодження плодів черешні, що забезпечує їх збереження протягом 40 діб з виходом стандартної продукції на рівні 98 %. Запропонована технологія сприяє максимальному збереженню товарних властивостей і біологічної цінності продукції та є перспективною для впровадження у промислове зберігання черешні в Україні й за кордоном.

Дослідження впливу способів попереднього охолодження на збереження плодів черешні та вишні показали, що комбінований метод є найбільш технологічно ефективним. Згідно даних рис. 6 він забезпечує мінімальні втрати маси плодів (у 11,3–22,9 раза менші порівняно з пасивним та інтенсивним повітряними способами відповідно), високий рівень збереження якості та суттєве обмеження розвитку епіфітної мікрофлори.

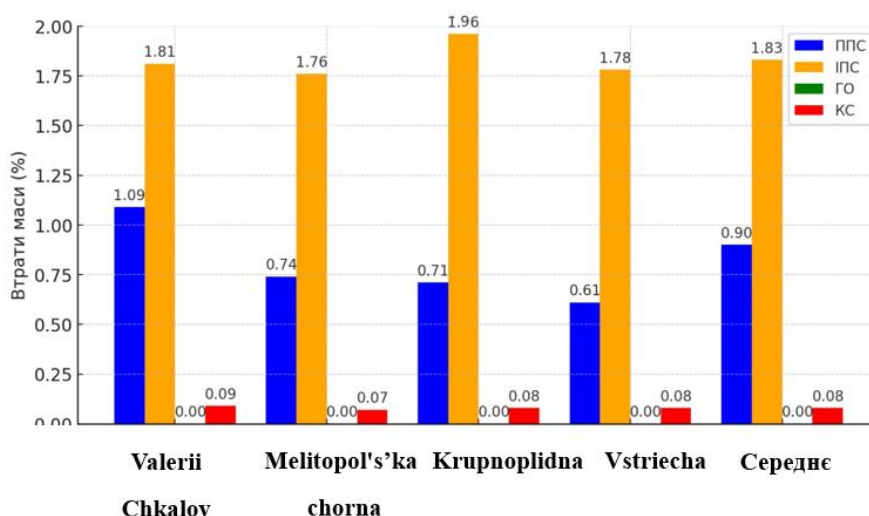


Рис. 6. Втрати маси плодів під час попереднього охолодження різними способами (після зберігання протягом 30 діб)

Гідроохолодження демонструє найшвидше зниження температури плодів і мінімальні втрати маси, проте створює умови для розвитку фітопатогенної мікрофлори (рис. 7).

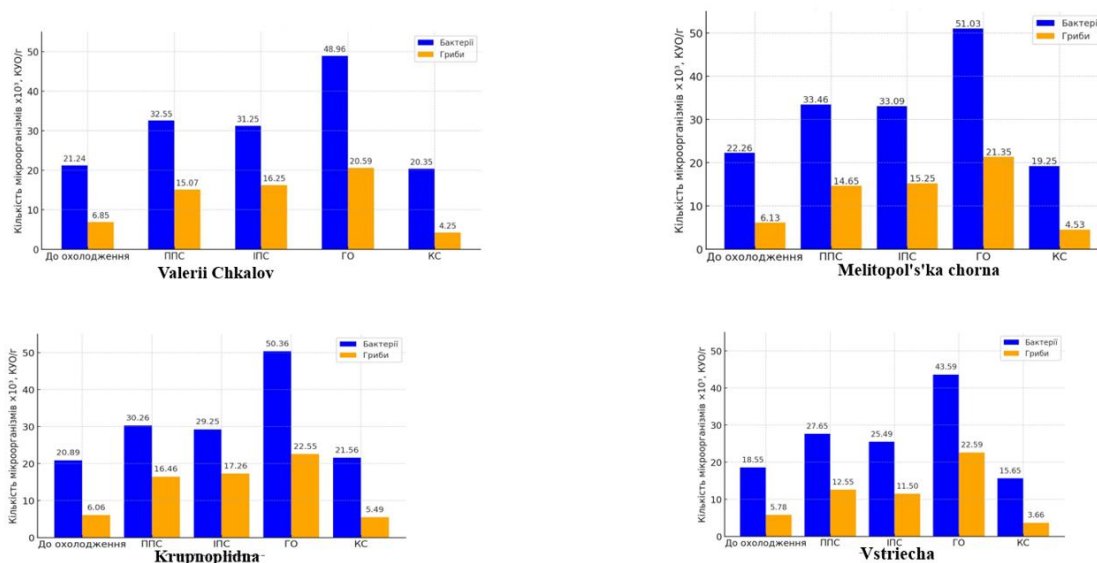


Рис. 8. Кількісний склад епіфітної мікрофлори на поверхні плодів залежно від способу попереднього охолодження (30 діб зберігання)

Повітряні способи поступаються за технологічними показниками через вищі втрати маси та меншу стабілізацію дихальної активності. Застосування комбінованого способу охолодження доцільне для оптимізації зберігання та транспортування плодів черешні й вишні, що є важливим чинником підвищення ефективності холодильного ланцюга й економічності результативності плодоовочевої галузі. Розроблений спосіб охолодження та зберігання плодів забезпечує збереження товарної якості плодів зі збереженням їх характерного забарвлення, смаку та текстури. Це підтверджує доцільність комбінованого способу обробки плодів для впровадження у промислову післязбиральну обробку кісточкових культур з метою підвищення їх ринкової цінності.

У п'ятому розділі «Фізико-математичне моделювання процесу охолодження плодів черешні та вишні» отримано критеріальні рівняння досліджуваних процесів охолодження (табл. 9) при застосуванні 2 теореми подібності Федермана-Букінгема та теорії «розмірностей». На основі складеної матриці розмірностей шукане рівняння теплопередачі можна представити як функцію у вигляді степеневого ряду:

$$\alpha = f(\rho, v, \tau_m, a, l, \nu, \lambda) = \tau^x \cdot \nu^n \cdot \rho^e \cdot v^i \cdot \lambda^j \cdot l^d \cdot a^z$$

де ρ – щільність продукції; μ та ν – коефіцієнти динамічної та кінематичної в'язкості технологічного середовища; λ та α – коефіцієнти теплопровідності та конвективного теплообміну; τ_m – технологічний час обробки; ℓ – визначаючий геометричний розмір плодів; v – швидкість потоку холодоносія.

Таблиця 9

Параметри якості плодів черешні та вишні після попереднього охолодження

№ з/П	Процес охолодження	Коефіцієнт теплообміну процесу охолодження	Критерії подібності	
			Re	Fo _m
Сорти черешні «Valerii Chkalov», «Melitopolska chorna», «Krupnoplidna»				
1	Повільне охолодження	$\alpha_1 = 0,3\lambda/\ell \cdot Re^{0,202}Fo^{1,009}$	738,5	3,777
2	Інтенсивне охолодження	$\alpha_1 = 7,74\lambda/\ell \cdot Re^{0,496}Fo^{1,021}$	4431	1,484
3	Гідроохолодження	$\alpha_1 = 4,66\lambda/\ell \cdot Re^{0,686}Fo^{0,824}$	730,14	0,33
4	Комбіноване охолодження	$\alpha_1 = 4,62\lambda/\ell \cdot Re^{0,29}Fo^{0,809}$	8060,6	0,315
Сорт вишні «Vstriecha»				
1	Повільне охолодження	$\alpha_2 = 5,5\lambda/\ell \cdot R^{0,442}Fo^{0,529}$	629,3	3,039
2	Інтенсивне охолодження	$\alpha_2 = 7,54\lambda/\ell \cdot Re^{0,436}Fo^{0,385}$	3775,9	1,53
3	Гідроохолодження	$\alpha_2 = 8,93\lambda/\ell \cdot Re^{0,441}Fo^{0,095}$	622,2	0,302
4	Комбіноване охолодження	$\alpha_2 = 2,74\lambda/\ell \cdot Re^{0,446}Fo^{0,68}$	6868,7	0,378

На основі експериментальних досліджень основних параметрів процесів низькотемпературної обробки плодів вишні та черешні було складено критеріальні рівняння при використанні критеріїв Рейнольдса, Фур'є, Нуссельта; використовуючи які та відповідну розрахункову програму виникає можливість сформулювати рекомендований ряд параметрів робочого режиму для процесів повільного, інтенсивного, гідродинамічного та комбінованого охолодження; забезпечити ефективний перебіг конвективного теплообміну за контрольованої зміни досліджуваних характеристик.

Критерій Рейнольдса Re для досліджуваних процесів охолодження при обробці як сортів черешні, так і вишні очікувано набуває максимальної величини для комбінованого охолодження, а мінімальної – для гідроохолодження, що можна пояснити інтенсифікацією руху холодоносія для комбінованого охолодження та відповідно підвищенням теплообміну через конвекцію. Комбіноване охолодження характеризується помірною величиною теплопередачі теплопровідністю, враховуючи використання рідинного холодоносія; при цьому рух енергоносія вже потрапляє у перехідну зону, що підвищує ймовірність нестационарних процесів.

Критерій Фур'є набуває максимальної величини для повільного охолодження через явно визначений ламінарний режим руху холодоносія; а також мінімальної – для комбінованого та гідроохолодження, що можна пояснити мінімізацією пульсацій в умовах

рідинного холодоносія. Співвідношення означених факторів для досліджуваних процесів охолодження плодів вишні та черешні визначалося достатньо низькими величинами.

Коефіцієнт теплопередачі для досліджуваних процесів очікувано становив максимальну величину за комбінованого охолодження, а мінімальну – для повільного при обробці всіх плодів. За даним показником паритетом характеризуються процеси інтенсивного охолодження через більший коефіцієнт конвекції та процеси гідроохолодження через більший коефіцієнт теплопровідності. Коефіцієнт теплопередачі α у процесі обробки вишні перевищив даний параметр для черешні за рахунок складової Re^n , хоча величина $Fo^{(n+i+\xi)}$ виявилася меншою, тому внесок першої складової у величині α є значно більшим.

Порівнюючи досліджувані процеси охолодження для різновидів сортів використаних плодів, спостерігалось більше на 15 % числа Рейнольдса при обробці черешні, що можна пояснити підвищенням частки теплопередачі конвекцією. Число Фур'є виявилось максимальним при обробці черешні повільним охолодженням та мінімальним – при обробці вишні гідроохолодженням. Проте за комбінованого охолодження для вишні представлений критерій оцінки спостерігався вищим, ніж для черешні.

У шостому розділі «Оцінка параметрів якості плодової продукції за використання моделі «плоского факторного поля» на основі отриманої експериментальної бази якісних характеристик плодів черешні та вишні після їх попереднього охолодження та реалізації досліджуваних процесів низькотемпературної обробки, а також нормативних даних було складено математичні моделі якості досліджуваних зразків черешні та вишні за негативними і позитивними параметрами перед, через 30 діб зберігання для процесів повільного, інтенсивного, гідро та комбінованого способів охолодження. Зокрема, на рис. 9 представлено зміну параметрів якості плодів черешні та вишні після повільного охолодження та 30 діб зберігання, що ілюструє істотне погіршення якісних характеристик продукції порівняно із нормативними.

