

Автореферат
Б 20

Одеська державна академія холоду

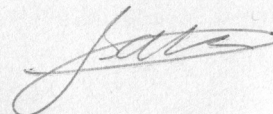
БАЛАН Євген Пилипович

УДК 664.84/85:621.56/57

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Спеціальність 05.18.14 – Холодильна технологія харчових продуктів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук



Одеса – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант – доктор технічних наук, заслужений діяч науки України Чумак Ігор Григорович, професор кафедри холодильних установок, радник ректора.

Офіційні опоненти: д.т.н., професор Оніщенко Володимир Петрович,
заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри,
Одеська державна академія холоду;

д.с.-г.н., професор Найченко Володимир Михайлович,
завідувач кафедри, Уманська державна аграрна академія;

д.т.н., професор Павлюк Раїса Юріївна,
завідувач кафедри, Харківський державний університет
харчування і торгівлі.

Провідна установа – Одеська державна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться «18» 11 2004 р. 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.087.01 при Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки України за адресою: м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3, Україна, 65026.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ОДАХ.

Автореферат розіслано «14» 10 2004 р.

зованої вченої ради,

В. І. Мілованов

100-

ІІ, ІІІ, ІІІІ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Зменшення втрат, збереження якості фруктів і овочів у післязбиральний період є найважливішою технологічною і економічною задачею, рішення якої пов'язано з властивостями самих продуктів, що визначають оптимальні засоби і режими їх збереження. У свою чергу самий цей процес, який є одним із ланок карпогенеза, нерозривно пов'язаний і продовжує дозбиральні фази розвитку рослинних організмів, під час якого формуються їх властивості, як об'єктів збереження.

За більш, ніж віковий період, накопичений цінний науковий і практичний матеріал досліджень в області рослинництва, фізіології, біохімії, холодильної і харчової технології, інших наук, пов'язаних із вивченням ендогенних і екзогенних чинників, що впливають на властивості фруктів і овочів у процесі вирощування і товарного життя. До них можна віднести роботи Алямовського І.Г., Бажуряну Н.С., Волкінда І.Л., Головікіна Н.А., Гудковського В.А., Джафарова А.Ф., Дворнікова В.П., Жадана В.З., Жамба А.И., Загоруйко В.А., Колесніка А.А., Макашвілі Г.А., Матієнко Б.Т., Метлицького Л.В., Найченко В.М., Оніщенко В.П., Ракітіна Ю.В., Рубіна Б.А., Сокола П.Ф., Скорікової Ю.Г., Смикова В.К., Тодіраш В.А., Томаш Г.Г., Трісвятського Л.А., Ціпруш Р.Я., Чижова Г.Б., Чумака І.Г., Широкова Е.П., Шишкіної Н.С., Якушкіної Н.И., Arthenius R., Berthelot P., van Beek G., Burton W.G., Biale J.B., Borg-Sorensen L., Burg S.P., Fidler J.C., Fikiin A.G., Gorini F.L., Gac A., Gautier M., Haller M.H., Hardenburg R.E., Hulme A.S., Jamba A., Jose A., Kidd F., Lentz C.F., Lang O., Lorentzen G., Leblond C., Monzini A., Meffert H., Munos-Delgado J.A., Nelson K., Pieniazek S., Plank R., Streif J., Schulz H., Stoll K., Smock R., Tijskens L. M.M., Ulrich R., Van't Hoff, West C. і багатьох інших, не згаданих тут авторів, що зробили великий внесок у рішення проблеми зберігальності рослинних продуктів.

Більшість з цих робіт присвячені опису механізмів і закономірностей метаболізму. Водночас, майже усі вони виконані у вузьких галузях знань про продукт, що відбивають окремі етапи його життя, без відслідження взаємозв'язку з загальним процесом карпогенезу. По суті, холодильна технологія покликана забезпечити на завершальній стадії зберігальність продуктів, не маючи у своєму розпорядженні основної інформації про їхні вихідні властивості і закономірності зміни показників якості під час збереження, що не дозволяє цілеспрямовано управляти цим процесом і прогнозувати кінцеві результати.

Тому що всі етапи життя фруктів і овочів пов'язані з процесами засвоєння, перетворення, накопичення і витрат енергії, основні напрямки досліджень, узагальнення і практичного використання знань про властивості продуктів повинні спиратися на біоенергетичну сутність процесів карпогенезу. Цим питанням у науковій і практичній діяльності ще не приділялося належної уваги, що явилось підставою для проведення даної роботи.

xv 896

ІНСТИТУТ ХОЛОДУ
ОНАХТ

Робота виконана шляхом теоретичних і експериментальних досліджень у рамках галузевих і державних планів науково-дослідних і конструкторсько-технологічних робіт МССР, СРСР, Молдови й України; проекту 5-188 програми ДКНТ СРСР «Високоєфективні процеси виробництва харчових продуктів»; державної науково-технічної програми «Виноград»; республіканської науково-технічної проблеми В12 «Збереження»; програми міжнародного наукового співробітництва з Румунією, госпдогвірних робіт із Тираспольським заводом автоприцепів «ТирАЗ», Яловенським ПДКО, Республіканським оптово-комерційним підприємством «Таур», пов'язаних з рішенням проблем зберігальності плодовоовочевої продукції і розробки ефективних систем охолодження для транспортних і стаціонарних холодильників. У роботі брали участь організації України: Одеська державна академія холоду, Одеський автозборочний завод, Фізико-технічний інститут низьких температур Академії Наук; Молдови: Академія наук, Технічний Університет, Науково-дослідний і конструкторсько-технологічний інститут харчової промисловості; Росії – Всеросійський науково-дослідний і конструкторсько-технологічний інститут холодильної промисловості.

Мета і задачі роботи. Метою дисертації є розробка біоенергетичної моделі зберігальності фруктів і овочів і створення на її основі практичного інструментарію для цілей холодильної техніки і технології в області збереження і транспортування плодовоовочевих вантажів. Для реалізації поставленої мети вирішувалися такі основні задачі:

- огляд, систематизація і аналіз сучасного стану холодильної техніки і технології збереження і транспортування фруктів і овочів;
- вивчення процесів накопичення рослинними продуктами енергетичного ресурсу для збереження, впливи ендогенних і екзогенних чинників на зміну властивостей продуктів і витрат енергії в післязбиральний період;
- вивчення процесів енергообміну фруктів і овочів із навколишнім середовищем, їхніх респіраційних і транспіраційних характеристик, вивчення взаємозв'язку енергетичних і матеріальних витрат продуктів;
- математичний опис витрат і зміни показників якості по етапах товарного життя – у взаємозв'язку з властивостями продуктів і режимних параметрів збереження;
- розробка математичних моделей післязбиральних процесів холодильної технології плодовоовочевих продуктів; наукове обґрунтування і оптимізація режимних параметрів процесів БХТЛІ;
- апробація теоретичних положень і математичних моделей зберігальності в експериментальних і промислових умовах; експериментальні дослідження умов збереження рослинних продуктів у залежності від їхніх властивостей і параметрів середовища, засобів збереження і транспортування плодовоовочевих вантажів;
- розробка методики практичної реалізації біоенергетичної моделі зберігальності; створення прогресивних конструкцій систем охолодження, оптимізація режимних параметрів технологічних

процесів БХТЛІ; розробка науково обґрунтованих методів контролю, прогнозування і комерціалізації результатів збереження.

У дисертації захищаються такі **наукові положення**:

1. Протікання процесів холодильної технології збереження фруктів і овочів базується на рівнянні енергетичного балансу карпогенеза, відповідно якому зберігальність є мірою заощадження енергетичного потенціалу рослинних продуктів, а їхня лежкість і втрати визначаються швидкістю розтрачання цього потенціалу.

Приведене наукове положення розкриває двоїстість процесу збереження, – як технологічної операції, і як одного з нерозривних етапів життєвого циклу рослинних продуктів, що мають подібні цілі – скорочення витрат, зберігання якості продукту, або життєздатності біологічного об'єкта. Це визначає пріоритетну сферу холодильної технології, пов'язану з вивченням властивостей фруктів і овочів, як об'єктів збереження. Проте, відсутність їх узагальненої кількісної характеристики по етапах життєвого циклу (або товарного життя продукту) у взаємозв'язку з ендогенними й екзогенними чинниками не дозволяло дотепер науково обґрунтовувати технологічні процеси і їхнє апаратне оформлення, що визначало емпіричний шлях розвитку холодильної технології збереження харчових продуктів.

Автором уперше встановлені закономірності формування і зміни властивостей фруктів і овочів у взаємозв'язку з процесами енергетичного обміну з навколишнім середовищем, розроблена схема енергетичного балансу карпогенеза, дане наукове визначення терміну «зберігальність» і отримане рівняння зберігання енергії для післязбиральних фенологічних фаз розвитку рослинних об'єктів є базовим для процесів холодильної технології.

2. Властивості продуктів, що безперервно змінюються в процесі метаболізму, залежать від фіксованої ендогенної енергетичної характеристики рослинного об'єкта, варіації екзогенних чинників у кожний період часу і визначають точні параметри зберігальності, що, за умов мінімізації витрат, обумовлює необхідність застосування змінних режимів збереження.

Дане наукове положення сформульоване на підставі закону Гесса для хімічних реакцій, що постулюють незалежність їхнього теплового ефекту від шляхів переходу системи з початкового в кінцевий стан, досліджень і узагальнень Burton W.G, Green W.P., Wukill W.V., Rose D.H. теплового балансу дихання, із якого випливає, що майже вся енергія, що визволяється при цьому, (понад 90...96%) переходить у теплоту, і отриманого рівняння зберігальності.

До наукової новизни можливо віднести розроблену автором математичну модель дихання, що відповідає фізичній природі цього процесу, отримане узагальнене рівняння для біоенергетичної характеристики фруктів і овочів, установлені кількісні значення цього показника, введення в

розрахункові залежності параметра процесу, як узагальненої характеристики впливаючих екзогенних чинників збереження, і отримане рівняння для потенціалу збереження, що зв'язує воедино всі необхідні складові: властивості продуктів, режимні параметри і зберігаємих продуктами енергетичний ресурс.

На підставі встановленого взаємозв'язку між енергетичними і матеріальними втратами продуктів вперше отримані теоретичні залежності для втрат від спаду маси (сухих речовин і води), гнилі, зниження якості, що включають біоенергетичні показники конкретних об'єктів збереження. Розрахунки, які проводилися раніше, були обмежені, по суті, тільки втратами маси, і то за даними, усередненими для окремого виду продукту. Відсутність розрахункових даних по інших видах втрат і показниках якості не дозволяло здійснювати розробку оптимальних режимів збереження і технологічного обладнання – з позиції мінімізації загальних втрат і зберігання якості фруктів та овочів.

Новими науковими досягненнями є також: теоретичне обґрунтування екстремального характеру загальних втрат продукту, із визначенням їхнього мінімуму при оптимальних співвідношеннях чинників середовища в розрахункові періоди часу; розроблені математичні моделі лежкості і зберігаємості; оптимальні режими збереження і транспортування плодоовочевих вантажів; встановлений взаємозв'язок параметрів зберігаємості з вартісними показниками збереження; апробація наукових розробок на експериментальному матеріалі власних досліджень і робіт інших авторів; розробка методика практичного використання розробок із прикладними додатками для холодильної технології плодоовочевих продуктів.

Практична значимість отриманих наукових результатів полягає в тому, що на підставі біоенергетичної моделі зберігаємості і отриманих математичних залежностей, що зв'язують властивості продуктів із режимними параметрами і кінцевими результатами збереження, можуть бути вирішені основні прикладні задачі холодильної технології: здійснений відбір продукції для збереження, встановлені оптимальні параметри технологічних процесів по етапах БХТЛ: підготовчих операцій (польового збереження, попереднього охолодження, місцевих перевезень вантажів і інших), основного збереження; рефрижераторного транспортування, у т.ч. з урахуванням чинника дозрівання кліматеричних плодів, розроблені науково обґрунтовані норми втрат, засоби збереження і транспортування, конструкції систем охолодження, розраховані показники комерціалізації плодоовочевих вантажів і т.д.

На підставі результатів досліджень розроблена: методика розрахунку і прогнозування зберігаємості; експрес-методи оцінки лежкоздатності фруктів і овочів; діаграми лежкості рослинної сировини і дозрівання кліматеричних плодів; оптимальні режими збереження фруктів і овочів з урахуванням їхніх вихідних властивостей і післязбирального стану; рекомендації по авторефрижераторному транспортуванню швидкозривних плодів на дальні відстані і холодильне збереження

плодоовочевих вантажів; методика нормування втрат і зміни якості фруктів і овочів у післязбиральний період; конструктивні рішення нових систем охолодження для авторефрижераторів і холодильних камер фруктосховищ, що використані на промислових об'єктах; алгоритми і програми комп'ютерного розрахунку втрат продуктів, зміни показників якості, оптимізації режимних параметрів, комерціалізації збереження і транспортування плодоовочевих вантажів.