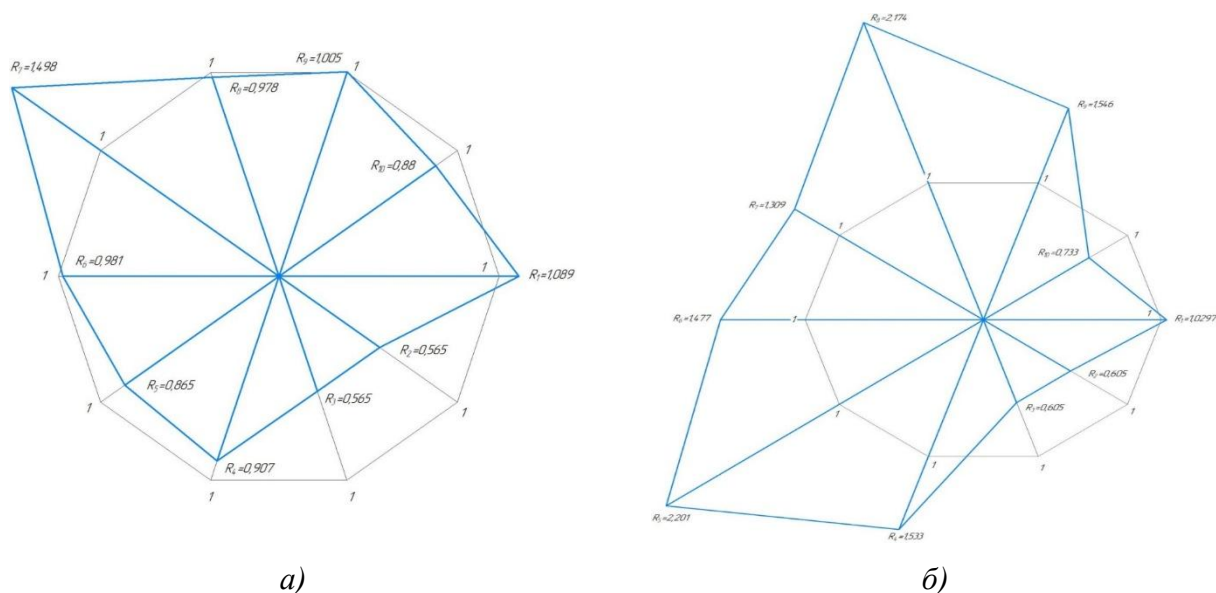


Рис. 9. Математичні моделі якісного стану зразка черешні «Валерій Чкалов» за 10 негативними параметрами R_i після досліджуваного процесу повільного охолодження (а) та 30 діб зберігання (б)

Оцінку якості досліджуваних плодів проводили математичним моделюванням методом «факторних площ» за допомогою таких критеріїв оцінки як коефіцієнти зростання $k_{яз}$ та спадання якості, коефіцієнт відповідності нормативам якості $k_{вн}$, питомі коефіцієнти зростання $\phi_{яз}$ та спадання якості $\phi_{яс}$, які дозволяють провести ефективний порівняльний аналіз основних характеристик плодів з нормативними, прогнозувати зміну якісних характеристик у процесі зберігання та перспективність досліджуваних сортів черешні та вишні.

Загальна тенденція до зменшення коефіцієнту відповідності нормативам якості $k_{вн}$ також зберігається від повільного до комбінованого охолодження при обробці всіх досліджуваних сортів; зростання даного коефіцієнту у процесі інтенсивного охолодження спостерігається при охолодженні лише всіх плодів черешні.

Зменшення коефіцієнту відповідності нормативам якості $k_{вн}$ у системі зберігання протягом 30 діб прослідковується для процесів повільного та комбінованого охолодження при обробці всіх сортів черешні та вишні; для сортів черешні «Kрупноплідна» та «Melitopol's'ka chorna» має місце стабілізація величини даного параметру, а для сорту вишні «Vstriecha» спостерігається стабільне зменшення даного параметру для досліджуваних процесів обробки.

Сталість зміни коефіцієнтів зростання якості $k_{яз}$ та $\varphi_{яз}$ для досліджуваних процесів охолодження прослідковується при обробці всіх досліджуваних сортів черешні та вишні. Прослідковується тенденція до зростання якості на всіх процесах, окрім інтенсивного охолодження, особливо для сортів черешні. Виключення складає перебіг процесів обробки сорту вишні «Vstriecha», для яких має стабільна тенденція зростання по мірі ускладнення технології охолодження.

Стрімке спадання питомого коефіцієнту зростання якості $\varphi_{яз}$ після 30 діб зберігання повторюються для всіх досліджуваних процесів охолодження при обробці всіх розглянутих сортів черешні та вишні; коефіцієнт зростання якості $k_{яз}$ стабільно збільшується на 32–35 %, що показує тенденцію до підвищення потенціалу для досліджуваних процесів охолодження досліджуваних сортів. При цьому зміни коефіцієнту спадання якості $\varphi_{яс}$ після 30 діб зберігання залишаються практично сталими для всіх процесів обробки досліджуваних плодів; лише незначна зміна нижнього екстремума мало місце для процесів інтенсивного охолодження та гідроохолодження.

Найкращі характеристики виявилися для сорту черешні Melitopol's'ka chorna за показниками зростання площ негативних параметрів після 30 діб зберігання у межах $S_n = 1,03\text{--}2,19$ та коефіцієнту відповідності нормативам якості $k_{вн} = 0,44\text{--}0,83$ одразу після обробки та $k_{вн} = 0,46\text{--}1,29$ після 30 діб зберігання; а також для вишні Vstriecha за показником зменшення площі позитивних параметрів $S_n = 1,274\text{--}2,136$ після 30 діб зберігання для досліджуваних процесів низькотемпературної обробки від повільного до комбінованого охолодження.

За результатами оцінки якісних властивостей досліджуваних плодів найгірші характеристики виявилися для сорту черешні Kрупноплідна за показниками зростання площ негативних параметрів після 30 діб зберігання у межах $S_n = 1,66\text{--}2,7$ та коефіцієнту відповідності нормативам якості $k_{вн} = 0,2\text{--}0,76$ одразу після обробки та $k_{вн} = 0,46\text{--}1,68$ після 30 діб зберігання; а також для вишні Valerii Chkalov за показником зменшення площі позитивних параметрів $S_n = 1,236\text{--}2,07$ після 30 діб зберігання для досліджуваних процесів охолодження.

У цьому розділі «Технологічні аспекти процесу виробництва цукатів із плодів черешні та вишні» науково обґрунтовано вибір сорту свіжої та замороженої фруктової сировини для виробництва цукатів методом багатокритеріальної оптимізації. Розроблений збалансований комплекс початкових біохімічних, товарних, та органолептичних критеріїв придатності плодів черешні та вишні, який дозволяє науково прогнозувати найбільшу їх цінність. Кращими для подальшого виготовлення цукатів виявилися свіжі плоди сортів черешні раннього терміну достигання Kazka (1 ранг) – $\varphi(x_5) = 4,67$ та Zabuta (2 ранг) – $\varphi(x_7) = 4,69$; середнього – Talisman (1 ранг) – $\varphi(x_5) = 3,58$; Kрупноплідна (1 ранг) – $\varphi(x_1) = 3,43$; вишні – Griot Melitopolskyu (1 ранг) – $\varphi(x_5) = 4,72$. Методом багатокритеріальної оптимізації виділено сорти для виробництва цукатів із попередньо заморожених плодів Valerii Chkalov (ранній термін достигання), Kordia (середній термін достигання), Udivitiel'na (пізній термін), вишні – Griot Melitopolskyu.

Встановлено закономірне зростання масової частки цукрів і сухих розчинних речовин у плодах черешні та вишні до досягнення осмотичної рівноваги, тривалість якої залежала від температури й концентрації сиропу (12–21 год при 80–100 °C, до 42 год при 20–40 °C,

30–40 %). Найактивніша фаза процесу тривала перші 3 год (59–71 % втрати вологи, 35–55 % приросту сухої речовини).

Збільшення осмотичних коефіцієнтів ($k_{\text{осм}}$ та $k_{\text{осм. заг}}$) у 1,1–9,6 раза свідчать про ефективність початкової фази. Зростання температури підвищувало $k_{\text{осм}}$, концентрації – знижували. Максимальні значення $k_{\text{осм}}$ досягалися при 30 % розчині за 100 °С (у 2,4–3,1 раза вищі, ніж при 30 °С). Таким чином, оптимізація параметрів осмотичного середовища забезпечує ефективне управління масообміном під час дегідратації.

Дисперсійним аналізом встановлено, що проводити процес осмотичної дегідратації протягом перших трьох годин необхідно з урахуванням усіх трьох факторів: видових та сортових особливостей плодів (фактор А), температури (фактор В) та концентрації (фактор С) осмотичного агента (рис. 10).

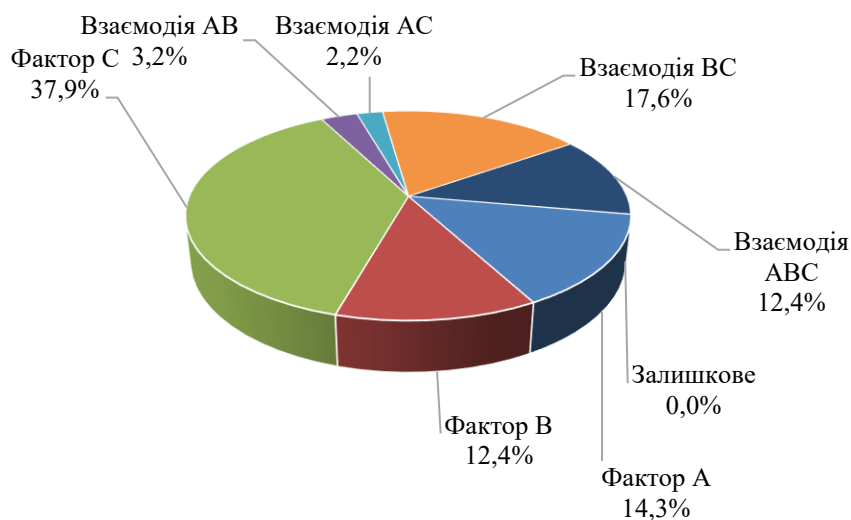


Рис. 10. Частка впливу факторів на $k_{\text{осм}}^3$, %: фактор А – сорт плодів; фактор В – температура осмотичного агента; фактор С – концентрація осмотичного агента; АВ, АС, АВС, ВС – взаємодія факторів А, В і С; залишкове – випадкові та інші фактори

Для подальшого виробництва цукатів з оптимальними сенсорними показниками з свіжих плодів у виробничих умовах рекомендовано проведення чотирьохстадійної осмотичної дегідратації (варіант 4) з поступовим підвищенням концентрації цукрового сиропу від 40 до 60 % (рис. 11). Розроблені технологічні схеми процесів виробництва цукатів із свіжих темнозабарвлених плодів черешні, вишні та світло забарвлених плодів черешні включають: 4 стадії осмотичної дегідратації, по 3 години за температурою 80 °С, концентрація цукрового сиропу 40 %, 50, 50, 60 %, сушіння 1,5–2 год при температурі 55 °С.

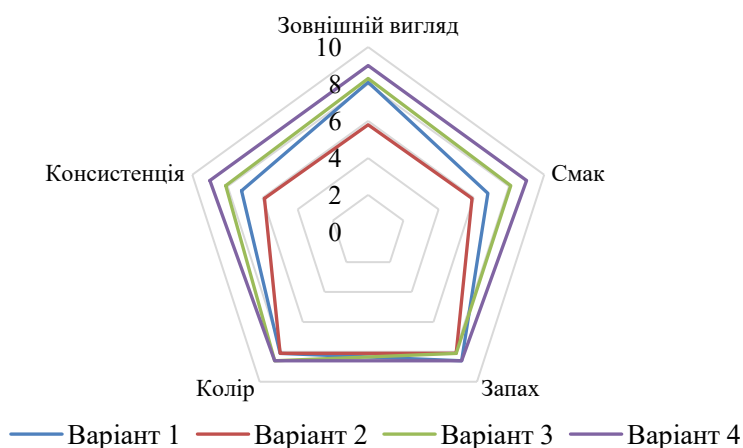


Рис. 11. Сенсорні профілограми якості цукатів за багатостадійної дегідратації

При приготуванні цукатів з світлозабарвлених сортів черешні запропоновано занурення плодів у лимонну кислоту з рН 2,5–3,0, з подальшою їх витримкою 1,0–1,5 год з подальшим технологічним процесом аналогічним при виробництві цукатів із свіжих темнозабарвлених плодів черешні (рис. 12).