Особистий внесок автора в одержанні наукових результатів роботи полягає в розробці біоенергетичної концепції зберігаємості фруктів і овочів, створенні математичних моделей, у постановці і рішенні задач оптимізації процесів збереження і транспортування, розробці алгоритмів програм і комп'ютерних методів розрахунків, методик практичного застосування наукових результатів роботи, конструкцій систем охолодження для стаціонарних і транспортних холодильників, розробці конструкторської і технічної документації, виготовленні дослідних зразків систем розподілу охолоджуючого середовища, проведенні експериментальних досліджень у модельних, стендових і промислових умовах, опрацюванні результатів і апробації математичних моделей.

На стадії апробації наукових розробок дослідження в експериментальних і промислових умовах виконувалися разом із д.т.н. Мустьяца В.Т., аспірантом автора к.т.н. Картофяну В.Г., к.т.н. Козьмиком В.А. і іншими співавторами, відзначеними в загальних публікаціях. Особливий внесок у науково-методичний розділ роботи вніс науковий консультант д.т.н. професор Чумак І.Г.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації апробовані на Всесоюзних науково-практичних конференціях: по холоду (Ташкент, 1985; Кишинів, 1987; Москва, 1988; Одеса, 1989; Ленінград, 1991), по автоматизації (Москва, 1989); на Міжреспубліканській конференції по холоду (Краснодар, 1992); на Всесоюзній конференції по теоретичній і прикладній карпологиї (Кишинів, 1989); на XVIII Конгресі Румуно-Американської Академії наук і мистецтв (Кишинів, 1993); на Міжнародних конференціях з харчових виробництв (С.-Петербург, 1999; Сибирь, 2002); на конференції Міжнародного інституту холоду (Софія, 1998); на Міжнародних конференціях по холоду (Одеса, 2001, 2002). Результати досліджень по темі дисертації приведені в 55 опублікованих роботах, включаючи 3 монографії в співавторстві, 3 оглядові інформації, 19 статей у наукових журналах, 23 публікації у виді доповідей, тез доповідей у матеріалах конференцій, 7 авторських посвідчень і патенту.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'ятих глав, висновків, списку літератури і додатків. Загальний обсяг роботи складає 406 с., включаючи 307 сторінок основного тексту, 184 рисунки і 62 таблиці. Список бібліографічних джерел включає 475 найменувань на 25 с. Додатки, оформлені окремою книгою, подані на 230 с.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертації, показаний зв'язок із науковими програмами, сформульована мета роботи і задачі. Приведені наукові положення, що виносяться до захисту, конкретний внесок автора, інформація про апробацію і публікації по темі дисертації.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми зберігальності фруктів і овочів. Розглянуто властивості рослинних об'єктів, їхня зміна в життєвому циклі (карпогенезі) t , що складається з окремих фенологічних фаз Δt : $t_F = \sum \Delta t_F$, який із позиції збереження може бути розділено на дві групи: дозбиральна (ріст; розвиток, а для некліматеричних продуктів, дозрівання) і післязбиральна (дозрівання, зрілість, старіння – для рослин із річним циклом; спокій, диференціація нирок, ріст паростків – для дворічних овочів). Показано, що дані фази взаємозалежні між собою – сума температур у вегетаційний період ΣT корелює із віком плоду $t_{пл}$, а останній – із терміном його збереження $t_{зр}$: $K_{кор} = 0,904...0,987$ (рис. 1), що свідчить про поширення законів фенології і на післязбиральний період, що включає технологічні процеси збереження і транспортування.

Кореляційний аналіз показав наявність взаємозв'язку як між властивостями самих рослинних продуктів, так і між ними і результатами збереження: тіснота зв'язку між органолептичними показниками (консистенцією, забарвленням, смаком і пахощами) визначилася величиною $K_{кор} = 0,730...0,990$; між цими показниками і показниками хімічного складу (кількістю СР, пектинових речовин, сумою цукрів, кислотністю, Ц/К-індексом) $K_{кор} = 0,710...0,999$; ступенем зрілості і виходом стандартної продукції $K_{кор} = 0,790...0,999$; між кількістю цукрів і кислот і тривалістю збереження $K_{кор} = 0,677...0,896$.

Узагальнення літературних даних показало, що зміна властивостей продуктів впливає на рівень дихання, як домінуючого процесу обміну речовин: між його інтенсивністю і зміною показників хімічного складу (цукрів, білків, жирів, вітаміну С, пектинових речовин і інших) і накопиченням токсичних продуктів (спирту, ацетальдегіда, деяких кислот) виявлений тісний взаємозв'язок ($K_{кор} = 0,956...0,985$). Встановлений обернений взаємозв'язок із тривалістю збереження ($K_{кор} = 0,952$) обумовлює необхідність зниження рівня дихання рослинних об'єктів, енергія якого (понад

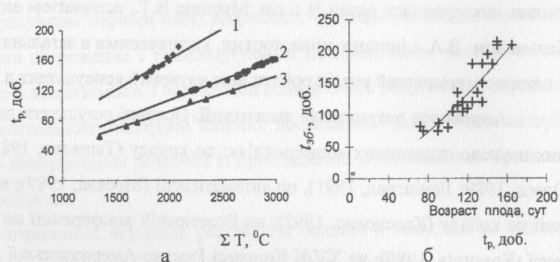


Рис. 1. Залежність між енергією, що надходить, і розвитком плодів: а – вплив ΣT на вік плодів t_p яблука (1), винограду (2) і персиків (3); б – віку яблука t_p на тривалість їхнього збереження $t_{зб}$.

90... 96 %) виділяється у виді тепла.

Випаровування вологи, що є другим по значимості процесом енергообміну рослинного продукту з навколишнім середовищем, взаємозалежно з його випарною спроможністю, що впливає на величину втрат ($K_{кор} = 0,813$). Запропонована автором класифікація фруктів і овочів по тривалості збереження в залежності від величини коефіцієнту випарної спроможності ϵ_H включає розподіл їх на три групи: із коротким ($\epsilon_H \geq 1$); середнім ($\epsilon_H = 0,1...1$) і тривалим ($\epsilon_H = 0,1$) терміном збереження.

Регламентуємо сьогодні з метою збереження параметри лежкості фруктів і овочів відрізняються дуже великим діапазоном зміни (різниця між мінімальним і максимальним терміном збереження складає 4...15-кратний розмір), істотною розбіжністю даних різних авторів, і у своїй більшості не враховують сортові розходження, термін збору (ступінь зрілості), застосовані технології опрацювання і збереження.

Незважаючи на те, що основним критерієм вибору технологічних режимів і технічних засобів повинні бути властивості продуктів, на практику цей принцип майже не використовується, як що брати до уваги не загальні, а їхні індивідуальні властивості (у розтині сортименту, терміну дозрівання, вихідної якості) і фізіологічні зміни, що протікають у післязбиральний період. Це пов'язано з відсутністю узагальнених даних про властивості рослинних продуктів, як об'єктів збереження, взаємозв'язку змін цих властивостей із режимними параметрами і втратами продуктів. У результаті не завжди виправданого узагальнення емпіричних даних регламентуємо режими збереження, транспортування і опрацювання, застосовані системи охолодження і регулювання параметрів середовища виявляються недієздатними створити сприятливі умови утримання фруктів і овочів, що нерідко призводить до підвищених втрат, невиправданих витрат енергії і комерційних збитків.

Вивчення, аналіз і узагальнення відомих літературних даних про сучасний стан проблеми зберігальності фруктів і овочів дозволили визначити основні напрямки досліджень, сформулювати мету і задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено методиці проведення теоретичних і експериментальних досліджень властивостей продуктів, систем охолодження камер стаціонарних і транспортних холодильників, режимних параметрів збереження і транспортування, показників зберігальності плодоовочевих вантажів.

У теоретичну частину ввійшло: побудова математичних моделей процесів, що протікають у рослинних продуктах (що являють собою об'єкти відкритої термодинамічної системи з зосередженими параметрами), рішення задач оптимізації технологічних параметрів, розробки алгоритмів програм розрахунку і прогнозування зберігальності. В основу методики експериментальних досліджень покладено комплексний підхід, що включає проведення взаємозалежних аеродинамічних,

теплотехнічних і технологічних досліджень на модельних, експериментальних і промислових об'єктах з послідовними етапами робіт. Подані, поряд із загальними методами досліджень по видах робіт, методики проведення специфічних досліджень зберігальності плодовоовочевих продуктів: по етапах БХТЛ, у залежності від ступеня зрілості, застосованих систем охолодження, заданих технологічних параметрів, виду технологічних операцій і інших, дозволяти встановити вплив окремих чинників на результуючі показники збереження і проводити багатofакторний аналіз.

У перелік обумовлених параметрів включені показники вихідних властивостей рослинних об'єктів, характеристики технологічних процесів, необхідні і достатні для рішення задач математичного моделювання і прогнозування результатів збереження, і зіставлення даних експерименту і розрахунку. У процесі вимірів і визначення чисельних значень величин використані прилади і методи, що дають достовірні результати при припустимому значенні похибки, що не перевищує 5...10%.

У **третьому розділі** приведені результати теоретичних досліджень біоенергетичних характеристик фруктів і овочів, параметрів їхньої лежкості і зберігальності. На першому етапі були досліджені питання накопичення і витрати енергії рослинними продуктами. На підставі запропонованої схеми енергетичного балансу карпогенезу (рис. 2, а), яка зв'язує енергію, що запасється плодом E_3 , із засвоєною від сонця E_M і що витрачається в процесі життєдіяльності $E_{П}$, складено балансове рівняння енергії

$$E_3 = E_M - E_{П},$$

відповідно до якого існує максимум E_3 в один із періодів дозрівання t_3 , коли $dE_M = dE_{П}$.

Якщо в цей момент ($dE_3 = 0$) зробити збір плоду, він буде мати максимальну енергію E_{3C} . Координата часу t відповідає оптимальному терміну збору, а різниця часу $\Delta t_C = t_3 - t_C$ являє собою тимчасовий ресурс для збереження. Зона вирощування і кліматичні умови року змінюють співвідношення E_M і $E_{П}$ (рис. 2, б) і координату E_{3C} (к. t_3) – для скоростяглих видів, сортів і в зоні з високою теплозабезпеченістю вона зміщається в напрямку скорочення терміну вегетації.

У період післязбирального збереження (коли приплив енергії до плоду $E_M = 0$) накопичений плодом енергетичний ресурс E_{3C} скорочується в міру витрати їм енергії ΔE , і в енергетичному змісті збереженість продукту являє собою заощаджену енергію E_C :

$$E_C = E_{3C} - \Delta E. \quad (1)$$

Для розв'язку рівняння (1), що є базовим для технології збереження свіжої рослинної сиро-

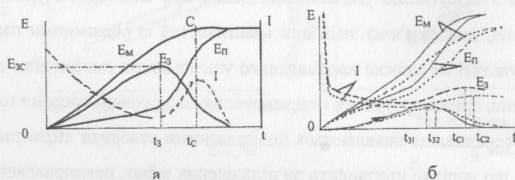


Рис. 2. Схема енергетичного балансу: а – загального карпогенезу; б – для різноманітних зон вирощування плодів або кліматичних умов сезону (суцільна і пунктирна лінії).

вини, треба буде визначити дві складові – початковий енергетичний ресурс продукту E_{3C} і втрати енергії ΔE .

Встановлено, що величина E_{3C} добре корелює з кількістю сухих речовин n_S (за результатами опрацювання даних для 78 видів фруктів і овочів отримано: $K_{кор} = 0,9336...0,9785$) і може бути подана лінійною залежністю $E_{3C} = A \cdot n_S$.

Для розкриття величини ΔE були використані дані досліджень Burton W., Green W., Wutres T. по енергетиці дихання (відповідно до якого понад 90...96% енергії, яка звільняється у процесі реакцій метаболізму ΔE , розсіюється в вигляді тепла Q), які дозволили з похибкою до 10% прийняти допущення: $\Delta E \approx Q$, і положення закону Гесса для хімічних реакцій (постулюючих незалежність їх теплового ефекту від шляхів переходу системи з початкового в кінцевий стан), перенесені на післязбиральний процес карпогенезу, коли на кожній фазі розвитку продукт повинний виділяти постійну кількість теплоти: $Q_i = const$. За умови поширення цих положень на весь процес збереження, справедливо рівняння

$$\Delta E_3 = Q = \sum Q_i = const, \quad (2)$$

який цілком відповідає принципам фенології. Його апробація на одному із характерних метаболічних процесів – климактерії, де діапазон часу обмежений мінімумом і максимумом інтенсивності дихання, підтвердила незалежність кількості тепла, що виділилося, Q за цей процес (визначеного по формулі $Q = \int AR(t)dt$ по інтенсивності подиху R із перерахунком на теплоту) від ряду чинників збереження (дослідні дані Biale J.B., Kidd F., West C., Hartmann C., Popa E., Robinson J.F. для груш, яблук, дині, томатів, абрикосів, бананів).

Зважаючи на те, що теплота яка звільняється, відводиться від продукту конвекцією (явне тепло) і шляхом випаровування вологи (сховане тепло), представляючи собою загальну теплоту дихання, що грає винятково важливу роль в енергетичному обміні фруктів і овочів з навколишнім середовищем, було проведено вивчення цього процесу у взаємозв'язку з різноманітними чинниками, що впливають. Необхідність його математичного опису диктувалася невідповідністю існуючих моделей, поданих безмежними і монотонними функціями, фізичній природі процесу, що здійснюється в температурно-тимчасовому діапазоні, обмеженому межами життєздатності біологічного об'єкту.

Наявність нижньої і верхньої граничної температури (викликає загибель організму і, відповідно, припинення дихання), максимуму подиху при критичній температурі, після якого відзначається його спад, дозволила уявити математичну модель у виді (із дійсними коренями) поліноміального рівняння 4 ступеня:

$$\frac{R(T)}{R_0} = \left(\frac{T}{T_{M \min}} - 1\right) \left(\frac{T}{T_{M \max}} - 1\right) [1 - a_T BT + (BT)^2],$$

де $R(T)$, R_0 – інтенсивність подиху у функції від поточної температури T та при фіксованій темпе-

ратури $T = 0^{\circ}\text{C}$, відповідно, $\text{мг(мл)CO}_2/(\text{кг}\cdot\text{год.})$; T_{Mmin} , T_{Mmax} – нижня і верхня граничні температури, відповідно, $^{\circ}\text{C}$; a , b – коефіцієнти, що залежать від властивостей продукту.

Зважаючи на те, що використання даного рівняння, незважаючи на високий ступінь достовірності апроксимації дослідних даних ($R^2 = 0,996\dots 1,000$), затрудняється через не вивченість поведінки фруктів і овочів у закритичному температурному діапазоні ($T_{xp}\dots T_{Mmax}$) і непевності значення температури T_{Mmax} , для практичного використання запропоновані спрощені моделі подиху – поліноміальна третього ступеня і лінійна, що не враховують параметр T_{Mmax} .

Перевірка адекватності всіх цих моделей (включаючи і традиційну експоненціальну) на експериментальних даних із притягненням 20 незалежних джерел інформації з респірації 30 видів фруктів і овочів (209 дослідів, понад 1000 визначення параметрів R і q) в інтервалі температур від 0 до 30°C (рис. 3) показала, що

кращі результати дають поліноміальні моделі ($R^2 = 0,942\dots 1,000$), а лінійна модель має деяку перевагу перед експоненціальною ($R^2 = 0,882\dots 0,994$ проти $R^2 = 0,808\dots 0,985$, відповідно).

Це дозволило прийняти для подальшого аналізу лінійну модель подиху, що проста, достатньо достовірна і виражена у виді теплових рівнянь для питомої кількості теплоти q ($q = 10,7 \cdot R$, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{год.})$) або загальної кількості теплоти $Q = \Sigma(q \cdot t)$, $\text{кДж}/\text{кг}$:

$$Q = q_0 t (1 + kT) = kq_0 \Sigma t (T - T_{Mmin}), \quad (3)$$

зручна для практичних розрахунків, тому що дозволяє розділити параметри, відповідальні за ендогенні і екзогенні чинники життя рослинного організму: комплекс kq_0 уявляє питому швидкість витрати акумульованого енергетичного ресурсу, а $t(T - T_{Mmin})$ – температурно-тимчасовий параметр процесу P_T . У результаті опрацювання великого експериментального матеріалу встановлені значення показника kq_0 для 29 видів фруктів і овочів, у т.ч. з урахуванням (в окремих випадках) терміну дозрівання і ступеня зрілості.

Для відомого продукту ($kq_0 = const$) із кінцевою фазою життєвого відрізка ($Q = const$) при $T = const$ рівняння (3) приводиться до ТТ-моделі закінченого метаболічного процесу:

$$P_T = t(T - T_{Mmin}) = const, \quad (4)$$

в якій параметр процесу P_T являє собою суму активних температур (із розмірністю KD –

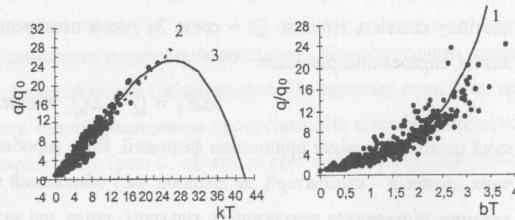


Рис. 3. Характеристики моделей подиху: 1 – експоненціальної; 2 – лінійної; 3 – поліноміальної $Pol 3$ (лінії – розрахунок, значки – досліді).

KelwynDay; К-доба), де за точку відліку (прийняту для післязбиральних фаз карпогенезу в якості біологічного нуля) прийнята температура T_{Mmin} , що і дало назву методу аналізу – SAT (Sum of Active Temperatures).

Апробація методу SAT на експериментальних даних Лобанової А.С., Метлицького Л.В., Рубіна Б.А., Смирнова В.П., Трисвятського Л.А., Шишкіної Н.С., Biale J. V., Gorini F. L., Haller M. H., Kidd F & West C., Sato R., Tijskens L. M. M., що досліджували закінчені процеси клімактерії, збереження, спокою, розвитку мікроорганізмів, протікання раневих реакцій, зміни показників дозрівання, показала величину кореляції: $K_{кор} = 0,953\dots 1,000$, а використання його для опису динаміки процесів (коли параметр P_T виступає як поточна координата: $P_T = var$) і апробація на експериментальному матеріалі досліджень Fidler J.C. & Nort C.J., Gorini F.L. at al., Griffiths D.G., Haller M. H., Kidd F & West C., Sato R., Singh K., Schulz H., у яких вивчалася зміна інтенсивності дихання, кількості вуглеводів, перетворення пектинових речовин, розм'ягчення м'якуша і зміна забарвлення плодів при збереженні, показала задовільну достовірність апроксимації дослідних даних за допомогою поліноміальних трендів ($R^2 = 0,754\dots 0,959$).

З рівняння енергії (1) випливає, що потенційна спроможність рослинної сировини до збереження визначається не абсолютними значеннями енергетичних показників, а співвідношенням між різноманітними видами енергії. Для узагальненої енергетичної характеристики процесу це рівняння після перетворення, з урахуванням залежностей (3) і (4), було приведено до виду:

$$\frac{E_C}{E_{3C}} = \frac{E_C}{E_{3C}} = 1 - \frac{\Delta E}{E_{3C}} = 1 - \frac{kq_0}{E_{3C}} t (T - T_{Mmin}) = 1 - FP_T. \quad (5)$$

Вхідний параметр в рівняння (5)

$$F = \frac{kq_0}{E_{3C}} \quad (6)$$

являє собою індивідуальну ендогенну характеристику рослинного продукту (із розмірністю $1/\text{KD}$) і характеризує відносну швидкість витрати його енергетичного ресурсу. Емпіричні значення цього показника, а також інших енергетичних характеристик для 22 видів фруктів і овочів приведені в дисертації.

Рівняння (5) є залежністю для потенціалу збереження продукту в ідеальних умовах, без порушення природних процесів метаболізму. Воно виражає взаємозв'язок збереження енергії продукту E_C з його властивостями F і параметром процесу P_T . З графіка цієї залежності (рис. 4) випливає, що зміна E_C у процесі збереження ($P_T = var$) протікає по лінії $F = const$. У продуктів із гіршим енергетичним показником F ($F_2 > F_1$) при однакових умовах протікання процесу ($P_T = const$) потенціал збереження буде нижче. Краще зберігання енергетичного потенціалу досягається при зниженні величини P_T (тривалості збереження t , або температури T).

У реальних умовах впливу екзогенних чинників потенціал збереження зменшується через змушені втрати продуктом своєї енергії. Ці втрати пов'язані з витратою запасних речовин, що не тільки впливає на життєздатність самого біологічного об'єкта, але і знижує його цінність як продукту харчування і товару, призначеного для продажу.

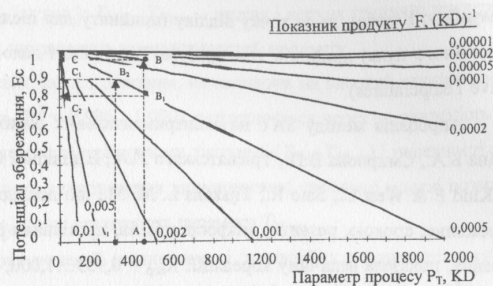


Рис.4. Залежність потенціалу збереження \bar{E}_S від показника продукту F і параметра процесу P_T .

Матеріальним вираженням енерговитрат продукту ΔE є різноманітні види втрат: від природного спаду маси ΔG_W , від гнилості ΔG_D і внаслідок погіршення якості ΔK :

$$\Delta E = \Sigma \Delta E_i = \Sigma Q_i \sim \Sigma (\Delta G_W + \Delta G_D) + \Delta K \quad (7)$$

Аналіз відомих робіт і математичного опрацювання експериментальних даних підтвердили високу тісноту зв'язку між цими видами втрат (виділяємим теплом і спадом маси), – наблизнення залежностей лінійними трендами показало величину достовірності апроксимації: $R^2 = 0,988...0,999$.

Для загальної питомої кількості виділяемого продуктами тепла q , що включає частку сухого тепла q_S і частку вологого тепла q_M , отримано рівняння

$$q = q_S + q_M = q_S \left(1 + \frac{q_M}{q_S}\right) = a(T - T_{Mmin}) [1 + b(1 - RH)],$$

де a і b – постійні коефіцієнти, що залежать від властивостей продукту.

Дане рівняння добре узгоджується з дослідями Гришина М.А., Листопад А.Я. із citrusовими плодами (апроксимація лінійними трендами показала: $R^2 = 0,9852...0,9957$) і адекватно відображає фізичну картину дихання: в області низьких температур при $T = T_{Mmin}$ величина $q = 0$; у повітрі, на-

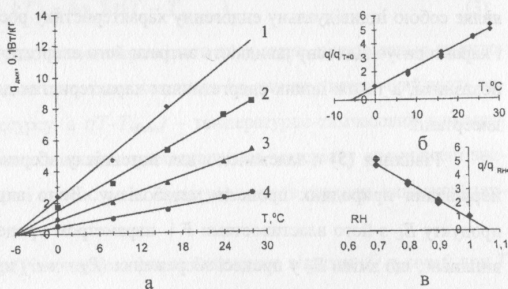


Рис. 5. Апроксимація дослідних даних інтенсивності тепловиділень citrusових плодів q від температури T і відносної вологості повітря RH : а – $q = f(T)$ для $RH = var$: 1 – $RH = 0,7$; 2 – $RH = 0,8$; 3 – $RH = 0,9$; 4 – $RH = 1$; б – $q/q_{RH=1} = f(T)$ для $RH = var$; в – $q/q_{RH=1} = f(RH)$ для $T = var$.

сиченому водяними парами ($RH = 1$), $q = q_S$ (рис. 5).

Вихідна залежність для зменшення маси ΔG_W , що утворюється за рахунок втрат сухих речовин (СР) ΔG_S при диханні і води ΔG_M – при транспірації:

$$\Delta G_W = \Delta G_S + \Delta G_M,$$

була розкрита у відношенні її складових шляхом математичного опрацювання теоретичного і експериментального матеріалу і приведена до зручного для практичного використання виду:

$$\Delta G_W = FP_T \prod_{i=1}^N K_i [n_S + k_{Tr}(1 - RH)] = F \cdot t \cdot k_{Tr} \cdot K_T \cdot K_{RH} \cdot K_{Nw} \cdot K_{CO}, \quad (8)$$

де K_i – узагальнені параметри середовища: K_T – температури: $K_T = (T + \Delta T_R) - T_{Mmin}$; K_{RH} – вологості: $K_{RH} = 1 + \frac{n_S}{k_{Tr}} - RH$; K_N – рухливості: $K_N = (1 + aN)$; K_{CO} – складу: $K_{CO} = a + bC_O + cC_{CO} + dC_{O}C_{CO}$; ΔT_R , T – радіаційна температурна добавка, температура середовища, відповідно, $^{\circ}C$; RH – відносна вологість; N – кратність повітрообміну, 1/год.; C , C_{CO} – концентрація O_2 і CO_2 , відповідно, %; a , b , c , d – коефіцієнти.