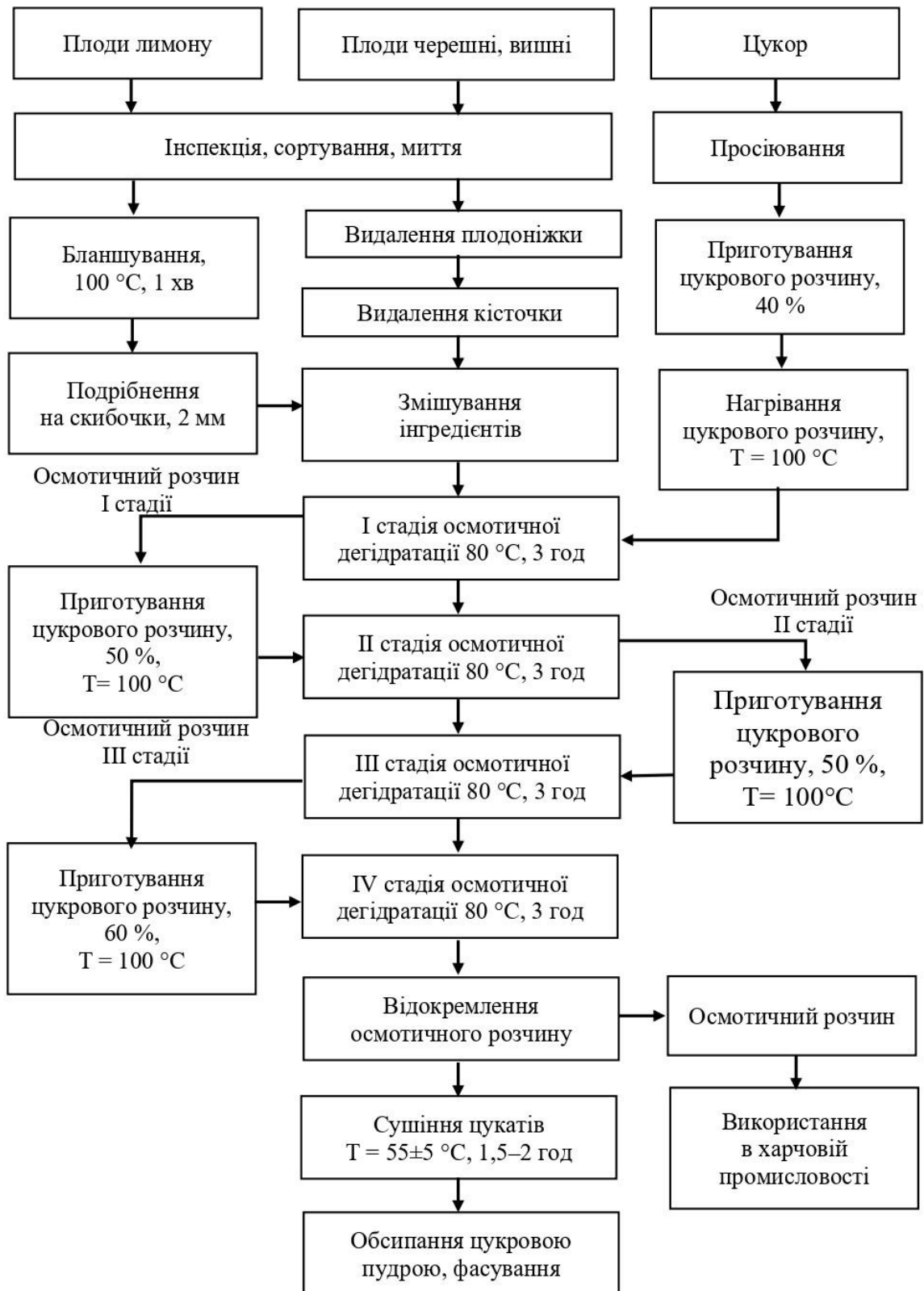


Рис. 12. Технологічна схема виробництва цукатів із темнозабарвлених плодів черешні та вишні

Дослідження впливу заморожування та тривалого зберігання на зміни технологічних, біохімічних та органолептичних показників в плодовій сировині показало, що основні втрати спостерігаються на етапі заморожування, незалежно від виду та сорту плодів. Саме цей етап доцільно використовувати як критерій придатності черешні та вишні до виробництва цукатів із замороженої сировини.

Осмотична дегідратація заморожених плодів черешні та вишні характеризується динамікою змін, аналогічною свіжій сировині, з вищими інтенсивностями масообміну. Вміст цукрів і сухих розчинних речовин зростає протягом усього періоду процесу до досягнення осмотичної рівноваги, яка, залежно від температури й концентрації сиропу, досягалася за 6–9 год (максимум 24 год при 20 °C), що істотно менше, ніж для свіжих плодів.

Найінтенсивніші зміни масової частки води, цукрів і сухих розчинних речовин фіксувалися у перші 3 год дегідратації, що обґрунтовує доцільність обмеження технологічної тривалості саме цим інтервалом.

Значення осмотичних коефіцієнтів ($k_{\text{ОСМ}}^{\text{3АГ}}$ і $k_{\text{ОСМ}}^3$) підтвердили залежність від температури й концентрації осмотичного агента: зі зростанням температури $k_{\text{ОСМ}}^{\text{3АГ}}$ зростає, тоді як підвищення концентрації сиропу супроводжується зниженням $k_{\text{ОСМ}}^3$. Максимальні значення $k_{\text{ОСМ}}^3$ отримано за температури 20 °C і концентрації сиропу 30 %, аналогічно свіжим плодам.

Результати дисперсійного аналізу свідчать (рис. 13) про нівелювання домінуючого впливу концентрації осмотичного агента (фактору С) на значення $k_{\text{ОСМ}}^3$ заморожених плодів за перші 3 год дегідратації. Відповідно до отриманих результатів, вплив усіх трьох факторів був майже однаковим.

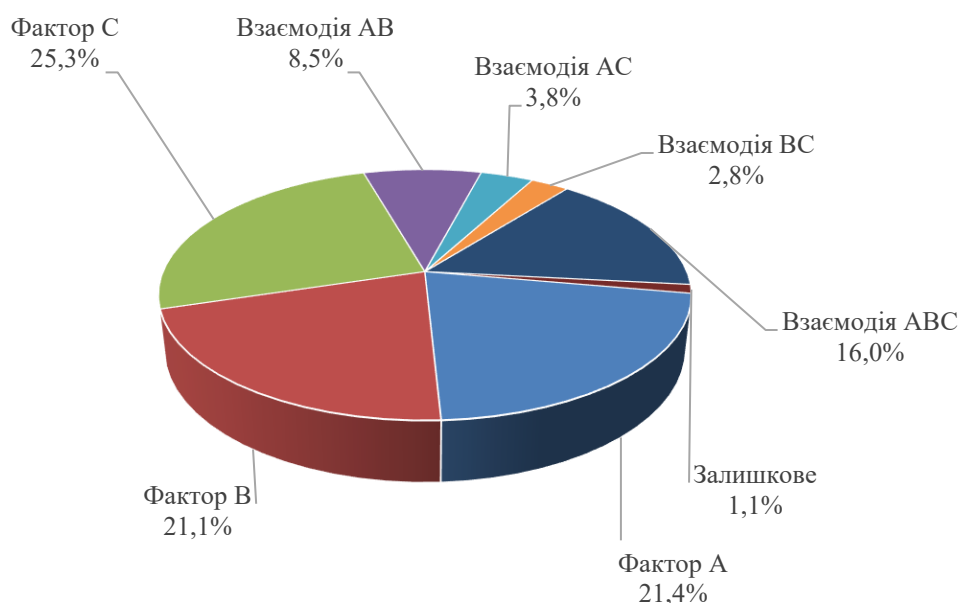


Рис. 13. Частка впливу факторів на $k_{\text{ОСМ}}^3$, % при осмотичній дегідратації заморожених плодів: фактор А – сорт плодів; фактор В – температура осмотичного агента; фактор С – концентрація осмотичного агента; АВ, АС, АВС, ВС – взаємодія факторів А, В і С; залишкове – випадкові та інші фактори

При виробництві цукатів із замороженої сировини найбільш ефективним визначений режим двох ступеневої дегідратації (варіант 2) зі стадійним підвищенням концентрації цукрового сиропу (осмотичного агента) від 50 до 60 % (рис. 14).

Запропонований спосіб виробництва цукатів із заморожених плодів черешні та вишні сприяє збереженню вмісту біологічно активних речовин, зовнішнього вигляду та структури продукції (рис. 15). Розроблена технологічна схема виробництва цукатів з заморожених плодів

черешні та вишні включає: дві стадії осмотичної дегідратації, по 3 год за температурою 80 °С, концентрація цукрового сиропу 50, 60 %, сушіння 1,5–2 год при температурі 55 °С.

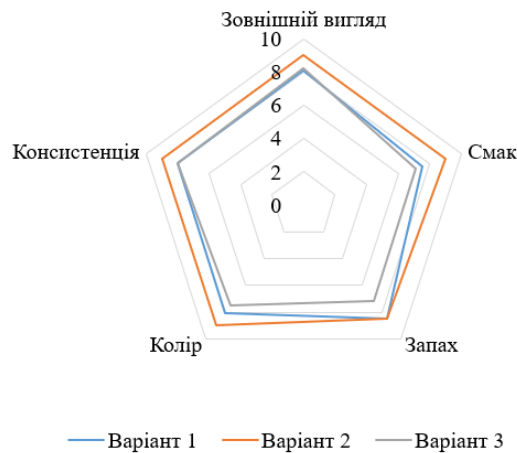


Рис. 14. Сенсорні профілограми якості цукатів за багатостадійної дегідратації заморожених плодів черешні та вишні (середня оцінка)