Вхідний у рівняння (8) тепловий коефіцієнт транспірації k_{Tr} (його значення для різноманітних видів фруктів і овочів приведені в дисертації), пропорційний співвідношенню долей вологого і сухого тепла, і є ще однією ендогенною характеристикою продукту:

$$k_{Tr} = 0,01136 \frac{k_{всн} \cdot r \cdot (1 - n_S)}{kq_0},$$

де $k_{всн}$ – коефіцієнт випарної спроможності продукту, %/(доба·мбар); r – схована теплота випару: $r = 2500$ кДж/кг.

З рівняння (8) випливає, що величина ΔG_W стає рівною нулю у двох критичних точках: при досягненні криоскопічної температури T_{Mmin} і перенасиченого стану вологості $RH_0 = 1 + n/k_{Tr}$, а частка втрат сухих речовин \bar{n}_S у загальних втратах маси буде величиною змінної, що залежить від властивостей продукту (n_S ; k_{Tr}) і відносної вологості RH :

$$\bar{n}_S = \frac{\Delta G_S}{\Delta G_W} = \frac{n_S}{n_S + k_{Tr}(1 - RH)}$$

Апробація залежності для втрат маси, яка була проведена на дослідних даних Волкінда І.Л., Лобанової А.С., Пономарьової Н.П., Скорікової Ю.Г., Смирнова Ю.Г., Турбіна В.А., Фікійна А.Г., Цинмана Н.М. і Янюка В.Я., Bottini E., Fidlir J.C. & North C.J., Gas A., Joze A., Munoz-Delgado, Lentz C. P. & Rooke E. A., Sastry S. K. & Buffington D.E., Smith A. L. M., Schroth H. N. & Hofer B., Mann G., USDA, Vahl L., Wilcke C., показала задовільне узгодження розрахунку з експериментами: $K_{кор} = 0,9612...0,9999$.

З аналізу відомих робіт Вавілова Н.И., Дементьєвої М.И., Метлицького Л.В., Макашвілі

Г.А., Рубіна Б.А., Чигова Г.Б., Børg-Sørensen L., Burton W.G., Labuza Th. P., Meffert F. H. Th., Veercamp C. H., van Beek G., Tijssens L. M. M. & Hertog M. L. A. T. M і інших авторів в області мікробіології, фітопатології, рослинництва і фізіології рослин впливає, що втрати від гнилої обумовлені великою розмаїтістю причинно-слідчих механізмів їх виникнення, тому пошук закономірностей і кількісне визначення пов'язані з трьома основними чинниками: об'єктом – продуктом, суб'єктом поразки і навколишнього середовища.

З огляду на біологічну спорідненість збудників біологічного псування з рослинними об'єктами, тісний взаємозв'язок із життям рослини-хазяїна (аналіз за допомогою методу SAT показав: $K_{кор} = 0,9632...0,9987$), тенденцію розвитку гнилого процесу на продуктах у прямо пропорційному співвідношенні із збільшенням біомаси мікроорганізмів (у періодичній культурі), і обмеженням їхнього життєвого циклу першими двома фазами – початкової і росту, зроблена спроба описати цей процес простою нелінійною функцією.

У якості базового було використано відоме кінетичне рівняння мікробіологічного росту, що після модифікації його для умов енергообміну між продуктом і популяцією мікроорганізмів, було приведено до виду:

$$\Delta E_D = \Delta E_{m/o} \exp(F_{m/o} P_{m/o}),$$

де $\Delta E_{m/o}$ – початкова енергія вихідної популяції, відповідає енергії, що затрачується продуктом на протидію росту популяції; $\Delta E_{m/o} = FP$; $F_{m/o}$ – коефіцієнт швидкості росту мікроорганізмів на живильному середовищі продукту, 1/KD; $P_{m/o}$ – параметр процесу росту популяції, KD.

Після ряду підстановок у це рівняння і перетворень (з урахуванням прийнятих допущень і введення емпіричних констант) було отримано кінцеве рівняння для втрат від гнилої

$$\Delta G_D = FP_D \exp(\mu FP_D) = \frac{F t K_T K_{CO}}{K_{RH} K_{ND}} \exp\left(\frac{F t K_T K_{CO} \mu}{K_{RH} K_{ND}}\right), \quad (9)$$

де $K_{ND} = 1 + bN$; $b = 0,3$ ($K_{кор} = 0,999$); $\mu \approx 7$ ($K_{кор} = 0,979$), яке після апробації на дослідних даних багатьох авторів (рис. 6, а) показало задовільне узгодження розрахунку і експериментів ($K_{кор} = 0,9977...0,9997$).

Для опису окремих фаз можуть бути використані лінійні рівняння ($R^2 = 0,9475$): лаг-фаза

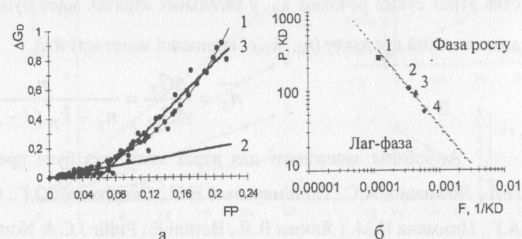


Рис. 6. Характеристики втрат від гнилої плодів і ягід: а – залежність $\Delta G_D = f(FP)$: досліді, 1, 2, 3 – розрахунок по формулах: 1 – (9); 2 – (10б); 3 – (10а); б – взаємозв'язок характеристик консистенції і мікробіологічних поразок (пунктиром позначена розрахункова лінія розподілу фаз розвитку патогенних мікроорганізмів, значками – досліді): 1 – яблука; 2 – груші; 3 – персики; 4 – томати.

$$\Delta G_D = FP; \quad (10a)$$

фаза росту

$$\Delta G_D = 5,5(FP - 0,06). \quad (10б)$$

Рішення рівнянь (10а) і (10б) дає залежність для значення $(FP)_{cr}$:

$$(FP)_{cr} = 0,073, \quad (11)$$

фіксує перехід від лаг-фази до інтенсивного росту мікроорганізмів – в момент дозрівання плоду і появи сприятливих умов для розвитку патогенів (живильного середовища рослини-хазяїна з високим вмістом цукру, розпушеної структури тканини, ослабленого імунітету і інших чинників), що підтверджує рис. 6 б, де відзначені значення параметра процесу $P_T = const$ граничного розмягчення м'якшу деяких плодів при дозріванні і зазначена гранична пряма $(FP)_{cr} = 0,04$, що відокремлює період збереження з лаг-фазою розвитку патогенів від періоду активного росту їхньої популяції. Це обмеження зони практичних втрат від гнилої (при $(FP)_{cr} < 0,04$ або $(FP)_{cr} < 0,07$, коли розмір втрат не перевищить 10% бар'єр), може бути використане в практиці збереження для зниження ступеня ризику.

Залежність для загальних втрат від спаду маси і гнилої відповідно до рівнянь (8) і (9) буде мати вигляд:

$$\Sigma \Delta G = F \cdot t \cdot K_T K_{RH} K_{ND} K_{CO} + \frac{F \cdot t \cdot K_T K_{CO}}{K_{RH} K_{ND}} \exp\left(\frac{F \cdot t \cdot K_T K_{CO} \mu}{K_{RH} K_{ND}}\right). \quad (12)$$

Апробація цієї залежності на режимах збереження різноманітних видів фруктів і овочів на повітрі і у газовому середовищі при варіації температури в межах 0... 20 °С, відносної вологості 65...100%, кратності повітрообміну 0...30 1/год., показала задовільну збіжність результатів ($K_{кор} = 0,9883...0,9991$).

Для теоретичного опису зміни показника якості ΔK за основу була прийнята система його оцінки по відповідності діючим стандартам. Тому що $\Delta K \sim \Sigma \Delta G \sim \Sigma (\Delta G_W + \Delta G_D)$, ті втрати якості можливо сформулювати через коефіцієнт зниження якості K_Q , а частку продукції, що відповідає стандартизованим показникам якості, – через K_{cm} :

$$\Delta K = K_Q \Sigma \Delta G; K_{cm} = 1 - \Delta K. \quad (13)$$

Аналіз і опрацювання відомих дослідних даних Беренштейна И.Б. і Ціпруш Р.Я., Курманової Г.А. і Сперанського В.Г., Соловйова Н.А., Щербец Б.Л., Остерло А. із спів., Фікіяна А.Г. по збереженню яблук, груш, слив, вишні і персиків показали, що величина $K_Q = 0,6$ (достовірність апроксимації залежності $\Delta K = f(\Sigma \Delta G)$ лінійним трендом склала: $R^2 = 0,850$).

Теоретичне обґрунтування параметрів лежкості пов'язане з пошуком залежності терміну практичного зберігання продуктів від їхніх властивостей і оптимальних режимів, що гарантують прийнятний рівень якості. Якщо прийняти в рівнянні (12), що рекомендується більшістю авторів

(Дворніков В.П. із спів., Скрипніков Ю.Г., Остерло А. із спів., Polderduk I. J., Boerrigter H.A.M., Tjiskens L.M.H.) 10% ліміт втрат ($\Sigma \Delta G = 0,1$), воно прийме вигляд:

$$\Sigma \Delta G = F \cdot t \cdot K_T \cdot k_{TR} \cdot K_{RH} \cdot K_{Nw} \cdot K_{CO} + \frac{F \cdot t \cdot K_T \cdot K_{CO}}{K_{RH} \cdot K_{Nd}} \exp\left(\frac{F \cdot t \cdot K_T \cdot K_{CO} \mu}{K_{RH} \cdot K_{Nd}}\right) = 0,1. \quad (14)$$

Рішення задачі лежкості для цільової функції $t \rightarrow \max$, дозволило встановити режимні параметри процесу RH і N , що задовольняють цій умові для різноманітних видів сировини (F, n_s, k_{TR}) при $T = opt = const$ (оптимальні характеристики лежкості для 14 видів фруктів і овочів приведені в дисертації, окремі результати роботи приведені на рис. 7).

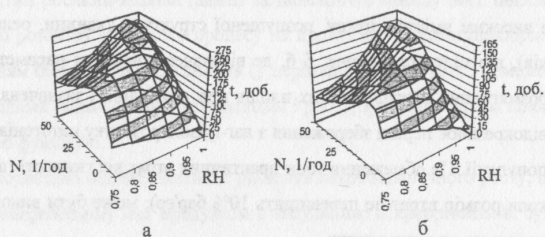


Рис. 7. Діаграми лежкості: а – яблуку; б – винограду.

Наявність взаємозв'язку між параметрами лежкості і критичного порогу розвитку

патогенного процесу ($FP_{Tcr} = 0,04$) дозволило розробити практичну діаграму лежкості FTT, за допомогою якої по відомому значенню показника продукту F і температури T можна встановити граничний термін його збереження t із забезпеченням гарантованої якості.

Використовуючи для характеристики стану продуктів універсальний оцінний показник її якості – відносну ціну реалізації, еквівалентну частці збереженої енергії \bar{E}_C , математична модель зберігачності для індексу вартості \bar{C}_C була подана рівнянням

$$\bar{E}_C \equiv \bar{C}_C = \frac{C_C}{C_0} = 1 - (1 + K_Q C_Q) \cdot \left[Ft K_T k_{TR} K_{RH} K_{Nw} K_{CO} + \frac{Ft K_T K_{CO}}{K_{RH} K_{Nd}} \exp\left(\frac{Ft K_T K_{CO} \mu}{K_{RH} K_{Nd}}\right) \right]. \quad (15)$$

Багатопараметрична модель для нестаціонарного режиму збереження [$T; RH; N; K_{CO} = var = f(t)$] у загальному вигляді описується диференціальним рівнянням у приростах:

$$\frac{\partial \bar{C}_C}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial \bar{C}_C}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial \bar{C}_C}{\partial RH} \Delta RH + \frac{\partial \bar{C}_C}{\partial N} \Delta N + \frac{\partial \bar{C}_C}{\partial K_{CO}} \Delta K_{CO}. \quad (16)$$

Апробація залежностей (15) і (16) на дослідних даних по збереженню фруктів і овочів показала необхідну відповідність розрахунку і експерименту ($K_{кор} = 0,9818 \dots 0,9991$).