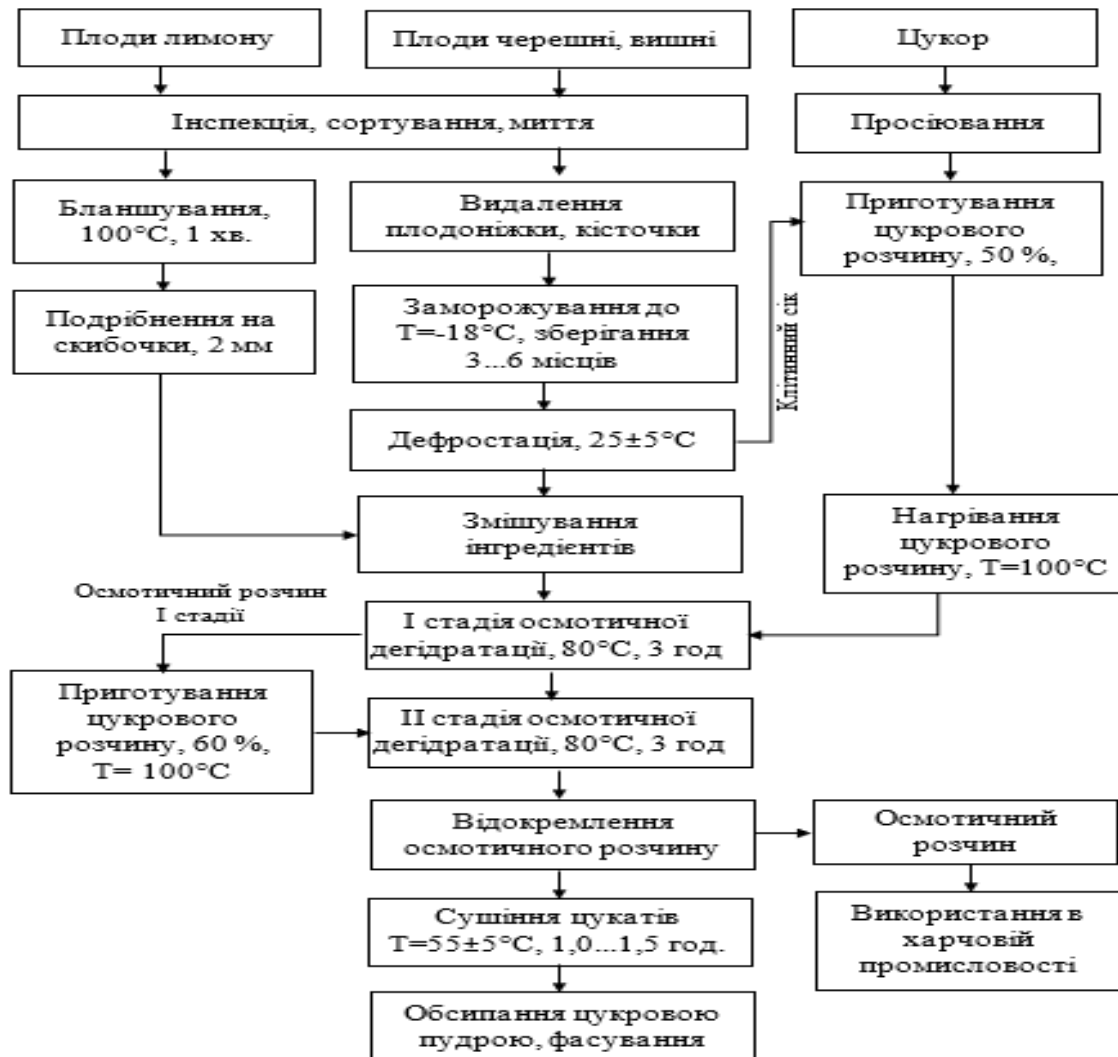


Рис. 15. Технологічна схема виробництва цукатів із заморожених плодів черешні та вишні

Удосконалення технологій переробки та впровадження у виробництво цукатів зі свіжої та замороженої сировини сприятиме подовженню періоду споживання плодів черешні і вишні, що може використовуватися для дитячого та дієтичного харчування населення, особливо в зимово-весняний період.

У восьмому розділі «Оцінка економічної ефективності та соціального ефекту впровадження результатів дослідження зберігання та переробки плодів черешні та вишні у виробництво» доведено економічну ефективність проєкту.

Техніко-економічна ефективність інтегрованої технології зберігання плодів черешні та вишні з подальшим виробництвом цукатів зі свіжої та замороженої плодової сировини є економічно доцільною. Соціально-економічний ефект від збільшення виходу продукції при зберіганні плодів черешні та вишні комбінованим способом в розрахунку на 1 т становить 2918 грн та 2275 грн відповідно. Прибуток від продажу цукатів з свіжих плодів черешні, вишні становить 133,9–171,16 тис. грн відповідно; прибуток від продажу 1 т цукатів з заморожених плодів черешні – 111,26 тис. грн; вишні – 148,5 тис. грн.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу сучасних літературних джерел показано, що охолодження та зберігання плодів черешні й вишні є визначальними етапами післязбиральної технологічної обробки, ефективність яких зумовлюється комплексом морфолого-анатомічних і біохімічних властивостей сировини, інтенсивністю тепломасообмінних процесів у холодильному середовищі, а також техніко-економічними параметрами функціонування сучасних холодильних систем. З урахуванням сучасних науково-практичних тенденцій розвитку харчової холодильної інженерії обґрунтованим є впровадження інтенсивних методів охолодження, комбінованих обробок із застосуванням біологічно активних речовин антимікробної дії, а також використання математичних моделей як інструменту для оптимізації режимів охолодження, прогнозування збереження структурно-механічних, мікробіологічних і сенсорних характеристик плодів та підвищення ефективності післязбиральної логістики.

2. У межах дослідження розроблено математичні моделі залежностей функціонально-технологічних показників плодів черешні та вишні від комплексу абіотичних чинників із використанням методів головних компонент і *ridge*-регресії, що забезпечують кількісну інтерпретацію впливу гідрометеорологічних параметрів на фізіолого-біохімічні процеси в період вегетації. Побудовано узагальнений алгоритм обробки багатовимірних масивів вхідних змінних із високим ступенем мультиколінеарності, який шляхом перетворення предикторів в ортогональні латентні компоненти дозволяє виявити найбільш значущі фактори впливу на вміст сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот та L-аскорбінової кислоти, фенольних речовин. Моделі характеризуються високим рівнем адекватності ($R^2 > 0,85$), що підтверджує їхню прогностичну здатність у контексті оцінювання та збереження якості сировини в умовах холодильного зберігання.

3. Розроблено та науково обґрунтовано склад захисної органічної композиції на основі молочної та оцтової кислот, що продемонструвала високу ефективність при застосуванні у процесі гідроохолодження плодів черешні та вишні перед холодильним зберіганням. За результатами багатофакторного математичного моделювання встановлено оптимальні концентрації компонентів: для плодів черешні – 2,161 % молочної та 1,705 % оцтової кислоти, для плодів вишні – 2,217 та 1,966 % відповідно. Застосування цих концентрацій забезпечило мінімальні загальні середньодобові втрати – 0,0642 % для черешні та 0,106 % для вишні, з одночасним зменшенням загальних втрат від мікробіологічних уражень і фізіологічних розладів до 1,01 % та 2,27 % відповідно. Побудовані регресійні моделі відзначаються високим рівнем адекватності ($R^2 \geq 0,92$), що підтверджує надійність опису взаємозв'язків між концентрацією органічних кислот і масообмінними процесами у плодах.

4. Еспериментально доведено переваги комбінованого способу попереднього охолодження плодів черешні та вишні, який забезпечує найвищу ефективність з точки зору

збереження маси, пригнічення мікробіологічної активності та збереження товарної якості продукції в умовах холодильного зберігання. Встановлено, що комбінований спосіб охолодження знижує середні втрати маси плодів у 11,3 раза порівняно з повільним повітряним способом та у 22,9 раза – порівняно з інтенсивним повітряним способом, забезпечує швидке зниження інтенсивності дихання на рівні гідроохолодження, а також сприяє зменшенню чисельності епіфітної мікрофлори після 40 діб зберігання – на 10–40 % для черешні та 20–60 % для вишні залежно від сорту. За результатами 40-добового зберігання, вихід стандартної продукції плодів черешні становив 85,2–98,1 %, вишні – 80,0–92,3 %, причому при застосуванні комбінованого способу цей показник був на 15 % вищим, ніж за повільний повітряний спосіб, що підтверджує технологічну доцільність впровадження комбінованого способу як ефективного елемента системи післязбиральної підготовки плодової сировини до зберігання та реалізації.

5. Вперше побудовано узагальнену математичну модель охолодження плодів черешні та вишні на основі другої теореми подібності Федермана-Букінгема із застосуванням критеріїв Рейнольдса (Re), Фур'є (Fo) та Нуссельта (Nu), що дало змогу кількісно охарактеризувати тепломасообмінні процеси за різних способів охолодження. Максимальні значення Re і коефіцієнта теплопередачі α досягнуто для комбінованого способу, що свідчить про високу інтенсивність конвективного теплообміну, зокрема для черешні (на 15 % вища, ніж для вишні). Найвищі значення Fo встановлено для повільного повітряного способу, найнижчі – для комбінованого способу та гідроохолодження. Розроблені критеріальні рівняння й обчислювальні алгоритми забезпечують науково обґрунтований вибір режимів попереднього охолодження з урахуванням фізико-технологічних властивостей сировини та є ефективним інструментом оптимізації холодильної обробки плодів.

6. Вперше проведено комплексну математичну оцінку динаміки якісних характеристик плодів черешні та вишні під час попереднього охолодження різними способами (повільний повітряний спосіб, інтенсивний повітряний спосіб, гідроохолодження, комбінований спосіб) методом «факторних площ» із використанням показників: коефіцієнтів зростання $k_{яз}$ та спадання якості, коефіцієнту відповідності нормативам якості $k_{вн}$, питомих коефіцієнтів зростання $\varphi_{яз}$ та спадання якості $\varphi_{яс}$. Це забезпечило можливість кількісного прогнозування збереження якості у процесі зберігання.

7. За результатами математичного моделювання та експериментальних досліджень встановлено закономірність зниження коефіцієнта відповідності нормативам якості ($k_{вн}$) від повільного повітряного до комбінованого способу охолодження плодів черешні та вишні, з подальшим зниженням цього показника після 30 діб зберігання. Для сортів черешні Krupnoplidna та Melitopol's'ka chorna $k_{вн}$ залишався стабільним, тоді як для вишні сорту Vstriecha спостерігалось поступове зниження даного параметру для досліджуваних процесів. Коефіцієнти зростання якості ($k_{яз}$) і питомий коефіцієнт $\varphi_{яз}$ мали стабільну динаміку у всіх варіантах, а для сорту Vstriecha – чітку позитивну тенденцію зі зростанням інтенсивності охолодження. Після 30 діб зберігання $\varphi_{яз}$ зменшувався, тоді як $k_{яз}$ зростав на 32–35 %, що свідчить про потенціал покращення якості плодів завдяки низькотемпературній обробці.

8. Найкращі якісні характеристики виявилися для сорту черешні Melitopol's'ka chorna за показниками зростання площ негативних параметрів після 30 діб зберігання у межах $S_n = 1,03$ – $2,19$ та коефіцієнту відповідності нормативам якості $k_{вн} = 0,44$ – $0,83$ одразу після обробки та $k_{вн} = 0,46$ – $1,29$ після 30 діб зберігання; а також для вишні Vstriecha за показником зменшення площі позитивних параметрів $S_n = 1,274$ – $2,136$ після 30 діб зберігання для досліджуваних процесів низькотемпературної обробки від інтенсивного повітряного способу до комбінованого способу охолодження.

9. За результатами оцінки якісних властивостей досліджуваних плодів найгірші характеристики виявилися для сорту черешні Krupnoplidna за показниками зростання площ негативних параметрів після 30 діб зберігання у межах $S_n = 1,66$ – $2,7$ та коефіцієнту відповідності нормативам якості $k_{вн} = 0,2$ – $0,76$ одразу після обробки та $k_{вн} = 0,46$ – $1,68$ після 30 діб зберігання; а також для вишні Valerii Chkalov за показником зменшення площі

позитивних параметрів $S_n = 1,236-2,07$ після 30 діб зберігання для досліджуваних процесів охолодження.

10. Методом багатокритеріальної оптимізації встановлено, що для виготовлення цукатів із свіжих плодів черешні доцільним є використання сортів Kazka ($\varphi(x_5) = 4,67$), Zabuta' ($\varphi(x_7) = 4,69$), Talisman ($\varphi(x_5) = 3,58$), Krupnoplidna ($\varphi(x_1) = 3,43$), а серед вишні – сорту Griot Melitopolskyu ($\varphi(x_5) = 4,72$). Для цукатів із замороженої сировини найкращими виявилися сорти черешні: Valerii Chkalov ($\varphi(x_2) = 1,22$), Kordia ($\varphi(x_8) = 0,65$), Udivitel'na ($\varphi(x_5) = 1,07$), а також вишня Griot Melitopolskyu ($\varphi(x_5) = 1,45$). Науково обґрунтовано доцільність застосування багатостадійної осмотичної дегідратації з поетапним підвищенням концентрації цукрового сиропу. Для свіжих плодів ефективною є чотиристадійна обробка (40–60 % масової частки цукру), тоді як для заморожених – оптимальним є двоступеневий режим із концентрацією сиропу 50–60 %.