Рішення задачі оптимізації для цільової функції $\bar{C}_C \rightarrow \max$ за умови: $K_Q = const$ і $C_Q = const$ зводиться до іншої задачі: $\Sigma G \rightarrow \min$. Задаючись значеннями t для відомого рослинного об'єкта ($F; n_s; k_{TR} = const$) при фіксованих умовах температурно-радіаційного впливу ($T; K_R =$

$const$) можна визначити оптимальні значення режимних параметрів $RH; N = var = f(t)$ при збереженні у повітряному ($K_{CO} = 1$), або газовому середовищі ($K_{CO} < 1$).

Зіставлення діаграм зберігачності (рис. 8), поданих у вигляді графіків зміни загальних втрат $\Sigma \Delta G = f(t)$ і індексу вартості $\bar{C}_C = f(t)$, для існуючих на практиці (по рекомендаціях) і оптимальних режимів збереження, розрахованих по залежностях (12) і (15), показало наявність істотних резервів зниження втрат рослинної сировини (на 20...50%) і збільшення терміну гарантованого збереження (у 1,3...2 рази).

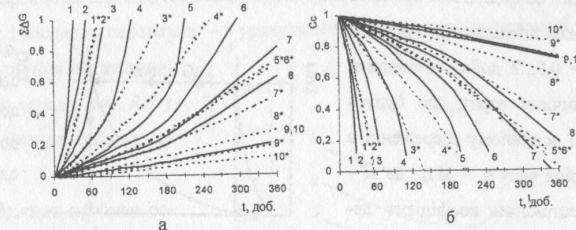


Рис. 8. Характеристики зберігачності фруктів і овочів при існуючих (суцільна лінія) і оптимальних (пунктирна лінія) режимах збереження: а – динаміка загальних втрат $\Sigma \Delta G$; б – зміна індексу вартості \bar{C}_C протягом часу: 1 – огірки; 2 – суниця; 3 – томати; 4 – персики; 5 – сливи; 6 – капуста; 7 – морква; 8 – груші (зимові); 9 – картопля; 10 – яблука (зимові).

Четвертий розділ присвячено розробці практичних застосувань біоенергетичної моделі зберігачності для рішення задач холодної технології фруктів і овочів, таких як:

- відбору продукції для збереження і попередньої оцінки його результатів;
- розрахунку і прогнозування параметрів зберігачності;
- оптимізації технологічних параметрів процесів по етапах БХТЛ;
- регламентування режимів збереження і транспортування з урахуванням властивостей рослинних продуктів, їхнього вихідного стану і поставлених задач;
- обґрунтування норм втрат і показників якості;
- удосконалення засобів збереження, конструкцій систем охолодження, систем контролю і керування технологічними процесами;
- розрахунку і оптимізації економічних показників.

Науково обґрунтована методика відбору продукції для збереження базується на цільовій функції $\bar{C}_C \rightarrow \max$ або тотожній їй функції $\Sigma \Delta G \rightarrow \min$, відносно яких основні вимоги до властивостей рослинних об'єктів (відповідно до біоенергетичної моделі зберігачності) систематизовані в такій послідовності:

1. Питома швидкість витрати енергії (виділення теплоти) $kq_0 \rightarrow \min$.
2. Коефіцієнт транспірації $k_{TR} \rightarrow \min$.
3. Кількість сухих речовин $n_s \rightarrow \max$.

Тому що в сукупності всі ці вимоги для конкретного продукту не завжди можуть бути задоволені і для умови $\Sigma \Delta G \rightarrow \min$ між даними показниками існують оптимальні співвідношення, на додаток до них запропонований експрес-метод оцінювання потенційних втрат, заснований на подібності процесів збереження (рис. 9а), і еталонні графіки (рис. 9б), за допомогою яких можна оперативно (протягом $t_e = 0,5 \dots 2$ доби) установити величину втрат, що будуть при основному збереженні в період часу $t_p = M t_e$, де M – масштабний коефіцієнт перерахунку еталонного часу t_e в реальний час t_p .

Для розрахунку і прогнозування зберігаємості фруктів і овочів розроблена загальна методика, подана в

дисертації блок-схемою, що передбачає проведення двох етапів робіт. На початковому етапі встановлюються такі характеристики об'єкту збереження:

1. Інтенсивність дихання при температурі $T = 0^\circ\text{C}$ (q_0) і не менше двох її визначень в інтервалі $T = 0 \dots 20^\circ\text{C}$ (q_T). Потім проводиться розрахунок kq_0 по формулі:

$$kq_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{q_{Ti} - q_0}{T_i} \right)}{N},$$

де N – загальна кількість визначень q .

2. Кількість СР (n_S) і розрахунок по формулі (6) показника продукту F .

3. Значення криоскопічної температури T_{Mmin} : по розміру n ($T_{Mmin} = -a \cdot n_S$, де емпіричний коефіцієнт $a \approx 0,15$); значенню k ($T_{Mmin} = -1/k$) із формули п. 1, або прямими вимірами.

4. Величина коефіцієнту транспірації k_{Tr} , визначається із залежності для питомої втрати маси ΔG_{WE} , %/доба, отриманої в досліді при постійних значеннях довільної температури T_E і відносної вологості повітря RH_E :

$$k_{Tr} = \frac{0,01[\Delta G_{WE} - F(T_E - T_M)n_S]}{F(T_E - T_M) \cdot (1 - RH_E)}.$$

Дані характеристики властивостей плодоовочевої сировини використовуються на наступних етапах роботи для розрахунку і прогнозування результатів збереження за залежностями, приведеним у розділі 3.

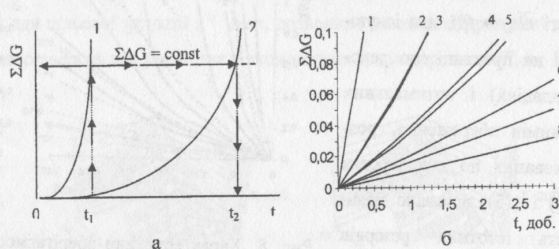


Рис. 9. До методики тестування: а – розрахункова схема: 1 – крива тестування; 2 – крива практичних утрат; б – еталонні графіки динаміки втрат: 1 – суніць; 2 – персиків; 3 – літніх сортів груш; 4 – слив; 5 – літніх сортів яблук; 6 – зимових сортів груш; 7 – винограду пізніх сортів; 8 – зимових сортів яблук.

Оптимізація режимних параметрів технологічних процесів БХТЛ, крім постановки задачі мінімізації втрат на кожному окремому етапі $\Sigma \Delta G_i \rightarrow \min$, повинна забезпечувати цю умову і для довільної кількості операцій n : $\Sigma \Delta G_n \rightarrow \min$.

У ході рішення цієї проблеми для підготовчих операцій регламентована допустима тривалість польового збереження і місцевих перевезень – з урахуванням ступеня втрати лежкості продукту, а для процесу охолодження оптимізована вологість охолоджуючого середовища RH у залежності від темпу охолодження продукту m (рис. 10).

Для рішення технологічних проблем основного збереження, пов'язаних із розрахунком, прогнозуванням і мінімізацією втрат, розроблені комп'ютерні програми PPP (Product-Parameter-Preservability): PPP-Model (Calculation) – для розрахунку і PPP-Model (Optimization) – для оптимізації, що включають основні рівняння біоенергетичної моделі зберігаємості (приклад використання однієї з них приведений на рис. 11).

У дисертації показане також використання даної програми для складу, де зберігаються партії продуктів із неоднорідними по елементах сировини властивостями і при неоднакових режимних параметрах в об'ємі приміщення, яке охолоджується.

Для умов зберігаємості продуктів кліматеричної групи задача оптимізації процесу дозрівання в умовах холодної збереження вирішувалася на основі отриманих залежностей між властивостями об'єктів збереження, поданими індексом зрілості I_R , і характеристиками процесів (тривалістю повного дозрівання t , узагальненим параметром процесу P_R):

$$\left. \begin{aligned} t_R &= \frac{0,073 \cdot K_{RH} K_{ND}}{F(T - T_{Mmin}) K_{CO}}; \\ P_R &= t_R (T - T_{Mmin}); \\ I_R &= \frac{P_T}{P_R}, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

які були апробовані на дослідних даних Рубіна Б.А. і Метлицького Л.В., Gorini F.I., Haller M. H., Sato R., Tijskens L.M.H. по яблуках, грушах, персиках і помідорах, і показали високу кореляцію з ними ($K_{кор} = 0,9949 \dots 0,9989$).

Для практичних цілей розроблена універсальна діаграма TTPR, за допомогою якої можна

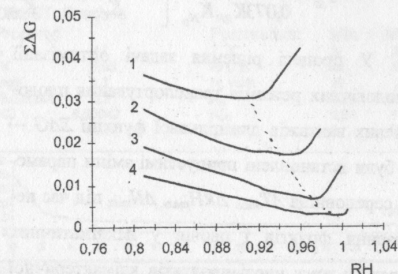


Рис. 10. Залежність втрат персиків $\Sigma \Delta G$ від відносної вологості середовища RH і темпу охолодження m , 1/год.: 1 – $m = 0,01$; 2 – $m = 0,02$; 3 – $m = 0,04$; 4 – $m = 0,1$ (початкова температура продукту 25°C , кінцева температура продукту 5°C , температура середовища 0°C).

визначити тривалість різноманітних стадій дозрівання продукту в залежності від параметрів середовища (T , RH , N) і програма комп'ютерного розрахунку (рис. 12) поточного процесу дозрівання PPR-Model (Product-Parameter-Ripening), що базується на математичній моделі, яка описується рівнянням:

$$I_{Ri} = \frac{FK_T K_{CO} \Delta t}{0,073 K_{RH} K_{Nd}} \left[1 + \frac{1+K_R}{K_T} \Delta T + \frac{1}{K_{RH}} \Delta RH - \frac{b}{K_{Nd}} \Delta N + \frac{1}{K_{CO}} \Delta K_{CO} \right] + I_{Ri-1} \quad (18)$$

У процесі рішення задачі оптимізації технологічних режимів транспортування плодово-овочевих вантажів для цільової функції $\Sigma AG \rightarrow \min$ були встановлені припустимі зміни параметрів середовища ΔT_{max} , ΔRH_{max} , ΔN_{max} під час перевезення фруктів і овочів у некліматичних умовах (у тому числі продуктів кліматичної групи з урахуванням умов дозрівання, що лімітують втрати), і оптимізовані режимні параметри (RH і N) перевезення їх при регульованих параметрах середовища – за допомогою програми PPP-Model (Optimization).

Наукове обґрунтування норм втрат і показників якості на базі отриманих математичних моделей, виконано з використанням програми PPP-Model (Calculation). Для умов холодильного збереження прийняті параметри вантажу і середовища (t , T , RH , N) на технологічних етапах: попереднього охолодження, доохолодження до регламентуємої температури і збереження, а для приміщення, яке охолоджується, – температурно-вологісні параметри середовища і умови вентиляції (у залежності від кліматичних зон), для кліматичної групи плодів вони були розглянуті у взаємозв'язку з вихідним і кінцевим ступенем зрілості продуктів.

Застосування біоенергетичної моделі зберігальності до рішення економічної задачі подано у вигляді залежності прибутку від витрат на збереження, варіації ціни реалізації і ступеня зберігання плодово-овочевих вантажів:

PROGRAM: PPP-Model FILM: Loss- Preservability
MODE: Calculation
PRODUCT: Apples

Property:	Parameters:	Min	Max
ρ_s , %	T , °C	0	30
K_R , 1/K	RH , %	40	90
q_0 , кJ/kgK	N , vol/h	0	21
K_{max} , %/Dmbar	K_R	0	0,3
F , 1/KD	K_{CO}	0,8	1
K_{Tr}	t , day	0	270

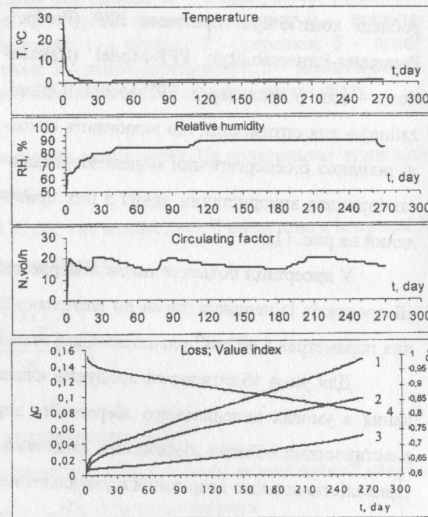


Рис.11. Програма PPP-Model (Calculation): розрахунок параметрів зберігальності яблук (зимовий сорт): 1 – загальні втрати; 2 – спад маси; 3 – втрати від гнилісті; 4 – індекс вартості.

$$P_r(t) = C_p(t) \left[k_R + \frac{t}{t_R} (1 - k_R) \right] \bar{C}_C(t) - C_0 - \frac{C_i(t)}{C_c(t)}, \quad (19)$$

де P_r – прибуток, у.о.; C_0 – закупівельна ціна, у.о.; C_p – ціна реалізації, у.о.; C_i – поточні витрати, у.о.; \bar{C}_C – індекс вартості; t – час, доб.; t_R – тривалість повного дозрівання, доб.; k – відносна ціна реалізації недоспійої продукції.

Приведені на рис. 13 розрахункові графіки зміни прибутку на прикладі збереження яблук (вихідні дані див. рис. 11) із використанням розробленої програми PEP-Model (Preservability-Expenses-Profit) показують, що оптимальний термін реалізації (P_{rmax}) настає через 150...160 днів після початку збереження.

Для забезпечення керівного і технічного персоналу необхідною оперативною інформацією і підвищення ефективності виробничої і комерційної діяльності, апаратне оформлення прикладних комп'ютерних програм подано у вигляді автоматизованої системи контролю і прогнозування показників збереження.

У п'ятому розділі приведені результати експериментальних досліджень режимних параметрів, систем охолодження і зберігальності плодово-овочевих вантажів у камерах стаці-онарних і транспортних холодильників.

На підставі сформульованих принципів створення ефективних систем розподілу охолоджуючого середовища в камерах стаціонарних і транспортних холодильників розроблені 6 конструкцій нових систем, що забезпечують рециркуляцію середовища в охолоджуваному вантажному об'ємі (дві з них показані на рис. 14).

Система безканального повітророзподілу з аеродинамічними профілями була досліджена на моделі холодильної камери, що дозволило оптимізувати її конструктивні елементи. За розробленою документацією були виготовлені промислові системи повітророзподілу, ними обладнані всі

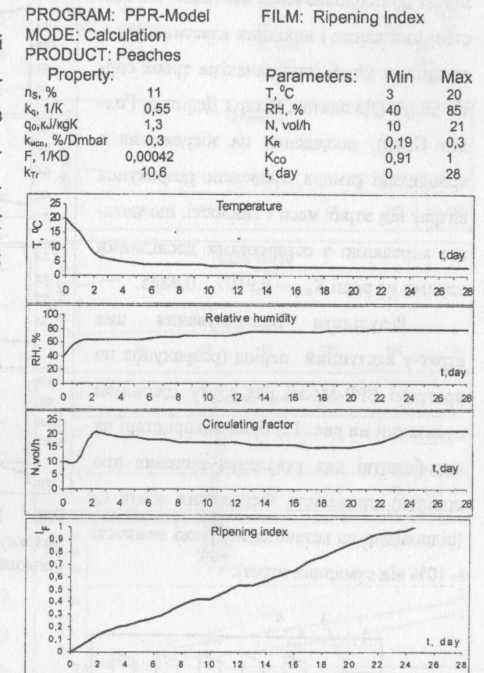


Рис. 12. Програма PPR-Model (Calculation): розрахунок процесу дозрівання персиків у холодильній камері.

камери холодильника для збереження фруктів вм. 3000 тон., в яких проведені випробування і отримані режимні параметри, що задовольняють технологічним вимогам до плодоовочевих вантажів. На підставі цих даних і вихідних властивостей – за даними біохімічних аналізів трьох сортів яблук (Джонатан, Ріхард Делішес, Голден Спур), закладених на збереження в холодильні камери, проведено розрахунок витрат від втрат маси і гнилості, що показав кореляцію з отриманими дослідними даними на рівні $K_{кор} = 0,9107...0,9845$.

Результати прогнозування цих витрат у наступний період (розрахунок по програмі PPP-Model для сорту Джонатан показаний на рис. 15) були використані на виробництві для ухвалення рішення про доцільну тривалість збереження яблук $t_{зб}$ (відповідно до встановленої межі лежкості – 10% від сумарних втрат).

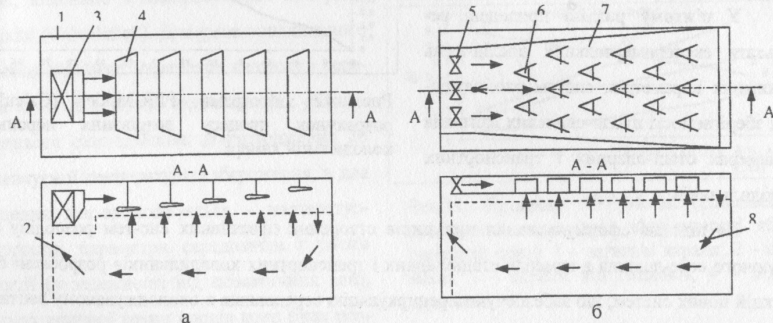


Рис. 14. Схеми нових систем розподілу охолоджуючого середовища: а – безканалі з аеродинамічними профілями для камер фруктосховищ; б – ежекційно-каналі ЕКВ-3М для авторефрижераторів: 1 – огороження; 2 – штабель вантажу; 3 – повітроохолоджувач; 4 – аеродинамічний профіль; 5 – вентилятор; 6 – ежектувальне сопло; 7 – газорозподільний канал; 8 – циркуляційні потоки охолоджуючого середовища.

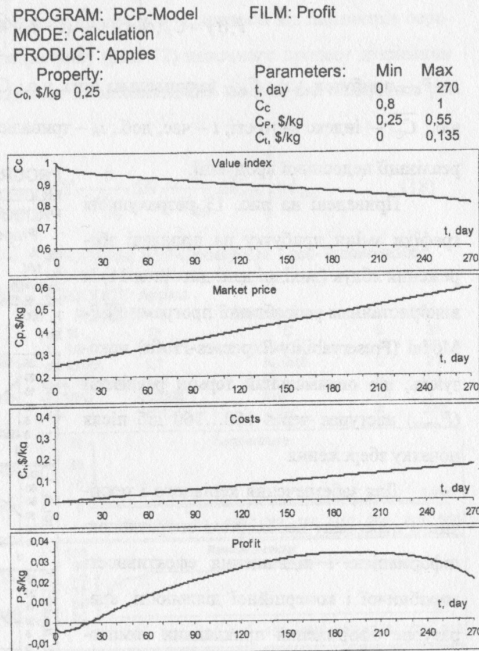


Рис. 13. Програма PEP-Model (Calculation): розрахунок прибутку від збереження яблук (зимовий сорт) у холодильнику.

За результатами дослідження аеродинамічного режиму на модельних і експериментальних об'єктах отримані характеристики поля швидкостей і циркуляційних потоків у кузовах авторефрижераторів, обладнаних 11 системами розподілу охолоджуючого середовища.

На підставі розроблених критеріїв ефективності систем обґрунтовано вибір оптимальних конструкцій (системи ежекційно-каналі типу ЕКВ-2М і ЕКВ-3М), розроблена технічна документація, по якій виготовлені дослідні зразки для стендових і виробничих випробувань.

Встановлена залежність рухливості середовища ω , м/с у штабельному завантаженні з ящиків-лотків від кратності її циркуляції в обсязі приміщення, що охолоджується N , 1/год.:

$$\omega = 0,035 \cdot N^{0,5}$$

яка узгоджується з даними, отриманими раніше в стаціонарних камерах збереження фруктів, і може бути використана на практиці.

Дослідження технологічних режимів транспортування плодоовочевих вантажів (9 видів фруктів і овочів, поданих 32 сортами) на відстань від 1500 до 3500 км (тривалість перевезення від 2 до 9 діб.), проведені в 34 серіях рейсів (що включають 63 рівнобіжних дослідів) на 6 типах авторефрижераторів, обладнаних 3 системами охолодження (повітряної, азотної і комбінованої) і 7 системами розподілу охолоджуючого середовища, дозволили одержати великий експериментальний матеріал для багатофакторного аналізу, узагальнення дослідних даних і використання їх у розрахунках показників зберігальності.

Результати досліджень процесу охолодження фруктів: попереднього перед транспортуванням – у стаціонарних холодильних камерах і в завантажених авторефрижераторах, за допомогою рідкого азоту; по шляху проходження – під час рейсу авторефрижератора, узагальнені у виді ха-

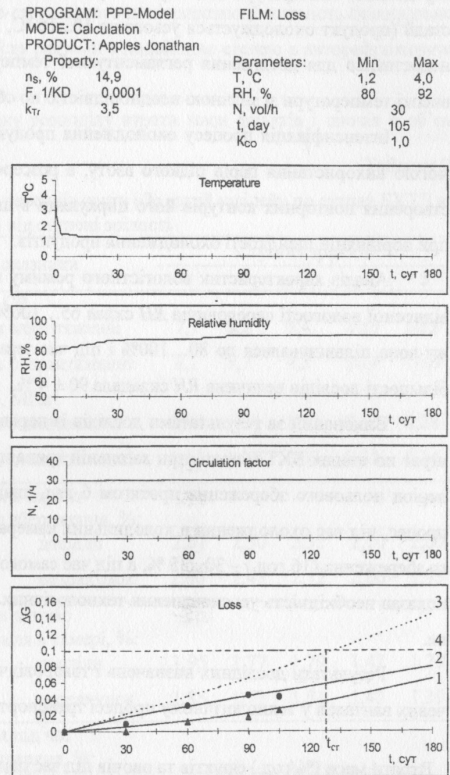


Рис. 15. Режимні параметри і втрати яблук сорту Джонатан при збереженні: 1 – втрати від гнилості; 2 – спад маси; 3 – загальні втрати; 4 – граничне значення втрат для умов лежкості. Значки – досліді, лінії – розрахунок.

ктеристик швидкості і нерівномірності охолодження маси продукту, показали, що в авторефрижераторах із штатною холодильною установкою при існуючих системах розподілу охолоджуючого середовища температура вантажу знижується повільно (0,4...0,9 К/год.), не доходить до кінцевої стадії (продукт охолоджується усього на 10...15 °С, що при початковій його температурі 25...34 °С недостатньо для досягнення регламентуємої температури перевезення) і в штабелі зберігаються високі температури зі значною неоднорідністю по об'єму завантаження.

Інтенсифікація процесу охолодження продуктів в авторефрижераторі досягається за допомогою використання парів рідкого азоту, а розсередження потоку охолоджуючого середовища і створення повторних контурів його циркуляції в штабелі вантажу зменшує градієнти температур при порівнянні швидкості охолодження продуктів.

Аналіз характеристик вологісного режиму в штабелі вантажу показав, що інтервал зміни відносної вологості середовища RH склав 65...100%; в перші 24 год. у період охолодження вантажу вона підвищувалася до 80...100% і під час термостатування знаходилася в цьому інтервалі, у більшості дослідів величина RH складала 90 ± 4 %.

Виконаний за результатами дослідів із персиками сорту «Золотий ювілей» аналіз структури втрат по етапах БХТЛ, коли, при загальній тривалості всього рейса 152 год., тільки в початковий період польового збереження протягом 6 год. спад маси плодів склав 42...46% сумарної за весь процес, під час охолодження в холодильних камерах протягом 22 год. і наступного короткочасного збереження (16 год.) – 30...35 %, а під час самого транспортування протягом 106 год. – 20...25%, показав необхідність удосконалення технологічних процесів на попередніх етапах транспортування.

Результати дослідних визначень і товаровідчих аналізів втрат і показників якості плодоовочевих вантажів у технологічному процесі транспортування (питомі показники втрат приведені в

Таблиця 1

Продукт	Система розподілу охолоджуючого середовища					
	повітряне охолодження			азотне охолодження		
	безканалне	послідовно-струйне	рівнобіжно-струйне	з подвійною стелею	з продовжним каналом	ежекційно-каналне
Персики	0,036	-	0,032 0,059	0,024 0,030	0,016 0,037	0,017
Виноград	0,033 0,036	0,026 0,029	0,033 0,046	0,028 0,038	0,018... 0,030	-
Черешня	-	-	0,039	0,030	-	0,029
Слива	-	-	0,033 0,045	-	0,023 0,039	-
Абрикоси	-	-	-	-	0,076	-
Кабачки	-	-	0,040	0,033	-	-

табл. 1) показали, що використання під час перевезення в авторефрижераторах замість повітря газового середовища з високим вмістом азоту (96...98 %) скорочує спад маси на 20...50 %, а розсередження потоку охолоджуючого середовища і застосування нових систем – від 10...30 % до майже 1,5...2 кратного (при використанні послідовно-струйного повітророзподілу замість безканалного і ежекційно-каналного газорозподілу замість системи з подвійною стелею в авторефрижераторах з азотним охолодженням).