11. Запропоновано рекомендації промисловості щодо технології зберігання плодів з комбінованим способом та практичного використання раціональних режимів процесу осмотичної дегідратації, які можна застосовувати не лише для зневоднення плодів черешні та вишні. Розроблена технологія комплексної переробки плодів черешні та вишні сприятиме формуванню кругової біоекономіки та зменшенню числа промислових відходів. Результати розробки можливо масштабувати на виробництво будь-якої потужності. Розроблену математичну модель та параметри оптимізації органічної композиції при зберіганні плодів черешні та вишні можна адаптувати в будь-якій технології, що включатиме комбінований спосіб доохолодження плодів при довготривалому зберіганні. Запропоновані математичні моделі фізико-математичного моделювання досліджуваних процесів низькотемпературної обробки плодової харчової сировини та параметрів оцінки якості продукції за використання моделі «плоского факторного поля» можуть бути імплементовані для практичного застосування щодо оцінки стану будь-якого за складністю об'єкта досліджень при використанні необмеженої кількості характеристик.

12. Техніко-економічна ефективність інтегрованої технології зберігання плодів черешні та вишні з подальшим виробництвом цукатів зі свіжої та замороженої плодової сировини є економічно доцільною, що обґрунтовано наступними показниками:

- виручка від реалізації 1 т плодів охолоджених комбінованим способом складає 23 тис. грн для черешні та 21 тис. грн для вишні; величина додатково отриманого чистого прибутку на підприємстві за запропонованою технологією від продажу 1 т черешні становить майже на 12,92 тис. грн, вишні – 11,5 тис. грн;

- соціально-економічний ефект від збільшення виходу стандартної продукції при зберіганні плодів черешні та вишні комбінованим способом у розрахунку на 1 т складе 2918,2 грн та 2275,66 грн відповідно;

- прибуток від продажу цукатів зі свіжих плодів черешні та вишні становить 133,9–171,16 тис. грн відповідно; одночасно, прибуток від продажу 1 т цукатів із заморожених плодів черешні досягне значення 111,26 тис. грн; вишні – 148,5 тис. грн.

13. Промислова апробація інтегрованої технології зберігання плодів черешні та вишні в умовах штучного холоду і подальшого виробництва цукатів на підприємствах ТОВ МЖК «Південний», ТОВ «Мошурівський консервний завод», ПрАТ «Київський Маргариновий Завод» підтвердила високу ефективність проведених досліджень, технологічну надійність та відтворюваність розроблених процесів у виробничих умовах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Колективна монографія,

проіндексована у міжнародній наукометричній базі даних Scopus

1. Ivanova I., Serdiuk M., Tymoshchuk T., Drobitko A., Pyurko O., Mulienok Y. A multi-criteria strategy for assessing the quality of frozen raw cherry fruits. Innovative approaches in food processing and sustainability: collective monograph. Tallinn, 2025. Ch. 2. P. 30–52. *(Здобувачкою підібрано методи та узагальнено методики проведення експериментальних досліджень,*

узагальнено експериментальні дані та виконано статистичну обробку, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).

**Статті у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А»
Переліку наукових фахових видань України та/або у закордонних виданнях,
проіндексованих у міжнародних наукометричних базах даних**

Web of Science Core Collection та/або Scopus

2. Malkina V., **Ivanova I.**, Serdyuk M., Kryvonos I., Bilous E. Regression analysis of the dependence of the cherry yield from hydrothermal factors in the conditions of multicollinearity. Scientific Horizons. 2019. Vol. 22. No. 11. P. 51–60. *(Здобувачкою виявлено вплив погодних факторів регіону на формування врожайності вишні упродовж 2007–2019 років досліджень, запропоновано модель, що описує вплив гідротермічних факторів на врожайність вишні, на основі методу LASSO, на основі побудованої моделі проаналізовано фактори, що впливають на індекс врожайності вишні, визначено показники частки впливу кожного фактора на загальну дисперсію індексу врожайності вишні).*

3. Malkina V., Serdyuk M., **Ivanova I.**, Kryvonos I. Regression analysis of the dependence of the cherry yield from hydro-thermal factors in the conditions of multicollinearity. Scientific Horizons. 2019. Vol. 84. No. 11. P. 51–60. *(Здобувачкою в умовах Південного Степу України встановлено вплив погодних факторів регіону на формування врожайності вишні в межах 2007–2019 років досліджень, запропоновано регресійну модель на основі методу LASSO, що описує вплив гідротермічних факторів на врожайність вишні, визначено актуальність проведених досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

4. **Ivanova I.**, Kryvonos I., Shleina L., Taranenko G., Gerasko T. Multicriteria optimization of quality indicators of sweet cherry fruits of Ukrainian selection during freezing and storage. Modern Development Paths of Agricultural: Trends and Innovations. 2019. Iss. 4. P. 707–718. *(Здобувачкою на основі проведених досліджень було розроблено біохімічні та сенсорні критерії оцінки якості заморожених напівфабрикатів ранніх, середньо- та пізніх сортів черешні для їх подальшого використання у виробництві, визначено актуальність проведених досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

5. Gerasko T., Velcheva L., Todorova L., Pokoptseva L., **Ivanova I.** Effect of living mulch on chlorophyll index, leaf moisture content and leaf area of sweet cherry (*Prunus avium* L.). Modern Development Paths of Agricultural: Trends and Innovations. 2019. Iss. 4. P. 681–688. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати, підготовлено матеріали до друку).*

6. Serdyuk M., **Ivanova I.**, Malkina V., Kryvonos I., Tymoshchuk T., Ievstafieva K. The formation of dry soluble substances in sweet cherry fruits under the influence of weather factors. Scientific Horizons. 2020. Vol. 88. No. 3. P. 127–135. *(Здобувачкою досліджено вплив погодних факторів та особливостей сорту на формування запасу сухих розчинних речовин у плодах черешні протягом 2008–2019 років, встановлено, що для всіх груп сортів, незалежно від терміну дозрівання, погодні умови років дослідження (фактор А) мали домінуючий вплив на формування запасу сухих розчинних речовин, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

7. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Kryvonos I., Yeremenko O., Tymoshchuk T. Formation of flavoring qualities of sweet cherry fruits under the influence of weather factors. Scientific Horizons. 2020. Vol. 89. No. 4. P. 72–81. *(Здобувачкою науково обґрунтовано вплив стресових погодних факторів та сортових особливостей на процес формування смаку плодів черешні).*

протягом 2008–2019 років, доведено, що для всіх груп сортів, незалежно від термінів дозрівання, погодні умови років досліджень мали домінуючий вплив на формування вмісту цукру та титрованих кислот).

8. **Ivanova I.**, Serdiuk M., Malkina V., Bandura I., Kovalenko I., Tymoshchuk T., Tonkha O., Tsyz O., Mushtuk M., Omelian A. The study of soluble solids content accumulation dynamics under the influence of weather factors in the fruits of cherries. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. Vol. 15. P. 350–359. (Здобувачкою розроблено залежність накопичення розчинних речовин різними сортами черешні від погодних умов Південного Степу України, проведено лабораторний, факторний, кореляційний та регресійний аналізи, побудовано математичну модель із застосуванням методів факторного та регресійного аналізу з використанням методу головних компонент, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, підготовлено матеріали до друку).

9. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Malkina V., Kotelnyska A., Moisiienko V. The forecasting of polyphenolic substances in sweet cherry fruits under the impact of weather factors. *Agrarteadus*. 2021. Vol. 32 (2). P. 239–250. (Здобувачкою розроблено регресійні моделі аналізу ступеня впливу кожного погодного фактора на рівень фенольних речовин у плодах ранніх та пізніх груп сортів черешні, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, підготовлено матеріали до друку).

10. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Malkina V., Priss O., Herasko T., Tymoshchuk T. Investigation into sugars accumulation in sweet cherry fruits under abiotic factors effects. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19 (2). P. 444–457. (Здобувачкою вивчено питання прогнозування вмісту цукрів у плодах черешні залежно від частки погодних факторів у процесі транспортування, зберігання та переробки, встановлено низьку та середню мінливість відібраних сортів за роками досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).

11. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Malkina V., Tonkha O., Tsyz O., Mazur B., Herasko T., Havryliuk O. Cultivar features of polyphenolic compounds and ascorbic acid accumulation in the cherry fruits (*Prunus cerasus* L.) in the Southern Steppe of Ukraine. *Agronomy Research*. 2022. Vol. 20 (3). P. 588–602. (Здобувачкою побудовано математичну модель на основі методу множинної лінійної регресії, яка виявляла ступінь впливу погодних факторів на динаміку поліфенольних сполук та накопичення аскорбінової кислоти в плодах вишні в підзоні Південного Степу України та в регіонах з подібними гідротермальними параметрами, встановлено домінуючий вплив сортових особливостей на накопичення поліфенольних сполук у плодах вишні, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження).

12. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Malkina V., Tymoshchuk T., Shkinder-Barmina A. Assessment of the influence of weather factors on the quantitative indicators of sweet cherry fruits by ridge regression. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25. No. 5. P. 60–73. (Здобувачкою розроблено математичну модель для прогнозування формування плодів та піренової маси черешні залежно від погодних факторів та сортових особливостей, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, підготовлено матеріали до друку).

13. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Malkina V., Tymoshchuk T., Vorovka M., Mrynskyi I., Adamovych A. Studies of the impact of environmental conditions and varietal features of sweet cherry on the accumulation of vitamin C in fruits by using the regression analysis method. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2022. Vol. 118 (2). P. 1–12. (Здобувачкою обґрунтовано швидкість впливу погодних факторів, а також сортових особливостей на накопичення вітаміну С у плодах черешні, доведено доцільність прогнозування вмісту вітаміну С у плодах черешні за середніми показниками для групи ранніх та пізніх сортів, а не окремо для кожного помологічного сорту, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, підготовлено матеріали до друку).

14. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Malkina V., Mushtuk M., Rozbytska T. Factorial analysis of taste quality and technological properties of cherry fruits depending on weather factor.

Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2022. Vol. 16. P. 341–355. *(Здобувачкою шляхом проведення двофакторного дисперсійного аналізу, було визначено доцільність прогнозування вмісту основних компонентів хімічного складу (сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот) у плодах вишні за середніми значеннями та виявлено фактор, який максимально впливає на накопичення досліджуваних показників під час досліджень, визначено домінуючий вплив погодних умов протягом років досліджень, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, підготовлено матеріали до друку).*

15. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Malkina V., Tymoshchuk T., Shlieina L., Pokoptseva L., Zoria M., Taranenko H. The effects of weather factors on titrating acids accumulation in sweet cherry fruits. Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society. 2023. Vol. 11. No. 1. P. 1–15. *(Здобувачкою проведено дослідження вмісту титрованих кислот у плодах черешні протягом 12 років, визначено середню та сильну кореляційну залежність між 11 погодними факторами та вмістом титрованих кислот для сортів черешні раннього, середнього та пізнього періодів дозрівання, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

16. **Ivanova I.**, Tymoshchuk T., Kravchuk M., Ishchenko I., Kryvenko A. Sensory evaluation of sweet cherries for sustainable fruit production in the European market. Scientific Horizons. 2023. Vol. 26. No. 10. P. 93–106. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати, підготовлено матеріали до друку).*

17. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Tymoshchuk T., Malkina V., Zinovieva O., Lisohurska D., Nevmerzhytska O., Lisohurska O. Minimizing sweet cherry fruit losses during storage under the influence of hydrocooling and protective organic composition. Eastern-European Journal of Enterprise Tech Nologies. 2024. Vol. 4. No. 11 (130). P. 16–25. *(Здобувачкою досліджено технологію попередньої обробки плодів черешні з використанням органічної композиції, проведено аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовлено матеріали до друку).*

18. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Tymoshchuk T., Malkina V., Shkinder-Barmina A., Drobitko A., Zahorko N., Mulienok Y., Shepel A., Savchuk Y. Prediction of cherry fruit technological characteristics by RIDGE-regression method. Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society. 2024. Vol. 12. No. 1. P. 39–50. *(Здобувачкою проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати, підготовлено матеріали до публікації).*

19. Hutsol T., Priss O., **Ivanova I.**, Serdyuk M., Cupiał M., Tymoshchuk T., Havrylianchyk R., Prokopchuk L., Kowalczyk Z. Effectiveness of cooling methods in reducing losses during cherry storage. Agricultural Engineering. 2024. Vol. 28 (1). P. 321–340. *(Здобувачкою визначено актуальність проведених досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

20. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Tymoshchuk T., Stotska S., Smahlii V., Slobodnyuk N., Golembowska N., Zahorko N. Substantiating the criteria for evaluating the quality of frozen sweet cherry fruits using the method of multi-criteria optimization. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 135. Iss. 11. P. 71–81. *(Здобувачкою науково обґрунтовано критерії оцінки якості заморожених плодів черешні, здійснено аналіз статистичної оцінки свіжозаморожених плодів сортів черешні за комплексом параметрів та значеннями цільової функції, розроблено біохімічні та сенсорні критерії оцінки якості заморожених напівфабрикатів сортів черешні раннього, середнього та пізнього строків досягання для їх подальшого використання у виробництві).*

21. **Ivanova I.**, Serdyuk M., Tymoshchuk T., Kravchuk M., Lomeiko O., Bakalova A., Klymenko T., Drobitko A., Arabadzy-Tipenko L., Pyurko O., Zahorko N. New Approaches to Assessing the Quality of Cherry Fruit. Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society. 2025. Vol. 13. No. 1. P. 44–56. *(Здобувачкою здійснено прогнозування технологічних*

характеристик плодів вишні методом *ridge-регресії*, розроблена математична модель для прогнозування формування маси плодів та кісточок у сортів вишні незалежно від умов навколишнього середовища).

**Статті у наукових виданнях,
включених до Переліку наукових фахових видань України**

22. **Іванова І. Є.**, Покопцева Л. А., Герасько Т. В., Долгова С. В. Використання методу багатокритеріальної оптимізації для вибору кращого сорту черешні за дії заморожування. Таврійський науковий вісник. 2014. Вип. 88. С. 104–108. *(Здобувачкою проведено науково-обґрунтовану оцінку придатності районованих сортів черешні пізнього строку досягання, вирощених в умовах Півдня України до заморожування та тривалого низькотемпературного зберігання протягом шести місяців, встановлено, що за комплексом фізико-біохімічних параметрів встановлено ранжирований ряд сортів за ступенем придатності до заморожування та шестимісячного зберігання, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

23. **Іванова І. Є.**, Фазилова Е. С., Долгова С. В. Аналіз біохімічних показників свіжих плодів черешні, що вирощені в умовах півдня України. Таврійський науковий вісник. 2014. Вип. 88. С. 195–199. *(Здобувачкою проведено аналіз біохімічного складу свіжих плодів черешні сортів раннього, середнього та пізнього строків досягання за показниками: сума цукрів, вміст сухих розчинних речовин, сума БАР, у заморожених сортозразках трьох строків досягання визначено параметр – величину втрати соку, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

24. **Іванова І. Є.**, Покопцева Л. А. Вибір оптимального сорту черешні для швидкого заморожування і тривалого зберігання методом багатокритеріальної оптимізації та економічна ефективність заморожених сортозразків згідно ряду ранжування. Таврійський науковий вісник. 2015. Вип. 93. С. 44–50. *(Здобувачкою проведено науково-обґрунтовану оцінку придатності районованих сортів черешні пізнього строку досягання (Мелітопольська чорна, Простір, Тотем, Анилаг), які вирощені в умовах південного Степу України до заморожування та зберігання при низьких температурах методом багатокритеріальної оптимізації, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

25. **Іванова І. Є.**, Фазілова Е. С. Формування споживчих властивостей плодів черешні пізнього строку досягання протягом періоду вегетації. Таврійський науковий вісник. 2015. Вип. 92. С. 25–29. *(Здобувачкою проведено сортодослідження плодів черешні вітчизняної селекції пізнього строку досягання – Мелітопольська чорна, Тотем, Анилаг, Простір за показниками: середня маса плоду, співвідношення кісточки до м'якоти, сухі розчинні речовини, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

26. **Іванова І. Є.**, Білоус Е. С., Покопцева Л. А., Єременко О. А. Багатокритеріальна оптимізація показників якості плодів черешні української селекції при заморожуванні та зберіганні. Таврійський науковий вісник. 2017. Вип. 99. С. 76–82. *(Здобувачкою розглянуто застосування багатокритеріальної оптимізації для покращення якості заморожених плодів українських сортів черешні, аналізуючи різні показники якості, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

27. **Іванова І. Є.**, Білоус Е. С., Пашенко Ю. П., Єременко О. А. Сортодослідження плодів черешні пізнього строку досягання на придатність до заморожування. Таврійський науковий вісник. 2017. Вип. 98. С. 71–76. *(Здобувачкою обґрунтовано оцінку придатності шести районованих сортів черешні пізнього строку досягання, які вирощені в умовах південного Степу України до заморожування та зберігання при низьких температурах за показниками: величина втрати соку, масова концентрація цукрів, масова концентрація титрованих кислот).*

28. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Герасько Т. В., Кривонос І. А., Білоус Е. С. Визначення придатності сортів черешні та вишні до заморожування за критерієм кріозернистості. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2018. Вип. 8. Т. 2. С. 1–8. *(Здобувачкою проведено дослідження щодо визначення придатності сортів черешні та вишні до заморожування за критерієм кріозернистості, досліджено вплив сортових особливостей на втрату соку (кріозернистість) заморожених плодів для оцінки їхньої якості для глибокого заморожування).*

29. **Іванова І. Є.,** Білоус Е. С., Шкіндер-Барміна А. М. Сортодослідження свіжих та свіжозаморожених плодів вишні, що вирощені в умовах Південного Степу України. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 106. С. 180–185. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

30. **Іванова І. Є.,** Герасько Т. В., Долгова С. В. Аналіз біохімічного складу свіжих та свіжозаморожених плодів черешні трьох строків достигання, що вирощені в умовах Південного Степу України. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 105. С. 160–165. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

31. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Герасько Т. В., Білоус Е. С., Кривонос І. А. Вибір сорту черешні з оптимальним комплексом параметрів за методом багатокритеріальної оптимізації. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Вип. 9. Т. 1. С. 1–10. *(Здобувачкою проведено дослідження оцінки впливу сортових особливостей на товарні та біохімічні показники плодів черешні української селекції, що вирощені в умовах Півдня України; проведено науково-обґрунтовану оцінку свіжих плодів 12 районованих сортів черешні в стадії знімальної стиглості методом багатокритеріальної оптимізації).*

32. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Шкіндер-Барміна Г. М., Кривонос І. А. Вплив абіотичних чинників на формування смакових якостей плодів вишні. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 416–432. *(Здобувачкою проведено експериментальні дослідження щодо формування фонду сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот в плодах вишні 10 досліджуваних сортів, виділено перспективні, з технологічної точки зору, сорти: за вмістом сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот).*

33. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Кривонос І., Пендрак Я. Математичне моделювання впливу погодних факторів на формування фонду поліфенольних речовин в плодах вишні. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2024. Т. 1 (335). № 3. С. 369–376. *(Здобувачкою проведено дослідження накопичення поліфенольних речовин в плодах 10 модельних сортів вишні, проведено двофакторний дисперсійний аналіз, що дозволив визначити домінуючий вплив сортових особливостей (фактор В) на формування фонду поліфенольних речовин плодів вишні, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

34. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Кривонос І. А., Малкіна В. М., Басанець С. В., Пендрак Я. І. Дослідження частки впливу абіотичних чинників на накопичення фонду сухих розчинних речовин в плодах черешні за допомогою методу головних компонент. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. 2024. Вип. 24. Т. 3. С. 161–176. *(Здобувачкою досліджено вплив погодних факторів на формування фонду сухих розчинних речовин в плодах черешні, розроблено математичну модель прогнозування вмісту сухих розчинних речовин у плодах черешні 33 сортів трьох строків достигання залежно від погодних факторів Півдня Степової зони України для забезпечення подальшого збереження біологічної цінності плодової сировини).*

35. **Іванова І. Є.**, Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Кривонос І. А. Прогнозування вмісту цукрів у плодах черешні для забезпечення безвідходного ланцюга використання плодової сировини. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2024. Вип. 1 (35). С. 117–133. *(Здобувачкою визначено актуальність проведених досліджень, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати, підготовлено матеріали до публікації).*

36. **Іванова І. Є.**, Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Кривонос І. А., Пендрак Я. І. Прогнозування вмісту вітаміну с у плодах вишні у безвідходному ланцюзі використання плодової сировини. Вісник Уманського національного університету садівництва. 2024. Вип. 3. С. 89–95. *(Здобувачкою визначено актуальність проведених досліджень, розроблено методологію досліджень, проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати, підготовлено матеріали до публікації).*

37. **Іванова І. Є.**, Кривонос І. А., Зінов'єва О. Г., Басанець С. В. Мінімізація втрат споживчої якості при зберіганні плодів вишні за впливу гідро-охолодження та захисної композиції. Здоров'я людини і нації. 2024. № 3. С. 59–74. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

38. **Іванова І. Є.**, Кюрчева Л. М., Кривонос І. А., Філенко М. О. Застосування методу багатокритеріальної оптимізації для визначення сортопридатності плодової сировини до виробництва цукатів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2024. Вип. 24. Т. 1. С. 266–273. *(Здобувачкою на підставі значень показників якості сорту вишні «Гріот Мелітопольський» визначено комплекс параметрів, який дозволяє науково прогнозувати найбільшу придатність плодів до виготовлення цукатів, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

39. **Іванова І.**, Сердюк М., Малкіна В., Колісниченко Т., Кривонос І., Івашина Л. Формування смакових якостей плодів вишні під впливом абіотичних чинників в умовах півдня степової зони України. Інновації та технології в сфері послуг і харчування. 2024. Вип. 2 (12). С. 5–16. *(Здобувачкою запропоновано прогнозування смакових якостей плодів вишні проводити за середнім сортовим значенням, визначено середню та сильну кореляційну залежність впливу 19 погодних факторів на вміст досліджуваних біохімічних показників у плодах вишні).*

40. **Іванова І. Є.**, Сердюк М. Є., Кривонос І. А., Басанець С. В. Оцінка якісних характеристик плодової сировини у безвідходному ланцюгу її переробки за вмістом титрованих кислот. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2024. Вип. 3. С. 95–108. *(Здобувачкою визначено вплив абіотичних чинників на накопичення вмісту титрованих кислот у плодах черешні з метою формування безвідходного ланцюга використання плодової сировини).*

41. **Іванова І. Є.**, Кривонос І. А., Басанець С. В., Пендрак Я. І. Формування обсягів виробництва вишні за дії абіотичних чинників. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2025. Т. 15. № 1. С. 294–300. *(Здобувачкою проведено експериментальні дослідження в умовах Півдня Степової зони України з впливу кліматичних чинників на врожайність вишні та створено математичну модель залежностей двох параметрів, за допомогою методу LASSO отримано достовірні оцінки параметрів регресії та зроблено аналіз погодних факторів, що мають вплив на врожайність вишні).*

Статті в інших наукових виданнях

42. Іванченко В. Й., **Іванова І. Є.** Вибір кращого для заморожування та тривалого зберігання сорту дюків з оптимальним комплексом параметрів органолептичних та фізико-хімічних показників плодів. Виноградарство и виноделие. 2009. Т. 39. С. 49–52. *(Здобувачкою проведено комплексну оцінку фізико-хімічних та органолептичних показників плодів вишні)*

та визначено придатні до виробництва сортів, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).

43. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Малкіна В. М., Шкіндер-Барміна А. М., Кривонос І. А. Урожайність вишні залежно від кліматичних умов років вирощування. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2019. № 4. С. 180–184. *(Здобувачкою в результаті комплексного використання методів математичної статистики проаналізовано 20 парних кореляційних залежностей на етапах: вегетаційний період, цвітіння, дозрівання плодів і в період знімання врожаю, визначено вплив десяти погодних факторів на показники урожайності вишні за період 2007–2019 рр., розраховано модель врожайності вишні під впливом абіотичних погодних факторів, що дало можливість спрогнозувати врожайність вишні залежно від впливу стресових факторів навколишнього середовища).*

44. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Герасько Т. В., Білоус Е. С., Кривонос І. А. Урожайність черешні залежно від кліматичних умов років вирощування. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2019. № 3. С. 61–70. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

45. **Іванова І.,** Сердюк М. Вплив абіотичних чинників півдня степової зони України та формування врожайності черешні. Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences: collective monograph. Riga, 2020. P. 290–306. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

46. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Тимощук Т. М. Сортіві особливості накопичення фенольних речовин у плодах черешні в умовах Південного Степу України. Вісник аграрної науки. 2021. № 7 (820). С. 32–39. *(Здобувачкою обґрунтовано частку впливу стресових погодних чинників і сортів особливостей на процес формування фонду фенольних речовин у плодах черешні, доведено, що впродовж періоду досліджень домінуючий вплив на формування фонду фенольних речовин для ранньої та пізньої груп сортів мали погодні умови, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

47. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Тимощук Т. М., Маренич М. М. Формування фонду вітаміну С у плодах черешні під впливом погодних чинників. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 2. С. 56–59. *(Здобувачкою доведено, що впродовж періоду досліджень домінуючий вплив на формування фонду вітаміну С для ранньої та пізньої груп сортів виявляли погодні умови, для групи сортів середнього терміну досягання на накопичення вітаміну С виявлено більший вплив сортів особливостей).*

48. **Ivanova I.,** Serdiuk M., Tymoshchuk T., Havryliuk O., Tonkha V. Dynamics of the average fruit weight and the ratio of stone to pulp in the cherry fruit grown in the south of the steppe zone of Ukraine. Plant and Soil Science. 2022. Vol. 13 (3). P. 27–37. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

49. **Ivanova I.,** Serdiuk M., Malkina V., Tymoshchuk T., Bulygin S., Moisiienko V. Assessment of sweet cherry fruit quality according to the requirements of the modern market. Plant and Soil Science. 2023. Vol. 14 (2). P. 21–32. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

50. **Іванова І. Є.,** Кривонос І. А., Басанець С. В., Пендрак Я. І. Формування обсягів виробництва вишні за дії абіотичних чинників. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. 2025. Вип. 143. Ч. 1. С. 113–120. *(Здобувачкою в умовах Півдня Степової зони України досліджено вплив кліматичних чинників на врожайність вишні).*

та створено математичну модель залежностей двох параметрів, за допомогою методу LASSO отримано достовірні оцінки параметрів регресії та зроблено аналіз погодних факторів, що мають вплив на врожайність вишні, виділено найбільш значущі температурні погодні параметри в період цвітіння, різниця між середньою максимальною та мінімальною температурами повітря, середнє з максимальних значень температур повітря, сума активних температур, гідротермічний коефіцієнт, сума активних температур за вегетаційний період (до фази досягання плодів).

Патенти України на корисні моделі

51. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Загорко Н. П., Прісс О. П. Спосіб виробництва цукатів з черешні: патент на корисну модель 154284 Україна: МПК A23L 21/12. № u202301121; заявлено 17.03.2023; опубліковано 01.11.23; Бюл. № 44. 4 с. (Здобувачкою взято участь у виконанні наукових досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до патентування).

52. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Загорко Н. П., Прісс О. П. Спосіб виробництва цукатів із замороженої черешні та вишні: патент на корисну модель 154285 Україна: МПК A23L 21/00. № u202301124; заявлено 17.03.2023; опубліковано 01.11.23; Бюл. № 44. 4 с. (Здобувачкою оформлено заявку на корисну модель, взято участь у виконанні досліджень, пошуку прототипу для оформлення патенту).

53. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Загорко Н. П., Прісс О. П. Спосіб виробництва цукатів зі світлих сортів черешні: патент на корисну модель 154525 Україна: МПК A23L 21/00. № u202301125; заявлено 17.03.2023; опубліковано 22.11.2023; Бюл. № 47. 4 с. (Здобувачкою взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до патентування).

54. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Загорко Н. П., Прісс О. П. Спосіб виробництва цукатів із замороженої вишні: патент на корисну модель 155636 Україна: МПК A23L 21/12. № u202303845; заявлено 11.08.2023; опубліковано 20.03.2024; Бюл. № 12. 4 с. (Здобувачкою оформлено заявку на корисну модель, взято участь у виконанні досліджень, пошуку прототипу для оформлення патенту).

55. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Загорко Н. П., Прісс О. П. Спосіб виробництва цукатів з персика: патент на корисну модель 155488 Україна: МПК A23L 21/12. № u20231126; заявлено 17.03.2023; опубліковано 07.03.2024; Бюл. № 10. 4 с. (Здобувачкою взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до патентування).

56. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Загорко Н. П., Прісс О. П. Спосіб виробництва цукатів з вишні: патент на корисну модель 155517 Україна: МПК A23L 21/12. № u202303847; заявлено 11.08.2023; опубліковано 07.03.2024; Бюл. № 10. (Здобувачкою взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до патентування).

57. **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Загорко Н. П., Прісс О. П. Спосіб зберігання плодів черешні: патент на корисну модель 160498 Україна: МПК A23B 7/04. № u202501147; заявлено 18.03.2025; опубліковано 10.09.2025; Бюл. № 37/2025. 4 с. (Здобувачкою оформлено заявку на корисну модель, взято участь у виконанні досліджень, пошуку прототипу для оформлення патенту).

58. Загорко Н. П., **Іванова І. Є.,** Сердюк М. Є., Прісс О. П. Спосіб зберігання плодів вишні: патент на корисну модель 160688 Україна: МПК A23B 7/04. № u202405952; заявлено 16.12.2024; опубліковано 1.10.2025; Бюл. № 40/2025. 4 с. (Здобувачкою проведено аналіз та узагальнення результатів дослідження, статистичну обробку даних, підготовлено заявку на корисну модель).

Свідоцтво на торговельну марку

59. Іванова І. Є. CHERRY & SWEETS: торговельна марка. Свідоцтво УкрНІДІ № 338920. Власник Ірина Євгенівна Іванова. Заявка № 202126871 від 12.11.2021; опубліковано 18.10.2023. Бюл. 42. 5 с.

Тези наукових доповідей

60. Іванова І. Є. Багатокритеріальний вибір кращого сорту вишні для тривалого зберігання у замороженому вигляді. Інноваційні агротехнології в умовах глобального потепління: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Мелітополь, 14–15 вересня 2009 року: тези доповіді. Мелітополь, 2009. Ч. 1. С. 163–166.

61. Іванова І. Є. Оцінка величини втрати соку в плодах черешні селекції станції зрошувального садівництва ім. М. Ф. Сидоренка. Інноваційні агротехнології за умов зміни клімату: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Мелітополь, 7–9 червня 2013 року: тези доповіді. Мелітополь, 2013. Вип. 2. С. 60–63.

62. Іванова І. Є. Використання методу багатокритеріальної оптимізації для вибору кращого сорту черешні, придатного для виробництва високоякісної замороженої продукції. Практичне природне землеробство: якість продукції, ефективність, перспектив: Міжнародна науково-практична конференція, м. Мелітополь, 15 листопада 2013 року: тези доповіді. Мелітополь, 2013. С. 167–176.

63. Іванова І. Є. Аналіз динаміки середньої маси плоду та співвідношення до м'якоти в свіжих плодах черешні пізнього строку досягання протягом 2012–2014 рр. Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК: Міжнародна науково-практична конференція, м. Мелітополь, 7–14 квітня 2015 року: тези доповіді. Мелітополь, 2015. Т. 2. С. 9–12.

64. Іванова І. Є. Оцінка показників якості плодів черешні української селекції при довготривалому зберіганні в замороженому вигляді. Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини: VIII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція, м. Донецьк, 19–20 квітня 2018 року: тези доповіді. Прага, 2018. С. 78–80.

65. Іванова І. Є. Динаміка величини втрати клітинного соку дефростованими плодами черешні пізніх строків при різних термінах зберігання. Агроекологічні аспекти виробництва та переробки продукції сільського господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Мелітополь, 7–8 червня 2018 року: тези доповіді. Мелітополь, 2018. С. 45–48.

66. Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Малкіна В. М., Коваленко І. М. Оцінка впливу погодних чинників на урожайність кісточкових культур в контексті ефективного управління садівництвом в умовах Півдня Степової зони України. Perspectives of world science and education: III International scientific and practical conference, Osaka, Japan, 27–29 November 2019: abstracts. Osaka, 2019. P. 191–202. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

67. Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Тонха О. Л. Біохімічні показники якості плодів черешні раннього строку досягання в умовах півдня України. Інноваційний розвиток АПК України: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Житомир, 2–3 червня 2022 року: тези доповіді. Житомир, 2022. С. 77–80. *(Здобувачкою визначено актуальність досліджень, проведено скринінг літературних джерел за темою статті, взято участь у виконанні досліджень, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

68. Іванова І. Є., Сердюк М. Є. Удосконалення технології виробництва черешневих цукатів. Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини: X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція. м. Прага, Чехія, 2023. С. 66–67. *(Здобувачкою проведено аналіз та узагальнення результатів дослідження, статистичну обробку даних, підготовлено матеріали до друку).*

69. Іванова І. Є., Сердюк М. Є. Удосконалення технології виробництва цукатів. Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: VII Міжнародна науково-

практична конференція, м. Черкаси, 2–3 листопада 2023 року: тези доповіді. Черкаси, 2023. С. 62–64. *(Здобувачкою проведено аналіз та узагальнення результатів дослідження, статистичну обробку даних, підготовлено матеріали до друку).*

70. **Іванова І. Є.**, Машківський В. В. Дегустаційна оцінка плодів черешні, що вирощені в умовах Півдня України. Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 року: тези доповіді. Запоріжжя, 2023. С. 100–102. *(Здобувачкою проведено аналіз та узагальнення результатів дослідження, статистичну обробку даних, підготовлено матеріали до друку).*

71. **Іванова І. Є.**, Пендак Я. І., Басанець С. В. Формування цукрів у плодах черешні, що вирощена в умовах Півдня України. Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 року: тези доповіді. Запоріжжя, 2023. С. 67–69. *(Здобувачкою проведено аналіз та узагальнення результатів дослідження, статистичну обробку даних, підготовлено матеріали до друку).*

72. **Іванова І.**, Басанець С., Пендрак Я. Оцінка товарних показників плодової продукції відповідно до вимог сучасного ринку. Органічне виробництво і продовольча безпека: XI Міжнародна науково-практична конференція, м. Житомир, 23–24 травня 2024 року: тези доповіді. Житомир, 2024. С. 31–33. *(Здобувачкою проведено аналіз та узагальнення результатів дослідження, статистичну обробку даних, підготовлено матеріали до друку).*

73. **Іванова І. Є.** Аналіз результатів визначення придатності плодів черешні до виробництва цукатів методом багатокритеріальної оптимізації. Інноваційні технології в рослинництві та землеробстві: Міжнародна науково-практична конференція, м. Житомир, 3–4 квітня 2025 року: тези доповіді. Житомир, 2025. С. 42–45.