На підставі установленого взаємозв'язку розподілу втрати маси фруктів і овочів в об'ємі вантажного штабеля з полем режимних параметрів (температури, відносної вологості, швидкості руху) і циркуляцією потоків, обумовлених прийнятою системою розподілу охолоджуючого середовища, показана ефективність використання нових систем: питомі втрати (%/год.) від спаду маси і гнилості в досліді в порівнянні з існуючими системами були нижче на 15...50%.

Розрахунок втрат плодоовочевих вантажів по етапах БХТЛ (польове збереження, попереднє охолодження, транспортування, що сполучає етапи охолодження і термостатування) з урахуванням впливу ступеня зрілості, виконано на підставі розроблених математичних моделей за допомогою програми PPP-Model (Calculation), показав гарне узгодження дослідних і розрахункових даних ($K_{кор} = 0,9421...0,9979$).

Таблиця 2

Спад маси персиків сорту «Золотий ювілей» по етапах БХТЛ в залежності від ступеня зрілості

Показники	Ступінь зрілості				
	1	2	3	4	5
Кількість СР					
при завантаженні	7,7	8,2	9,4	10,0	10,2
при розвантаженні	8,1	8,7	9,3	10,4	10,0
Твердість, МПа					
при завантаженні	1,60	1,31	1,02	0,58	0,28
при розвантаженні	1,65	1,05	0,57	0,31	0,24
Спад маси в період польового збереження, %:					
досліди	2,61	2,50	2,32	2,10	2,00
розрахунок	2,60	2,43	2,12	2,00	1,95
Спад маси під час охолодження в камері, %:					
досліди	1,95	1,77	1,79	1,42	1,23
розрахунок	1,85	1,73	1,51	1,42	1,39
Спад маси під час транспортування, %:					
участок штабелі вантажу:					
I	2,25	1,76	1,43	1,60	1,49
II	1,64	1,32	0,87	1,52	1,32
III	0,53	0,80	0,66	0,53	0,47
сер. значення: досліди	1,47	1,30	0,99	1,18	1,09
розрахунок	1,46	1,37	1,20	1,12	1,10
Сумарний спад маси по всіх етапах БХТЛ, %:					
досліди	6,03	5,57	5,10	4,70	4,32
розрахунок	5,91	5,53	4,83	4,54	4,44

Приведені в табл. 2 деякі результати цієї роботи на прикладі персиків показують можливість прогнозування показників дозрівання і втрат плодів кліматеричної групи, керування цим процесом, що має визначену практичну цінність при масових перевезеннях цих вантажів у сезонний період.

Результати техноло-гічних аналізів, доповнюють проведену апробацію на дослідах інших авторів. Разом з отриманими даними аеродинамічних і теплотехнічних досліджень вони були використані в наукових і дослідно-конструкторських розробках, що у виді рекомендацій, технічної документації, експериментальних і промислових зразків устаткування були запропоновані для використання і впроваджені на ряді промислових об'єктів.

У додатках до дисертації приведені допоміжні матеріали до всіх розділів, що включають ілюстрації, таблиці, алгоритми рішення задач на ЕОМ, рекомендації і приймальні акти.

ВИСНОВКИ

1. Біоенергетична сутність карпогенезу, що лежить в основі зберігасності фруктів і овочів, диктує необхідність розгляду процесу післязбирального збереження в нерозривному взаємозв'язку з попередніми етапами життєвого циклу. Зміни властивостей рослинних продуктів, обумовлені фенологічними законами природи, що базуються на енергетичному обміні з навколишнім середовищем, є критеріями оптимізації технологічного процесу і технічних засобів забезпечення життєздатності об'єктів збереження.
2. На підставі енергетичного балансу карпогенезу встановлені закономірності накопичення біологічними об'єктами свого енергетичного ресурсу для збереження і його витрати в процесі післязбирального метаболізму. Введено поняття зберігасності, як міри заощадження акумульованого в продуктах енергетичного потенціалу і показано, що кожний закінчений процес потребує від них сталості затрат енергії, яка майже вся перетворюється в тепло, темп втрат якої і визначає поточний стан продукту.
3. У результаті розробки математичної моделі дихання, що відповідає природі цього процесу, встановлені узагальнені кількісні показники біоенергетичних властивостей фруктів і овочів, введено поняття параметру процесу, як сукупності чинників середовища, що впливають, і введена формула для потенціалу збереження, яка пов'язує зміну енергетичного ресурсу рослинних продуктів із їхніми властивостями і режимними параметрами.
4. На підставі встановленого взаємозв'язку енергетичних і матеріальних втрат (спаду маси, гнилої і зниження якості) отримані залежності цих результуючих технологічних показників від властивостей продуктів і умов їхнього збереження. Виявлено критичні значення режимних параметрів життєздатності – температури «біологічного нуля» для післязбиральної фази розвитку (T_{Mmin}) і

перенасиченого стану відносної вологості (RH_0), а також встановлені умови моменту початку інтенсивного розвитку гнилі. Показано, що частка СР у загальному спаді маси є змінною величиною, що залежить від властивостей продуктів і вологості навколишнього середовища, а функція загальних втрат має екстремум при оптимальному співвідношенні чинників середовища, яке змінюється протягом часу.

5. Розроблено математичні моделі дозрівання, лежкості і зберігасності плодоовочевих вантажів, що дозволили встановити оптимальні режимні параметри технологічних процесів з урахуванням вихідних властивостей і стану рослинних об'єктів. Показано, що цільовій функції мінімуму втрат задовольняють змінні режими збереження, і це цілком відповідає біоенергетичній концепції для продуктів із неспостійним метаболізмом. Зіставлення даних режимів з тими, що рекомендуються і застосовуються на практиці, показало істотні переваги в зниженні втрат продуктів і продовженні терміну їхнього збереження.
6. Теоретичні положення і розрахункові залежності, апробовані на великому експериментальному матеріалі, показали задовільну збіжність результатів. Для практичного їхнього використання розроблена методика і приведені приклади реалізації біоенергетичної моделі зберігасності в різноманітних сферах холодної технології – для розрахунків, прогнозування і нормування втрат, оптимізації режимних параметрів процесів збереження і транспортування плодоовочевих вантажів, створення ефективних систем охолодження, контролю, керування і комерціалізації.
7. Розроблено, запропоновано для використання і вже застосовано на практиці результати наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт: діаграми лежкості і дозрівання, оптимальні технологічні параметри процесів БХТЛ, рекомендації по збереженню і транспортуванню фруктів і овочів, конструкторська і технологічна документація, нові системи охолодження для стаціонарних і транспортних холодильників, алгоритми і програми комп'ютерних розрахунків і оптимізації процесів збереження, транспортування, дозрівання, комерціалізації плодоовочевих вантажів, які надають наукову і практичну цінність цим результатам для подальшого розвитку холодної техніки і технології харчових продуктів.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Бедин Ф.П., Балан Е.Ф., Чумак Н.И. Сохранность фруктов, овощей и зерна. Теплофизические, физиологические и транспортные свойства: Учебное пособие. – Одесса: Холодильная техника и технология, 2000. – 450 с.
2. Бедин Ф.П., Балан Е.Ф., Чумак Н.И. Технология хранения растительного сырья: Физиологические, теплофизические и транспортные свойства. – Одесса: Астропринт, 2002. – 306 с.
3. Балан Е.Ф., Чумак И.Г., Картофяну В.Г. Биоэнергетические основы холодильной технологии

хранения фруктов и овощей. – Одесса – Кишинев: Рефпринтинфо –Техника-Инфо, 2004. – 244с.

Брошури

4. Балан Е.Ф. Сокращение потерь винограда при транспортировании на дальние расстояния. – Кишинев: МолдНИИТЭИ, 1991. – 36 с.
5. Балан Е.Ф., Козьмик В.А., Ножак Е.С. Использование азотных систем охлаждения на автомобильном транспорте при перевозке скоропортящихся фруктов и винограда. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1991. – 24 с.
6. Балан Е.Ф. Пути снижения потерь плодоовощной продукции при авторефрижераторном транспортировании. – Кишинев: МолдНИИТЭИ, 1992. – 48 с.

Статті

7. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г. Перевозка фруктов в авторефрижераторах с машинным охлаждением // Плодоовощное хозяйство. – 1987. – №10. – С.56-59.
8. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г., Горшунова Г.Б. Исследование процесса охлаждения и термостатирования фруктов в авторефрижераторах с машинным и азотным охлаждением // Н.тр. НИИКП (Пловдив). – 1987. – С.55-64.
9. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г., Мустяца В.Т., Зинган П.А. Исследование систем воздухораспределения авторефрижераторов // Холодильная техника. – 1988. – №6. – С.16-21.
10. Балан Е.Ф., Козьмик В.А. Сравнительные характеристики технологического режима транспортирования фруктов в авторефрижераторах с машинным и азотным охлаждением // Применение холода в плодоовощном подкомплексе АПК. – Кишинев: Штиинца, 1988. – С.68-77.
11. Балан Е.Ф., Горшунова Г.Б., Картофяну В.Г. Исследование распределения газовых потоков в загруженном кузове авторефрижератора // Применение холода в плодоовощном подкомплексе АПК. – Кишинев: Штиинца. – 1988. – С.84-96.
12. Балан Е.Ф., Шварц А.И. Транспортировка фруктов в авторефрижераторе ОдАЗ-97722 с азотным охлаждением // Холодильная техника. – 1989. – №7. – С.5-10.
13. Картофяну В.Г., Балан Е.Ф., Зинган П.А., Маргулян С.М. Выбор рациональной системы газораспределения авторефрижератора для перевозки фруктов // Технология и техника авторефрижераторных перевозок фруктов и винограда. – Кишинев: Штиинца. – 1989. – С.83-97.
14. Балан Е.Ф., Барская И.М. Выбор рациональной технологической схемы авторефрижераторных перевозок фруктов // Технология и техника авторефрижераторных перевозок фруктов и винограда. – Кишинев, 1989. – С.18-25.
15. Балан Е.Ф., Банарь Л.А., Скоробогатова Е.Д. Изучение факторов, влияющих на убыль массы плодов при охлаждении и транспортировании в авторефрижераторах // Технология и техника авторефрижераторных перевозок фруктов и винограда. – Кишинев, 1989. – С.39-49.
16. Ножак Е.С., Балан Е.Ф., Козьмик В.А. и др. Транспортability персиков и абрикосов // Пи-

щевая промышленность. – 1989. – №9. – С.58-61.

17. Балан Е.Ф., Банарь Л.А. Убыль массы персиков // Пищевая промышленность. – 1990. – №2. – С.24-26.
18. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г., Банарь Л.А. Транспортирование столового винограда // Пищевая промышленность. – 1990. – №3. – С.60-62.
19. Балан Е.Ф., Кюркчу И.И. Новая система бесканального воздухораспределения для камер фруктохранилищ // Холодильная техника. – 1991. – №3. – С.2-5.
20. Балан Е.Ф. Закономерность изменения убыли массы фруктов и овощей в послеуборочный период // Холодильная техника и технология. – 1999. – №63. – С.104-113.
21. Балан Е.Ф., Чумак Н.И. Обоснование параметров лежкости фруктов и овощей // Холодильная техника и технология. – 2000. – №66. – С.81-90.
22. Балан Е.Ф., Бедин Ф.П., Чумак И.Г. Расчет и прогнозирование процессов послеуборочного созревания фруктов и овощей // Холодильная техника и технология. – 2000. – №68. – С.76-85.
23. Балан Е.Ф., Чумак Н.И. Теоретические аспекты хранения фруктов и овощей // Холодильная техника и технология. – 2003. – №83. – С. 61-68.
24. Cartofeanu V.G., Balan E.F. Transportul fructelor în autocamioane frigorifice echipate cu diferite sisteme de distribuție a gazelor // Lucr.științ.Inst.de cerc.și dezv.pentru valor.prod.hort. – București. – 1995. – Vol.XXV. – P.355-359.
25. Balan E.F. Preservability of fruits and vegetables // Intellectus. – Chișinău: AGEPI. – 2000. – N1. – P.28-33.