АНОТАЦІЯ

Іванова І. Є. Наукові основи процесів охолодження плодової сировини при зберіганні та переробці. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2026.

Метою дисертації є наукове обґрунтування доцільності застосування алгоритму, що характеризує функціонально-технологічний та якісний стан плодів черешні та вишні, розроблення параметрів процесів повітряного конвективного, рідинного та комбінованого способів холодильної обробки за дії захисної композиції з органічних кислот, обґрунтування технології виробництва цукатів із свіжої та замороженої сировини шляхом формування необхідної експериментальної бази характеристик плодів черешні та вишні, математичного моделювання при використанні методів головних компонент, LASSO, глобальної та багатокритеріальної оптимізації, теорії розмірностей, факторних просторів; сенсорної, соціальної та техніко-економічної оцінки.

На основі перетворення корельованих гідрометеорологічних змінних в ортогональні латентні фактори та подальшої регресійної інтерпретації, визначено найбільш значущі абіотичні детермінанти, що впливають на вміст функціонально технологічних параметрів плодів.

Проведено сенсорну оцінку плодів, її найвищі значення (9,0) отримали сорти черешні Kazka, Vynka та Krupnoplidna; серед вишні – Griot Melitopolskyu і Modnytsia (8,7 бала).

Встановлено закономірність підвищення якості комерційних ознак плодів черешні трьох термінів досягання та вишні зі зростанням строку досягання. Максимальна частка плодів I класу (до 93,0 % – сорт Anons) відмічена у плодів пізнього терміну досягання. Ідентифіковано сорти з мінімальним відсотком нестандартної продукції (Kazka, Temp', Anons) і з максимальним виходом продукції I класу (Solidarnist').

Розроблено експериментальну оцінку параметрів процесів холодильної обробки та зберігання плодів черешні та вишні. На першому етапі проведено оптимізацію концентрацій органічних кислот для обробки плодової сировини. Для плодів черешні сорту Valerii Chkalov мінімальні середньодобові втрати маси (0,0642 %) досягнуто при концентраціях органічних кислот $x_1 = 2,161\%$ (молочна) та $x_2 = 1,705\%$ (оцтова). Для плодів вишні сорту Vstriecha оптимальне значення середньодобових втрат (0,106 %) забезпечено за дії органічної композиції МК: ОК у співвідношенні $x_1 = 2,217\%$ до $x_2 = 1,966\%$ відповідно.

Запропонована технологічна схема процесів охолодження та зберігання плодів черешні та вишні, яка передбачає на першій стадії охолодження плодів льодяною водою ($1,0 \pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$) з додаванням молочної і оцтової кислот протягом 10 ± 2 хв до температури всередині плоду $4 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$, на другій стадії – доохолодження плодів у камерах інтенсивного охолодження холодним повітрям із швидкістю руху 3,0 м/с (кратність повітрообміну 90 об'ємів за годину) протягом 30 ± 2 хв до температури $2 \pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$. Температура у камерах інтенсивного охолодження становила $0 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. Відносна вологість повітря була $90 \pm 1\%$. Загальна тривалість попереднього охолодження плодів комбінованим способом до температури $2 \pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$ – 40 ± 2 хв.

На основі експериментальних досліджень основних параметрів процесів низько-температурної обробки плодів черешні та вишні отримано критеріальні рівняння. Застосування критеріїв Рейнольдса, Фур'є, Нуссельта та відповідної розрахункової програми дозволило сформулювати рекомендований ряд параметрів робочого режиму для процесів повільного, інтенсивного, гідродинамічного та комбінованого охолодження; забезпечити ефективний перебіг конвективного теплообміну за контрольованої зміни досліджуваних характеристик.

Проаналізовано параметри якості плодової продукції за використання моделювання методом «плоского факторного поля» за допомогою критеріїв: коефіцієнт зростання $K_{яз}$ та спадання якості, коефіцієнт відповідності нормативам якості $K_{вн}$, питомі коефіцієнти зростання $\varphi_{яз}$ та спадання якості $\varphi_{яс}$. Проведено ефективний порівняльний аналіз основних характеристик плодів з нормативними, спрогнозовано зміну якісних характеристик у процесі зберігання та перспективність досліджуваних сортів черешні та вишні.

Досліджено технологічні аспекти процесу виробництва цукатів з плодів черешні та вишні. Для подальшого виробництва цукатів зі свіжих плодів у виробничих умовах рекомендовано проведення чотирьох стадійної осмотичної дегідратації з поступовим підвищенням концентрації цукрового сиропу від 40 до 60 %. Дослідження багатостадійної дегідратації заморожених плодів при виробництві цукатів з поступовим підвищенням концентрації осмотичного агента (цукрового сиропу) показало, що максимальну сумарну сенсорну оцінку отримали зразки цукатів, дегідратовані у дві стадії: перша 50 %, друга – 60 % розчинами цукрового сиропу.

Соціально-економічний ефект від збільшення виходу стандартної продукції високої якості при зберіганні плодів черешні та вишні комбінованим способом у розрахунку на 1 т становив 2918,2 грн та 2275,66 грн відповідно за культурами. Впровадження у виробництво інноваційного продукту – цукатів, є достатньо ефективним та високорентабельним для підприємства. Прибуток від продажу 1 т цукатів зі свіжих плодів черешні та вишні становить 133,9–171,16 тис. грн відповідно; прибуток від продажу 1 т цукатів із заморожених плодів черешні – 111,26 тис. грн; вишні – 148,5 тис. грн. Виробництво інноваційного продукту із замороженої сировини також надасть можливість підприємству виробляти продукцію незалежно від сезонності.

Ключові слова: харчова промисловість, осмотична дегідратація, процеси охолодження, сушіння, заморожування, теплообмін, масообмін, осмотичне середовище, плоди черешні, плоди вишні, математична модель, оптимізація процесу, критеріальні показники, органічна композиція, функціонально-технологічні показники плодів, цукати.

ANNOTATIN

Ivanova I. Ye. Scientific Basis of Fruit Cooling Processes During Storage and Processing. Qualification scientific work as a manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.18.12 «Processes and Equipment of Food, Microbiological and Pharmaceutical Production». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2026.

The objective of the dissertation is to provide scientific justification for the feasibility of applying an algorithm that characterises the functional, technological and qualitative state of sour cherries and sweet cherries, to develop parameters for air convective, liquid and combined refrigeration processes using a protective composition of organic acids, justification of the technology for producing candied fruits from fresh and frozen raw materials by forming the necessary experimental base of characteristics of sour cherries and sweet cherries, mathematical modelling using principal component analysis, LASSO, the global and multi-criteria optimisation, the dimension theory, and factor spaces; sensory, social and technical-economic assessment.

The most significant abiotic determinants affecting the content of functional and technological parameters of fruits were determined on the basis of the transformation of correlated hydrometeorological variables into orthogonal latent factors and subsequent regression interpretation.

A sensory evaluation of the fruit was conducted, with the highest scores (9,0) awarded to the «Kazka», «Vynka» and «Krupnoplidna» varieties of sweet cherry; among sour cherries, «Griot Melitopolskyi» and «Modnytsia» received 8,7 points.

A pattern has been established whereby the commercial characteristics of sour cherries of three ripening periods and sweet cherries improve as the ripening period increases. The maximum proportion of Class I fruit (up to 93,0 % for the «Anons» variety) was observed in late-ripening fruit. Varieties with the lowest percentage of non-standard products («Kazka», «Temp», «Anons») and the highest yield of Class I products («Solidarnist») were identified.

An experimental assessment of the parameters of refrigeration treatment and storage processes for sour cherries and sweet cherries has been developed. At the first stage, the concentrations of organic acids for processing fruit raw materials were optimised. The optimal conditions for hydrocooling using protective compositions based on lactic and acetic acids have been established to extend the shelf life of sour cherries and sweet cherries. For the fruits of the «Valerii Chkalov» sweet cherry variety, the minimum average daily weight loss (0,0642 %) was achieved at organic acid concentrations of $x_1 = 2,161$ % (lactic) and $x_2 = 1,705$ % (acetic). For «Vstrecha» sour cherry fruits, the optimal average daily loss (0,106 %) was achieved with the effect of the organic composition MC: OC in a ratio of $x_1 = 2,217$ % to $x_2 = 1,966$ %, respectively.

A technological scheme for the cooling and storage of sour cherries and sweet cherries has been suggested, which involves, in the first stage, cooling the fruit with ice water ($1,0 \pm 0,5$ °C) with the addition of lactic and acetic acids for 10 ± 2 minutes to a temperature inside the fruit of 4 ± 1 °C, in the second stage – further cooling of the fruit in intensive cooling chambers with cold air at a speed of 3,0 m/s (air exchange rate of 90 volumes per hour) for 30 ± 2 minutes to a temperature of $2 \pm 0,5$ °C. The temperature in the intensive cooling chambers was 0 ± 1 °C. The relative humidity was 90 ± 1 %. The total duration of preliminary cooling of the fruit using a combined method to a temperature of $2 \pm 0,5$ °C was 40 ± 2 minutes.

On the basis of experimental studies of the main parameters of low-temperature processing of sour cherries and sweet cherries, criterion equations were obtained. The application of the Reynolds, Fourier, and Nusselt criteria in conjunction with the corresponding computational program made it possible to form a recommended range of operating mode parameters for slow, intensive, hydrodynamic, and combined cooling processes and to ensure effective convective heat exchange with controlled changes in the studied characteristics.

The quality parameters of fruit products were analysed using the «flat factor field» modelling method with the following criteria: the coefficient of quality increase (k_{gq}) and decline in quality, the compliance coefficient with quality standards (k_{cqs}), and the specific coefficients of quality

increase (ϕ_{gq}) and quality decrease (ϕ_{dq}). An effective comparative analysis of the main characteristics of fruits with standards was carried out, and changes in quality characteristics during storage and the prospects for the studied varieties of sour cherry and sweet cherry were predicted.

The technological aspects of the production process of candied fruits from sour cherries and sweet cherries have been studied. For further production of candied fruits from fresh fruits in industrial conditions, it is recommended to carry out a 4-stage osmotic dehydration with a gradual increase in the concentration of sugar syrup from 40 to 60 %. A study of multi-stage dehydration of frozen fruits in the production of candied fruits with a gradual increase in the concentration of the osmotic agent (sugar syrup) showed that the maximum total sensory evaluation was obtained for samples of candied fruits dehydrated in two stages: the first with a 50 % solution, the second with a 60 % solution of sugar syrup.

The socio-economic effect of increasing the yield of standard high-quality products when storing sour cherries and sweet cherries using a combined method was 2918,2 UAH and 2275,66 UAH/ton, respectively, for each crop. The introduction of an innovative product – candied fruits – into production is quite effective and highly profitable for the enterprise. The profit from the sale of 1 ton of candied fresh sour cherries and sweet cherries is 133,9–171,16 thousand UAH, respectively; the profit from the sale of 1 ton of candied frozen sour cherries is 111,26 thousand UAH; sweet cherries – 148,5 thousand UAH. The production of an innovative product from frozen raw materials will also enable the company to manufacture products regardless of seasonality.

Key words: food industry, osmotic dehydration, cooling processes, drying, freezing, heat exchange, mass exchange, osmotic environment, cherry fruits, sour cherries and sweet cherries, mathematical model, process optimisation, key performance indicators, organic composition, functional and technological indicators of fruit, candied fruit.