Винаходи

26. Воздухораспределительное устройство: А.с. 1083034 СССР, МКИ F24F 13/06; F24F 13/072/ Е.Я. Файнзильберг, Е.Ф. Балан, В.Г. Картофяну. – БИ №12. – 1984.
27. Воздухораспределительное устройство для холодильной камеры: А.с. 1285280 СССР, МКИ F24D 17/06; F24F 13/06/ Е.Ф. Балан, В.Г. Картофяну, И.М. Жикул, Л.А. Бантыш, В.А. Козьмик. – БИ №3. – 1987.
28. Газораспределительное устройство авторефрижератора: А.с. 1654630 СССР, МКИ F25D 3/10, 17/06/ Е.Ф. Балан. – БИ №21. – 1991.
29. Устройство для распределения охлаждающей среды в камере транспортного средства: А.с. 1399620 СССР, МКИ F25D 17/06, 3/10 / Е.Ф. Балан, В.Г. Картофяну, В.Т. Мустяца, П.А. Зинган, В.А. Козьмик. – БИ. №20. – 1988.
30. Устройство для распределения охлаждающей среды в камере транспортного средства: А.с. 1594341 СССР, МКИ F25D 17/06, 3/10 / Е.Ф. Балан, В.Г. Картофяну, Г.Б. Горшунова, А.И. Шварц, В.А. Козьмик, А.Е. Борц, И.И. Берлин, С.М. Маргулян. – БИ. №35. – 1990.
31. Холодильная камера для хранения фруктов: А.с. 1296799 СССР, МКИ F25D 13/00, 17/06 / Е.Ф.

- Балан, В.Г. Картофяну, И.М. Жикул, Ю.В. Васильев. – БИ №10. – 1987.
32. Patentschrift DD243403 A3, F24F 13/06. – Luftverteilungseinrichtung / Fainzilberg E., Balan E., Kartofianu V. – 04.03.87.
- Тези і доповіді на конференціях**
33. Балан Е.Ф., Жикул И.М. Анализ эффективности систем воздухораспределения в камерах холодильного хранения пищевых продуктов//Тез. докл. Всес. н.-техн. конф. «Пути интенсификации производства и применения искусственного холода в отраслях АПК». – М.:ВНИХИ, 1985. – С.74.
34. Балан Е.Ф., Мустяца В.Т., Картофяну В.Г. Разработка и исследование системы воздухораспределения авторефрижераторов// Тез. докл. Всес. н. - иссл. конф. «Искусственный холод в отраслях агропромышленного комплекса», 1987. – М.:ВНИКТИХолодпром. – С.13.
35. Балан Е.Ф., Козьмик В.А., Горшунова Г.Б., Щварц А.И., Картофяну В.Г. Исследование технологического режима транспортирования фруктов в авторефрижераторах с машинным и азотным охлаждением// Тез. докл. Всес. н.-иссл. конф. «Искусственный холод в отраслях агропромышленного комплекса», 1987. – М.:ВНИКТИХолодпром. – С.43.
36. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г., Зинган П.А. Технологический режим транспортирования фруктов в авторефрижераторах// Тез. докл. Всес. н-практ. конф. «Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте». – Одесса: ОИНТЭ. – 1989. – С.83.
37. Балан Е.Ф., Банарь Л.А. Изучение факторов, влияющих на величину естественной убыли массы плодов по этапам транспортной цепи.// Тез. докл. Всес. н-практ. конф. «Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте». – Одесса: ОИНТЭ. – 1989. – С.90.
38. Балан Е.Ф. Пути сокращения приведенных затрат и потерь скоропортящихся плодов при транспортировании авторефрижераторами // Тез. докл. Всес. н-практ. конф. «Пути интенсификации производства с применением холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте». – Одесса: ОИНТЭ. – 1989. – С.99.
39. Балан Е.Ф., Козьмик В.А. Влияние системы автоматического регулирования на технологический режим в кузове авторефрижератора при транспортировании скоропортящихся фруктов// Автоматизация технологических процессов и производства в пищевой промышленности. – М.: АгроНИИТЭИММП. – 1989. – С.75
40. Балан Е.Ф. Обоснование рациональной технологической схемы транспортирования плодов.// Тез. докл. Всес. конф. «Теоретическая и прикладная карпология». – Кишинев:Штиинца.–1989.– С.242.
41. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г. Перевозка плодов в авторефрижераторах с различными системами охлаждения и газораспределения // Тез. докл. Всес. конф. «Теоретическая и прикладная карпология».

- Кишинев:Штиинца. – 1989. – С.242-243.
42. Балан Е.Ф., Банарь Л.А. Обоснование оптимальных температур транспортирования плодов // Тез. докл. Всес. конф. «Теоретическая и прикладная карпология». – Кишинев:Штиинца.–1989.– С.244.
43. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г. К вопросу выбора способа распределения охлаждающей среды в кузове авторефрижератора// Тез. докл. Всес. н-т. конф. «Холод – народному хозяйству». – Л.:ЛТИХП, 1991. – С.123-124.
44. Балан Е.Ф. Влияние температуры и продолжительности хранения на величину потерь и изменение качества плодов персика // Тез. докл. Межресп. н.-т. конф. «Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки пищевых продуктов. – Краснодар,1992. – С.43.
45. Балан Е.Ф. Технические и технологические аспекты непрерывной холодильно-транспортной цепи (НХТЦ) авторефрижераторных перевозок фруктов. – Тез. докл. Межресп. н.-т. конф. «Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки пищевых продуктов». – Краснодар,1992. – С.44.
46. Балан Е.Ф. Потенциал хранения фруктов и овощей // Тез. докл. Межд. конф. «Прогрессивные технологии и оборудование пищевых производств». – С.-Петербург: СПГАХИП. – 1999. – С.89.
47. Балан Е.Ф. Фенологические аспекты хранения фруктов и овощей // Тез. докл. Межд. конф. «Прогрессивные технологии и оборудование пищевых производств». – С.-Петербург: СПГАХИП. – 1999. – С.90.
48. Балан Е.Ф. Математическая модель дыхания фруктов и овощей // Сб. н. тр. Межд. н.-т. конф. «Современные проблемы холодильной техники и технологии». – Одесса: ОГАХ,2001. –С.69-75.
49. Балан Е.Ф., Чумак И.Г. Биоэнергетика хранения фруктов и овощей // Сб. н. тр. Межд. н.-т. конф. «Современные проблемы холодильной техники и технологии». – Одесса: ОГАХ,2001. – С.102-108.
50. Балан Е.Ф. Влияние эндогенных и экзогенных факторов на потери фруктов и овощей при хранении // Сб. н. тр. Межд. конф. «Современные проблемы холодильной техники и технологии». – Одесса: ОГАХ, 2002. – С.136-137.
51. Балан Е.Ф., Картофяну В.Г. Охлаждающие системы для фруктов и овощей: взаимосвязь свойств продуктов и принципов конструирования // Сб.н.тр. Межд. н.-т. конф. «Современные проблемы холодильной техники и технологии» – Одесса: ОГАХ, 2002. – С.138.
52. Балан Е.Ф., Чумак И.Г. Обоснование технологического режима хранения фруктов и овощей // Сб. н. тр. Межд. н.-т. конф. «Современные проблемы холодильной техники и технологии». – Одесса: ОГАХ, 2002. – С.139-140.
53. Balan E.F. Storage Life of fruits and vegetables. // IIF/IIR Refr. conf. “Advances in the refrigeration

systems food technologies and cold chain". – Sofia. – 1998. – P.54.

54. Balan E.F. Preservability of fruits and vegetables.// Proc. conf. IIF/IR, Comm B2, C2 with D1 and D2-3. – Sofia. – 1998/6. – P.557-563.

55. Cartofeanu V.Gh., Balan E.F., Cartofeanu Ş.Gh. Transportul fructelor și legumelor la distanțe mari. Proc. Int. Conf. "Agricultural and Food Sciences, Processes and Tehnologies". – Sibiu, 2002. – P.1-4.

Особистий внесок автора в роботах, які виконані у співавторстві:

[1, 2, 5, 14, 33, 43, 51] – огляд, аналіз систематизація, класифікація, обробка інформаційного матеріалу та даних досліджень.

[3, 21, 22, 23, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 49, 52] – ідея, концепція, теоретичні розробки, конструктивні рішення, математичні моделі, апробація.

[7 – 13, 15 – 19, 24, 34 – 37, 39, 41, 42, 55] – постановка задачі, розробка методики експерименту, аналіз результатів.

АНОТАЦІЯ

Балан Є.П. Біоенергетичні основи холодильної технології збереження і транспортування рослинної сировини. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.14 – Холодильна технологія харчових продуктів. – Одеська державна академія холоду. Одеса, 2004.

Дисертація присвячена розробці наукових основ холодильної технології, необхідних для оптимізації режимних параметрів технологічних процесів БХТЛ, створення ефективних конструкцій систем охолодження, розрахунку і прогнозування результатів збереження.

У роботі наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень зберігаємості фруктів та овочів. На підставі отриманих математичних моделей дихання, дозрівання, втрат, лежкості і комерціалізації розроблені наукові методи розрахунку і прогнозування результатів збереження, оптимізації режимних параметрів технологічних процесів, створення ефективних систем охолодження, що були апробовані на експериментальному матеріалі і використані в науково-методичних, конструкторських розробках, експериментальних зразках і на промислових об'єктах.
Ключові слова: фрукти, овочі, лежкість, зберігаємість, властивості, параметри процесу, система охолодження, втрата, якість, моделювання.

АННОТАЦИЯ

Балан Е.Ф. Биоэнергетические основы холодильной технологии хранения и транспортирования растительного сырья. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени доктора техни-

ческих наук по специальности 05.18.14 – Холодильная технология пищевых продуктов. – Одесская государственная академия холода. Одесса, 2004.

Диссертация посвящена разработке научных основ холодильной технологии, необходимых для оптимизации режимных параметров технологических процессов НХТЦ, создания эффективных конструкций охлаждающих систем, расчета и прогнозирования результатов хранения.

В основу методологического подхода к решению теоретических и прикладных задач положена биоэнергетическая модель, разработанная на базе фенологических законов природы и связывающая воедино свойства продуктов, режимные параметры и результаты хранения.

Составлен энергетический баланс карпогенеза, получено базовое уравнение сохранности фруктов и овощей в послеуборочный период, разработана математическая модель дыхания, идентифицированы свойства продуктов, как объектов хранения, установлены количественные характеристики их энергетического потенциала. Введено понятие обобщенного параметра процесса, как совокупности влияющих факторов среды. Получены теоретические зависимости потерь продукции (убыли массы, потеря от гнили и понижения качества) от условий хранения, разработаны статические и динамические модели лежкости, сохраняемости и созревания плодоовощных грузов.

Составлена методика и приведены примеры использования биоэнергетической модели сохраняемости для решения прикладных задач холодильной технологии: отбора и тестирования продукции для целей хранения; расчетов, прогнозирования и нормирования потерь; оптимизации режимных параметров процессов НХТЦ с учетом свойств продуктов, вопросов товарной обработки, экономики и коммерциализации плодоовощных грузов.

Теоретические положения апробированы на обширном экспериментальном материале проведенных исследований технологических режимов, систем охлаждения, сохраняемости плодоовощной продукции в камерах стационарных и транспортных холодильников, по этапам НХТЦ, на основании которых разработаны рекомендации и новые системы, использованные на опытных и промышленных объектах для хранения и авторефрижераторных перевозок растительного сырья.

Ключевые слова: фрукты и овощи, лежкость, сохраняемость, свойства, параметры процесса, система охлаждения, потери, качество, моделирование.

ABSTRACT

Balan E.F. Bioenergetic fundamentals of refrigeration technologies for storage and transportation of vegetal stuff. – The manuscript. Thesis for a doctor of engineering sciences by specialty 05.18.14 – Refrigeration technology of foodstuffs. – Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 2004.

Scope of the dissertation is elaboration of scientific fundamentals for refrigeration technology for optimization of regime parameters of technological processes related to CRTС (Continuous

Refrigeration-Transportation Chain), creation of efficient constructions of refrigeration systems, planning and prognosis of storage outcomes.

The present work provides results of theoretical and experimental research of fruits and vegetables preservability. Scientific methods of planning and prognosis of storage outcomes, regime parameters of optimization for technological processes, creation of efficient refrigeration systems, which were tested on experimental materials and applied in scientific-methodological and construction know-how, experimental models and in industrial environment, were elaborated based on the received mathematical models of respiration, ripening, losses, practical storage life and commercialization.

Key words: fruits and vegetables, practical storage life, preservability, properties, process parameters, refrigeration system, losses, quality, modeling.